

**Entwicklung von Modellen und Methoden zur Qualifizierung für
die Netzbetriebsführung unter Einbeziehung eines neuartigen
dynamischen Netzsimulators**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme der Branden-
burgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg zur Erlangung des
akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur

Benjamin Buckow

geboren am 28.06.1988 in Cottbus

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Georg Möhlenkamp

Gutachter: Prof. Dr.-Ing Harald Schwarz

Gutachter: Dr. inz. hab. Przemyslaw Janik

Tag der mündlichen Prüfung: 15.07.2020

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen eines Graduiertenkolleg zur Forschung und Entwicklung zwischen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg und 50 Hertz Transmission GmbH mit dem Projekt „Power System Operation“. Zusammen mit meinem Doktorvater Herr Prof. Harald Schwarz entstand die Fragestellung und der Aufbau der Arbeit. Zusammen mit Projektpartner wurde in den darauffolgenden Jahren das Simulationssystem entwickelt und somit die Grundlage für die Forschung meiner Arbeit geschaffen.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater Herr Prof. Harald Schwarz für die Möglichkeit der wissenschaftlichen Forschung und Ausarbeitung dieser Dissertation, sowie den wissenschaftlichen und methodischen Ratschlägen während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation. Außerdem gilt mein Dank Dr. Przemyslaw Janik für die Betreuung dieser Arbeit und der Unterstützung bei der Veröffentlichung der Ergebnisse.

Mein besonderer Dank geht an Dr. Klaus Pfeiffer und Dirk Lehmann für die zahlreichen Fachgespräche, Ratschläge und Anmerkungen, die mir über das Ausarbeiten dieser Arbeit hinaus geholfen und mir neue Aspekte und Ansätze aufgezeigt haben. Auch die vielen Gespräche abseits der Arbeit haben mir geholfen. Meinem Kollegen Dr. Nico Brose danke ich für die gute und angenehme Zusammenarbeit und der gegenseitigen Unterstützung beim Ausarbeiten der Arbeiten. Allen Beteiligten des Projektes und insbesondere Martin Fischer, Dr. Martin Schmiege sowie Stefan Weigel bin ich sehr dankbar für die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit.

Besonders möchte ich an dieser Stelle auch meiner Mutti für die bedingungslose Unterstützung in der Schul- und Studierendenzzeit danken, sowie meinem Bruder, der mir stets richtungweisende Ratschläge erteilt hat. Meiner Lebensgefährtin danke ich dafür, dass sie mir in der stressigen Zeit stets den Rücken freigehalten hat und ich mir die Zeit nehmen konnte, die ich für die Ausarbeitung dieser Arbeit brauchte.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1. Einleitung.....	1
1.1. Motivation.....	2
1.2. Ziel und Aufbau der Arbeit	5
2. Status Quo der Netzbetriebsschulung.....	6
3. Übersicht Lerntheorie und Lehrmodelle	10
3.1. Lerntheorie.....	11
3.2. Didaktische Grundlagen	15
3.2.1. Bildungstheoretische Didaktik	15
3.2.2. Lerntheoretische Didaktik	17
3.2.3. Kybernetisch-informationstheoretische Didaktik	18
3.3. Lernformen.....	20
3.3.1. Problemorientiertes Lernen	21
3.3.2. Kompetenzorientiertes Lernen	23
3.3.3. Selbstgesteuertes Lernen	24
3.4. Lehrmethoden.....	26
3.4.1. Frontalunterricht.....	26
3.4.2. Gruppenarbeit	27
3.4.3. Diskussion.....	28
3.4.4. Planspiel	28
3.5. Lernnachweise.....	30
4. Schulungskonzept für eine Netzbetriebsschulung.....	33
4.1. Lernzieloperationalisierung.....	33
4.2. Voraussetzungen und Anforderung an die Trainierenden.....	34
4.3. Schulungsinhalte und dessen Strukturierung	36

4.3.1.	Umfang der Schulungsinhalte	37
4.3.2.	Inhalte und Didaktik des Theorieteils.....	40
4.3.3.	Inhalt und Aufbau der praktischen Übungen	43
4.3.4.	Simulation des Netzbetriebes	48
4.4.	Prüfung.....	50
4.4.1.	Schriftliche Prüfung	51
4.4.2.	Mündliche Prüfung.....	53
4.4.3.	Kombination aus schriftlicher und mündlicher Prüfung.....	53
5.	Aufbau und funktionale Beschreibung des Simulationssystems	54
5.1.	Die Software	54
5.1.1.	PRINS	56
5.2.	Das Hardwarekonzept	64
5.3.	Erzeugermodelle.....	66
5.3.1.	Thermisches Kraftwerksmodell	67
5.3.2.	Erneuerbare Energie Anlagen.....	70
5.4.	Weitere Systemtools für den Schulungsbetrieb.....	71
5.4.1.	Ganglinienverwaltung	71
5.4.2.	Master Solution	72
5.4.3.	Aufnahme Funktion	74
6.	Ausbildung am System.....	76
6.1.	Entwicklung der Netzmodelle	76
6.1.1.	Das einfache Netzmodell.....	77
6.1.2.	Das komplexe Netzmodell.....	80
6.1.3.	Verwendung der Netzmodelle	81
6.2.	Entwicklung der Szenarien	83
6.2.1.	Änderung Einspeiseleistung eines Kraftwerkes.....	85
6.2.2.	Aktivierung von Regelleistung	85
6.2.3.	Redispatch	86

6.2.4.	Transformatorstufung.....	87
6.2.5.	Blindleistungskompensation	87
6.2.6.	Schaltaufgaben.....	88
6.2.7.	Gefährdeter Zustand	88
6.2.8.	Notzustand	93
6.2.9.	Netzwiederaufbau.....	97
6.3.	Praktische Durchführung.....	100
6.3.1.	Vorbereitung von Szenarien.....	100
6.3.2.	Aufgaben der Lehrenden während einer Simulation.....	102
6.3.3.	Auswertung und Nachbereitung der Planspiele	105
6.3.4.	Auswertung der ersten Schulungsdurchläufe	107
7.	Erweiterung des Anwendungsgebietes in Forschung und Lehre.....	110
7.1.	Weiterführende Forschung und Schulung unter Einbeziehung des Simulationssystems.....	110
7.2.	Lehrgang Grundschaltsberechtigung.....	112
7.3.	Blockveranstaltungen.....	113
7.4.	Workshop Betriebsführer.....	114
7.5.	Veranstaltung für Laien	115
8.	Zusammenfassung	117
	Abkürzungsverzeichnis	120
	Literaturverzeichnis.....	121
	Anlagen	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Maximale Differenz der Einspeiseprognose zur vermarkteten Strommenge	2
Abbildung 2: Zeitstrahl wichtiger Ereignisse	4
Abbildung 3: Ausbildung zum Betriebsführer	6
Abbildung 4: Übersicht Lehr-Lernmodelle	10
Abbildung 5: Didaktische Strukturanalyse des Unterricht	18
Abbildung 6: Lehren als Regelkreis.....	19
Abbildung 7: 7 Steps.....	21
Abbildung 8: Gewichtung beim aktiven Lernen	25
Abbildung 9: Aufbau des Seminars „Netzbetriebsführung“	39
Abbildung 10: Entwicklung des Wissensstandes der Trainierenden während der Schulung	40
Abbildung 11: Trivialere Schaltaufgabe.....	44
Abbildung 12: komplexe Schaltaufgabe	45
Abbildung 13: Schaltaufgabe Kurzschluss im Niederspannungskabelring.....	47
Abbildung 14: Beispiel Prüfungsaufgabe Wissensstufe 4	52
Abbildung 15: Zusammenspiel zwischen PowerFactory und PRINS	55
Abbildung 16: Weltbilddarstellung mit minimaler Zoomstufe und großer Zoomstufe	57
Abbildung 17: Anlagenbilddarstellung mit einem Umspannungsbild.....	58
Abbildung 18: Sammelmeldungen im Tagebuch.....	60
Abbildung 19: Beispiel einer Verriegelungsbedingung	60
Abbildung 20: Absenkdialog SSM.....	61
Abbildung 21: Anwahldialog Ausgangsschaltzustände	62
Abbildung 22: Schaltfolgen.....	63
Abbildung 23: Schalterzustandswarnung.....	63
Abbildung 24: Raumeinteilung des Schulungsraumes im Energietechnikzentrum der BTU C-S	65
Abbildung 25: Konfiguration des Leitsystems	66
Abbildung 26: Übersichtsbild eines konventionellen Kraftwerksblockes	68
Abbildung 27: Leittechnikbild Photovoltaik Anlage	70
Abbildung 28: Ganglinientool.....	72
Abbildung 29: MasterSolution Suite XL Schnellansicht Schülerplätze	73
Abbildung 30: Aufnahme Funktion	75
Abbildung 31: Einfluss von Netzgröße und Schalthandlungen auf Aspekte der Schulung	77
Abbildung 32: schematische Darstellung des einfachen Netzmodells.....	78
Abbildung 33: Typ 1 Umspannungswerk im einfachen Netzmodell.....	79

Abbildung 34: Typ 2 Umspannwerk im einfachen Netzmodell.....	80
Abbildung 35: Zuordnung Szenarien zu den Netzmodellen.....	83
Abbildung 36: Systematik der Szenarioerstellung	84
Abbildung 37: Ablaufplan Szenario gefährdeter Zustand	90
Abbildung 38: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC Transformatorstörung	91
Abbildung 39: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC Lastflussänderungen	91
Abbildung 40: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC EEG Netzengpass.....	92
Abbildung 41: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - VNB Trafo Leistungsflussänderungen	92
Abbildung 42: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - VNB Kabelring Kurzschluss.....	93
Abbildung 43: Ablaufplan Szenario Notzustand.....	95
Abbildung 44: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC Kraftwerkseinsenkung	96
Abbildung 45: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC SSM	96
Abbildung 46: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC Leitungsüberlastung.....	97
Abbildung 47: Struktogramm Szenario Netzwiederaufbau	99
Abbildung 48: Anwahl Dialog Szenarien	100
Abbildung 49: Schematische Darstellung zum Start einer Simulation.....	101
Abbildung 50: Aufgaben des Lehrenden vor dem Simulationsstart	102
Abbildung 51: Aufgaben der Lehrenden zur Vorbereitung und Durchführung eines Planspiels.....	104
Abbildung 52: Auswertung eines Planspiels	106
Abbildung 53: Weitere Forschung und Lehre mit dem Simulationssystem.....	110
Abbildung 54: Entwurf eines Seminars Grundschaltsberechtigung	113
Abbildung 55: Zielgruppe und Themenschwerpunkte für Seminare mit Laien	115
Abbildung 56: Darstellung Szenario Leitungsüberlastung für Laien	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Vorlesungen aller technischen Universitäten in Deutschland im Master Studium zum Thema Netzbetrieb	7
Tabelle 2: Zusammenfassender Überblick Lerntheorien	14
Tabelle 3: abgeleitete Unterrichtsgestaltung aus den Lerntheorien	15
Tabelle 4: Aufgaben in den verschiedenen Phasen der Lernzielüberprüfung	31
Tabelle 5: Formen des Lernnachweises anhand verschiedener Wissensstufen	32
Tabelle 6: Fachliche Voraussetzungen der unterschiedlichen Trainierenden Gruppen	36
Tabelle 7: Inhalte und Lehrmethoden des theoretischen Teils.....	43
Tabelle 8: Inhalte und Lehrmethoden bei den praktischen Übungen	47
Tabelle 9: Lehrkonzept Seminar "Netzbetriebsführung"	49
Tabelle 10: Dargestellte Messwerte an den jeweiligen Betriebsmitteln	58
Tabelle 11: Symboldarstellung der Betriebsmittel.....	59
Tabelle 12: Mengengerüst des komplexen Netzmodells	81
Tabelle 13: Unterschiede Lehrkonzept und erster praktischer Durchführung	108

1. Einleitung

Blickt man zurück auf den Berufsalltag des Netzbetriebsführers vor der Energiewende, welche mit der Erlassung des Erneuerbare-Energie-Gesetz im Jahre 2000 an Dynamik gewonnen hat, so wird man feststellen, dass dieser durch Routine geprägt war. Der Verbrauch des Folgetags konnte präzise prognostiziert und durch eine entsprechende Kraftwerkseinsatzplanung mit konventionellen Kraftwerken gedeckt werden. Diese speisten Energie in das Höchst- und Hochspannungsnetz ein, welche dann über das Verteilnetz, gefolgt von den Städtetzen bis hin zum Verbraucher übertragen wurde. Handlungsbedarf gab es meist nur im Fehlerfall durch Störungen von außen oder bei geplanten Instandsetzungsarbeiten.

Dieses Bild hat sich gravierend geändert. Durch die Installation von Windkraftanlagen im Mittel- und Hochspannungsnetz sowie den Zubau durch Photovoltaikanlagen vor allem im Nieder- und Mittelspannungsnetz, kommt es sowohl zu neuen Anforderungen an das Energieübertragungssystem als auch zu veränderten Anforderungen an die Netzbetriebsführer. Da die Nennleistung der installierten Erneuerbaren-Energien (EE) an lokalen Punkten im Netz wesentlich höher als der Verbrauch ist, kommt es zu einer Rückspeisung von der Niederspannung zur Mittel- und Hochspannung bis hin zur Höchstspannungsebene. Dies hat zur Folge, dass der Netzbetriebsführer im Hoch- und Höchstspannungsnetz nur noch eine Mischlast an den Kuppeltransformatoren wahrnimmt und somit keine konkreten Informationen darüber hat, welchen Betrag die Last in Wirklichkeit aufweist. Es wird für ihn schwieriger sein Netzgebiet richtig zu analysieren und dementsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Eine weitere Herausforderung stellt die fluktuierende, nicht bedarfsgerechte Einspeisecharakteristik von EE-Anlagen dar. Zwar kann mit Hilfe moderner Wetterprognosemodellen eine Genauigkeit von 90% bis 95% erreicht werden [19] [33]. Bei einer installierten EE Leistung im 50Hertz Transmission Netzgebiet von rund 19 GW Wind (on- und offshore kumuliert, Stand 2018) [3] und 11 GW PV (Stand 2018) [4] macht dies aber eine theoretische absolute Standardabweichung von 1500 MW bis 3000 MW aus, die entgegen der Prognose zusätzlich eingespeist werden bzw. an geplanter Einspeisung fehlen können. Allerdings wird es zu keinem Zeitpunkt zu einer vollen Ausschöpfung der installierten EE Leistung kommen. In der Praxis ergab eine Auswertung der von 50 Hertz Transmission veröffentlichten Daten zur Differenz der Einspeiseprognose zur vermarkteten Strommenge für das Jahr 2015 eine maximale Abweichung von 400 MW am 08.04.2015 (siehe Abbildung 1). Dies entspricht einer Leistung von einem Großkraftwerksblock, die entgegen der Prognose entweder mit positivem oder negativem Vorzeichen den Fahrplan beeinflusst. Gleichzeitig werden regelbare Kraftwerke mit gesicherter Einspeisung verdrängt, zum einen durch den Atomausstieg und zum anderen durch die zunehmende Abschaltung von Kohlekraftwerken, welche lediglich noch als Netzreserve

betrieben werden. Diese Diskrepanz wird sich in der Zukunft, in der der EE Anteil der einspeisenden Energie immer größer wird, noch verschärfen. Dementsprechend kam es in der 50Hertz Regelzone bereits im Jahre 2015 324-mal zum Eingreifen in das Energieversorgungsnetz nach §13.1 EnWG und 223-mal nach §13.2 EnWG [2]. Die Netzbetriebsführer mussten somit an rund 90% der Tage im Jahr in das Einspeisemanagement eingreifen, um die Netzstabilität zu gewährleisten. An allen diesen Tagen lag eine kritische Situation vor, die die verantwortlichen Netzbetriebsführer beherrschen mussten. Dies setzt neben der langwierigen und intensiven Ausbildung zum Netzbetriebsführer auch kontinuierliche Weiterbildungen und Trainings voraus.

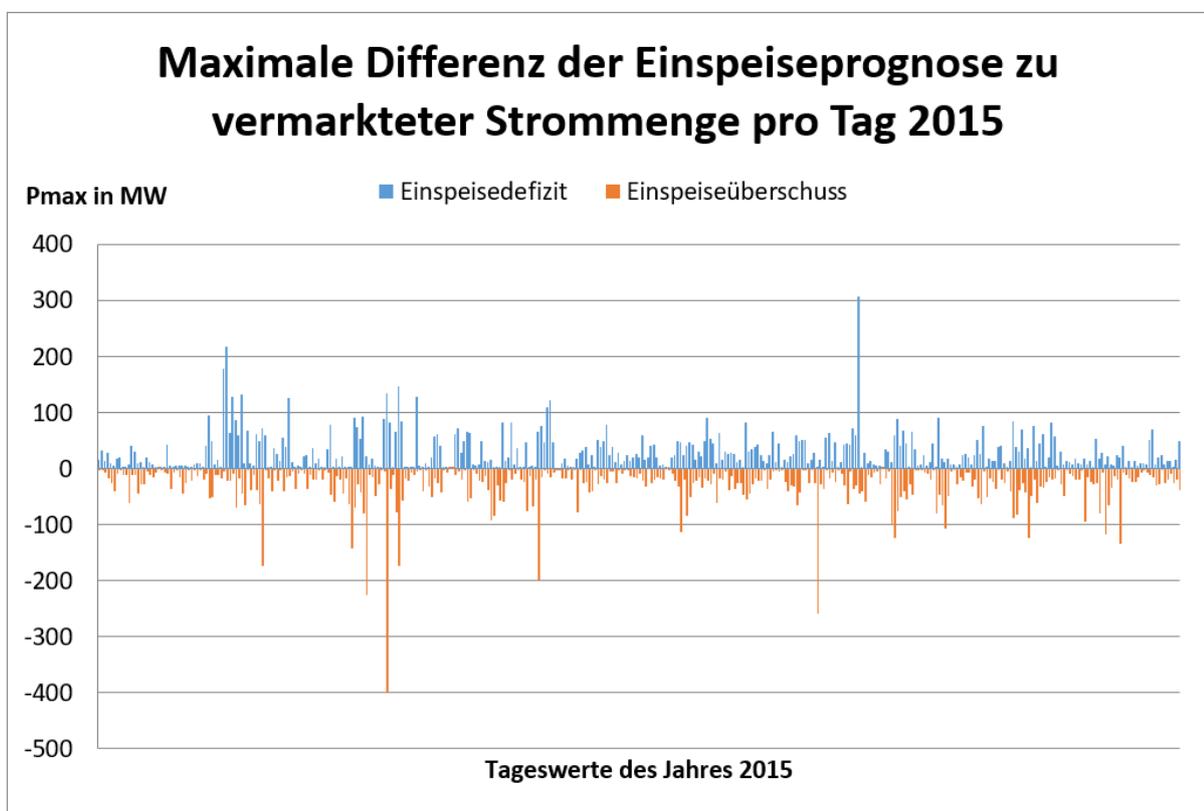


Abbildung 1: Maximale Differenz der Einspeiseprognose zur vermarkteten Strommenge

1.1. Motivation

Am 4. November 2006 kam es in Deutschland zu einer Großstörung, die Auswirkungen auf das komplette europäische Verbundnetz hatte. Das UCTE-Netz (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) ist in drei Frequenzgebiete zerfallen. Einem überfrequenten Bereich im Nordosten, sowie zwei unterfrequenten Bereiche im Westen sowie im Südosten. Die Übertragungsnetzbetreiber hatten zu diesem Zeitpunkt keinen Einblick, z.B. durch Echtzeitdaten, auf die Situation der jeweils anderen Netzgebiete, wodurch es einige Zeit dauerte, bis der

Zerfall des Netzes als solches erkannt wurde. Während der Zeit von dem Beginn der Störung um 22:10 Uhr bis ca. 23:57 Uhr, als alle Teilnetze wieder miteinander gekoppelt wurden, waren mehr als 15 Millionen Menschen vorübergehend nicht mit Strom versorgt. Die ERGEG¹ untersuchte diesen Fall und fordert in ihrem Abschlussbericht zum einen „ein verbesserten rechtlichen und regulatorischen Rahmen, um die Gefahr künftiger Stromausfälle zu minimieren“ [5], zudem „sei es erforderlich, dass die Maßnahmen, die die Übertragungsnetzbetreiber ergriffen, untereinander koordiniert seien und eine Kooperation der Übertragungsnetzbetreiber erfolge“ [5]. Grundlage dieser Empfehlung sind drei Hauptgründe, die die ERGEG als Ursache für die Großstörung sieht: [5]

- „Das (n-1) - Kriterium sei nicht erfüllt gewesen.
- Die Koordination der Übertragungsnetzbetreiber sei ungenügend gewesen.
- Das Verhalten dezentraler Erzeugungseinheiten könne von den ÜBN nicht ausreichend gesteuert werden“

Daraufhin entschied sich die damalige Vattenfall Europe Transmission GmbH in Kooperation mit der Brandenburgischen technischen Universität Cottbus zu einem gemeinsamen Aufbau eines Netzsimulators für das Energieversorgungssystem, um das eigene Personal besser schulen zu können. Bereits nach wenigen Monaten wurde klar, dass ein Unternehmen internes Schulungszentrum nicht ökonomisch ist, aber auch, dass dadurch die Kritikpunkte der ERGEG nicht angegangen werden, nämlich die Koordination der Netzbetreiber untereinander. Es entstand der Anspruch eines europäischen Schulungszentrums für Energieversorgungsnetze für den kommerziellen Betrieb. Da ein universitäres Projekt mit einem größtenteils kommerziellen Betrieb nicht vereinbar ist, wurde der Netzsimulator nach zwei Jahren Projektstatus 2010 in die neu gegründete GridLab GmbH ausgegliedert. Im Fokus steht dort nun der horizontale Trainingsbetrieb zwischen den Übertragungsnetzbetreibern sowie vertikale Trainings zwischen Übertragungsnetzbetreiber und den unterlagerten Verteilnetzbetreibern. Ein Schulungskonzept mit der Qualifizierung für den Netzbetrieb mit konkreten Methodiken, in Verbindung mit einem Simulationssystem für Energieversorgungsnetze, ist nicht vorgesehen und somit bisher nicht existent. Aus diesem Grund wird seit 2013 ein weiteres Netzsimulationssystem an der BTU Cottbus-Senftenberg für die Forschung und Lehre aufgebaut und weiterentwickelt, bei dem es möglich ist, eine solche Schulung zu etablieren.

Parallel zu dieser Entwicklung wurden Verordnungen und Richtlinien mit allgemeinen Vorgaben zu den Fähigkeiten von Netzbetriebsführern sowie deren Qualifizierung sowie Weiterbildung veröffentlicht. Folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Ereignisse

¹ European Regulator's Group for Electricity and Gas

seit Eintreten der Großstörung. Auf der linken Seite ist die Entwicklung der Netzbetriebssimulatoren dargestellt und auf der rechten Seite die Richtlinien und Verordnungen, die sich mit der Aus- und Weiterbildung von Netzbetriebsführern befassen.

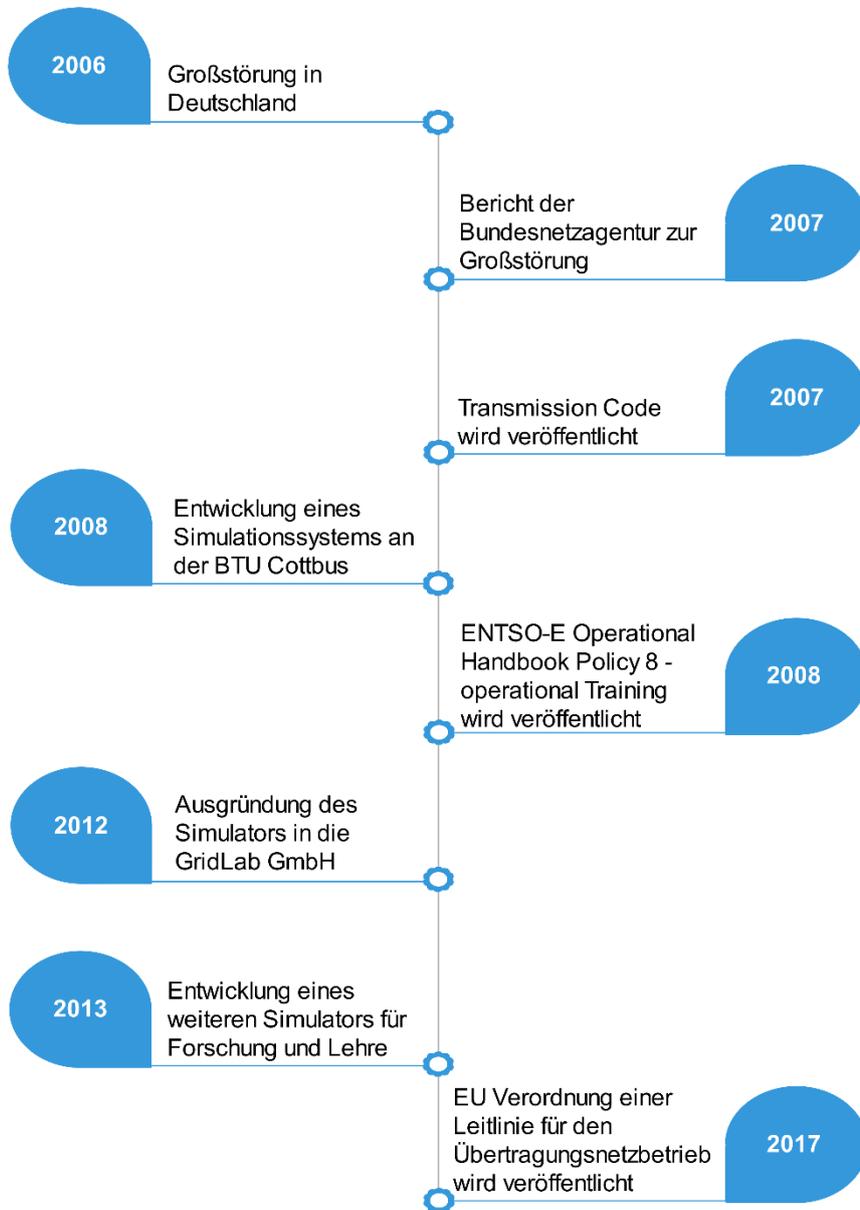


Abbildung 2: Zeitstrahl wichtiger Ereignisse

1.2. Ziel und Aufbau der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Modelle und Methodiken eines Schulungskonzeptes für die Qualifizierung zum Netzbetrieb zu entwickeln, bei dem das neu aufgebaute Simulationssystem ein zentrales Element darstellt. Im Fokus steht dabei die Entwicklung von Netzmodellen, die die Grundlage für verschiedene zu entwickelnde Szenarien bilden. Die anschließende Auswertung der Trainings ist weiterhin ein zentraler Aspekt, um Lernerfolge zu bestimmen und zu gewährleisten. Darüber hinaus sollen weitere Anwendungsgebiete in der Forschung und Lehre identifiziert und andiskutiert werden.

Um solch ein Schulungskonzept zu entwickeln, muss zunächst analysiert werden, wie die aktuelle Ausbildung zum Netzbetriebsführer aussieht, um die Fähigkeiten, welche am Ende einer Netzbetriebsschulung erworben werden sollen, zu identifizieren (Kapitel 2). Dazu zählen insbesondere Verordnungen, welche Leitlinien für die Anforderungen an den Netzbetrieb definieren. Sobald diese Zielvorgabe abgeschlossen ist, gilt es sich ein Überblick über die didaktischen Methoden zu verschaffen. Diese theoretische Betrachtung hilft dabei, die für ein Schulungskonzept mit einem Simulationssystem besonders geeigneten Lehrmethoden zu identifizieren (Kapitel 3). Ist diese theoretische Betrachtung abgeschlossen, wird die Zielvorgabe des Schulungsseminars klar definiert und die Grundvoraussetzungen, für die an der Schulung teilnehmenden Personen, dargelegt. Erst dann können konkrete Inhalte der Schulung erarbeitet werden (Kapitel 4). Neben der reinen Wissensvermittlung ist das Simulationssystem zentraler Bestandteil der Netzbetriebsschulung. Dieses wird in Kapitel 5 näher beschrieben und wesentliche, für die Netzbetriebsschulung besonders relevante Funktionen hervorgehoben. Kernstück dieser Arbeit ist die Entwicklung von Netzmodellen (Kapitel 6.1), die nötig sind, um die bis dahin definierten Schulungsinhalte zu vermitteln, sowie die Erstellung von Szenarien (Kapitel 6.2), anhand derer die Trainierenden die Fähigkeiten entwickeln, die sie benötigen, um für die Netzbetriebsführung qualifiziert zu werden. Diese Szenarien werden so beschrieben, dass verschiedene Reaktionen der Trainierenden berücksichtigt werden, wodurch das Szenario in Abhängigkeit dieser Reaktionen unterschiedliche Verläufe annehmen kann. Daran schließt sich die Beschreibung der praktischen Durchführung der Schulung am System an, sowie eine Auswertung des ersten Schulungsdurchlaufs (Kapitel 6.3). Zum Abschluss werden weitere Anwendungsgebiete des Simulationssystems identifiziert und kurz beschrieben (Kapitel 7). Die Erfahrungen und Ergebnisse werden im letzten Kapitel zusammengefasst und ein Ausblick auf eine potenzielle Weiterentwicklung der Schulung des Netzbetriebes gegeben.

2. Status Quo der Netzbetriebsschulung

Bevor eine Person eigenständig als Netzbetriebsführer arbeiten kann, absolviert sie eine zeitintensive Ausbildung. Dabei gibt es keine klassische Ausbildung zum Netzbetriebsführer, bei der durch das Bestehen einer Abschlussprüfung ein Zeugnis ausgestellt wird, welches jemanden für den Netzbetrieb qualifiziert. Stattdessen wird eine klassische technische Ausbildung, eine Meisterschulung oder ein Studium abgeschlossen, das entweder an einer externen Ausbildungseinrichtung oder intern im Unternehmen abgeschlossen werden kann, an das sich eine weiterführende Ausbildung direkt im Energieversorgungsunternehmen anschließt. Abbildung 3 stellt dies schematisch dar.

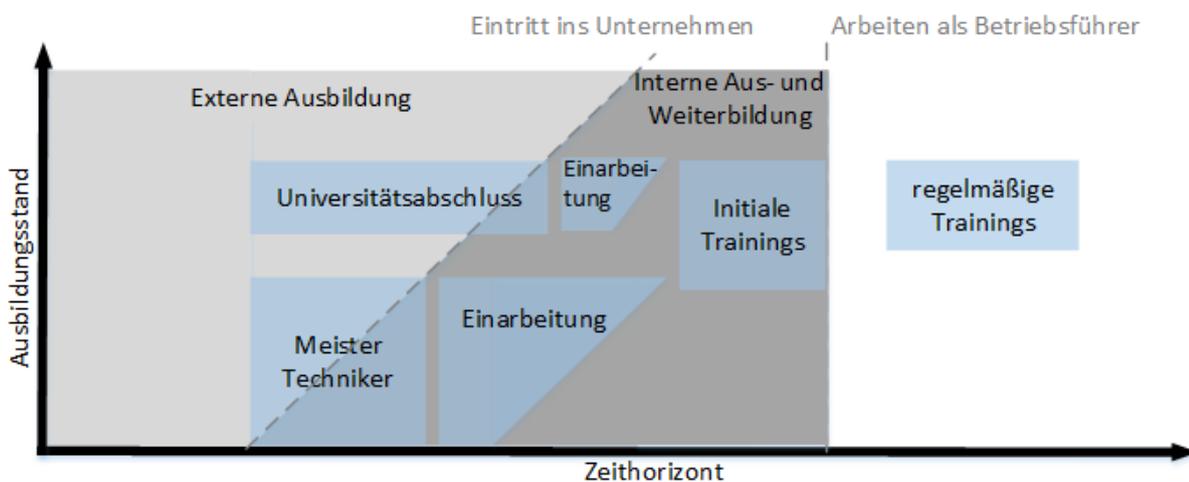


Abbildung 3: Ausbildung zum Betriebsführer (In Anlehnung an [29])

An diese erste Ausbildung schließt sich eine Einarbeitungszeit im Unternehmen an. Je intensiver der Betriebsführeranwärter während seiner technischen Ausbildung in Kontakt mit dem Unternehmen gekommen ist, desto kürzer fällt diese Einarbeitungsphase aus. Dabei muss er sich selbstständig aus den realen Betriebsabläufen, unter der Anleitung erfahrener Kollegen, sein Aufgabenspektrum erarbeiten. Parallel dazu sind Weiterbildungen nötig, um die Erlaubnis zum Schalten von Hochspannungsschaltanlagen zu erhalten. Dazu muss beispielsweise bei einem vom TÜV zertifizierten Unternehmen, ein Schaltberechtigungskurs absolviert werden. Dieser dauert je nach Anbieter 2-5 Tage und lehrt vom Betrieb elektrischer Anlagen über Schaltsprache bis hin zu den fünf Sicherheitsregeln alle relevanten Themen, die ein Schaltberechtigter beherrschen muss. Im Vordergrund stehen dabei die DIN VDE 0105-100 (Betrieb von elektrischen Anlagen), die DIN VDE 1000 Teil 10 (Anforderung an die im Bereich der Elektrotechnik tätigen Personen) sowie weitere berufsgenossenschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen. Weiterhin werden Trainings an Simulationssystemen durchgeführt, die idealerweise das Netzmodel des jeweiligen Unternehmens enthalten.

Doch warum ist diese intensive Weiterbildung im Energieversorgungsunternehmen notwendig? Um dies zu ergründen, wurden die Inhalte bei der studentischen Ausbildung, welche den höchsten Bildungsabschluss unter den technischen Erstausbildungen darstellt, untersucht. Dabei wurden die Studienordnungen aller 15 technischen Universitäten Deutschlands, ausgenommen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, des Studiengangs Elektrotechnik mit der Vertiefung Energietechnik (oder vergleichbarem) im Master bzw. Hauptdiplom, nach dem Vorlesungsangebot dahingehend untersucht, welche augenscheinlichen Berührungspunkte es mit der Netzbetriebsführung geben könnte. In Tabelle 1 ist diese Auflistung zu finden. Sie entspricht dem Stand von 2019.

Tabelle 1: Relevante Vorlesungen aller technischen Universitäten in Deutschland im Master Studium zum Thema Netzbetrieb

Universität	Vorlesung
TU Dresden	<ul style="list-style-type: none"> • Netzintegration, Systemverhalten und Versorgungsqualität [42] • Schutz und Leittechnik in elektrischen Energieversorgungssystemen [42] • Betrieb elektrischer Energieversorgungssysteme [42]
RWTH Aachen	<ul style="list-style-type: none"> • Netzbetriebsführung [31]
TU München	<ul style="list-style-type: none"> • Netzplanung und Netzführung [49]
TU Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Electric Energy Networks [35]
TU Dortmund	<ul style="list-style-type: none"> • Modellbildung und Simulation – elektrische Energieübertragungssysteme [41]
TU Darmstadt	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energieversorgung I [40] • Elektrische Energieversorgung II [40]
KIT	<ul style="list-style-type: none"> • Energieübertragung und Netzregelung [13] • Elektrische Energienetze [14]
TU Braunschweig	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energieanlagen II [37] • Regelung in der elektrischen Energietechnik [36]
TU Kaiserslautern	<ul style="list-style-type: none"> • Netzplanung und Netzführung II [48]
TU Chemnitz	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroenergieübertragung und –verteilung [38]
TU Hamburg	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energiesystem II [45] • Elektrische Energiesystem III [44]

Tabelle 1 Fortsetzung

TU Ilmenau	<ul style="list-style-type: none"> • Netzleittechnik und Energiemanagementsysteme [47] • Dezentrale und zentrale Elektroenergieversorgung [46]
TU Clausthal	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energieverteilung [39] • Energiesysteme [39]
TU Freiberg	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroenergiesysteme [43]

Dabei fällt auf, dass lediglich die TU Aachen, die TU München und die TU Kaiserslautern Vorlesungen anbieten, welche sich explizit mit der Netzbetriebsführung beschäftigen. Nimmt man diese drei als Referenzbeispiele und analysiert die Modulbeschreibungen, so findet man bei dem Modul „Netzbetriebsführung“ der TU Aachen folgende Schwerpunkte [31]:

- Die physikalischen Betriebsgrenzen
- Regelungskonzepte im Übertragungsnetzbetrieb
- Einflüsse des Verbundbetriebes
- Einflüsse der Liberalisierung der Energiemärkte auf die Systemführung
- Integration neuartiger Betriebsmittel in das Transportnetz

In der Modulbeschreibung für das Modul „Netzplanung und Netzführung“ der TU München ist als Zielstellung beschrieben, dass den Studenten ein „Einblick in die Problemstellungen, die Vorgehensweisen und die wichtigsten Verfahren und deren Anwendung im Bereich Netzplanung und Netzbetrieb“ gewährt werden soll [49]. Die TU Kaiserlautern lehrt unter dem Einsatz eines Trainingssimulators folgende Schwerpunkte [48]:

- Normaler Netzbetrieb und Netzüberwachung
- Leistungs- und Frequenzregelung
- Betrieb im Störfall
- Netzwiederaufbau

Zwar lässt sich anhand dieser Kurzbeschreibung nicht auf den kompletten Inhalt der Vorlesung schließen, dennoch lässt sich vermuten, dass mit Ausnahme der TU Kaiserlautern, der Fokus auf der theoretischen Wissensvermittlung, also der klassischen Vorlesungen liegt. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass lediglich an einer technischen Universität in Deutschland das Zusammenspiel zwischen Leittechnik und Schaltpersonal mit der damit verbundenen Schaltsystematik und Verriegelungsbedingungen, Schaltsprache und Sicherheitsbestimmungen beim Arbeiten unter Spannung stehender Teile bzw. in der Nähe unter Spannung stehender Teile behandelt bzw. in praktischen Übungen vertieft wird. Demzufolge wird deutlich, dass

den Studierenden das Detailwissen fehlt, um in der Lage zu sein, ein Energieversorgungsnetz unter den heutigen Randbedingungen sicher zu führen.

Darüber hinaus wuchs das Bewusstsein, sowohl bei den Netzbetreibern als auch in regulatorischen Gremien, dass zunehmend Schulungen des Leitwartenpersonals aufgrund gesteigerter Anforderungen an den sicheren Netzbetrieb nötig sind. In der „Verordnung (EU) 2017/1485 Der Kommission vom 2. August 2017 zur Festlegung einer Leitlinie für den Übertragungsnetzbetrieb“ werden daher unter anderem „Bestimmungen für die Aus- und Weiterbildung und die Zertifizierung von Mitarbeitern der Netzbetreiber“ ((EU) 2017/1485, Art. 1) festgehalten. Darin wird eine Grundausbildung mit einem ergänzenden weiterführenden Trainingsprogramm zur kontinuierlichen Weiterbildung gefordert ((EU) 2017/1485, Art. 58, Abs 1). Weiterhin werden Kenntnisse der Interoperabilität zwischen den Übertragungsnetzbetreibern verlangt. Diese Kenntnisse können nur über das Sammeln von Erfahrung erlangt werden, weshalb die o.g. zeitintensive Weiterbildung von Universitätsabsolventen bzw. Techniker und Meister in dem jeweiligen Energieversorgungsunternehmen unabdingbar ist. Darüber hinaus werden in der Verordnung regelmäßige Trainings nahegelegt, deren Frequenz jeder Übertragungsnetzbetreiber selbst festlegt und deren Inhalt u.a. folgende Aspekte abdeckt ((EU) 2017/1485, Art. 58, Abs 4):

- Beschreibung der Übertragungsnetzbetriebsmittel
- Betrieb des Übertragungsnetzes in allen Netzzuständen; Netzwiederaufbau
- Anwendung operativer Systeme und Prozesse
- ÜNB-übergreifende Koordination des Betriebs und die Marktregelungen
- Erkennung außergewöhnlicher Betriebssituationen und die Reaktion darauf
- Relevante Bereiche der elektrischen Energietechnik
- Relevante Aspekte des Elektrizitätsbinnenmarktes der EU
- Personenschutz und Betriebssicherheit von Betriebsmitteln im Netzbetrieb
- Zusammenarbeit und Koordination zwischen verschiedenen ÜNB beim Echtzeitbetrieb und bei der Betriebsplanung
- Handlungskompetenzen, insbesondere was das Stressmanagement, das Verhalten in kritischen Situationen, das Verantwortungsbewusstsein und die Motivationsfähigkeit betrifft

Allerdings wird deutlich, dass keine konkreten Methoden beschrieben werden, wie solch eine Aus- und Weiterbildung durchgeführt werden soll. Außerdem muss betont werden, dass es keine gesetzliche Verpflichtung der Netzbetreiber gibt, ihr Personal an solchen Trainingsseminaren teilnehmen zu lassen. Die Praxis zeigt allerdings, dass sie sich ihrer Verantwortung bewusst sind und regelmäßig Weiterbildungs- und Trainingsmaßnahmen durchführen.

3. Übersicht Lerntheorie und Lehrmodelle

Damit ein geeignetes Konzept für eine Schulung der Netzbetriebsführung entwickelt werden kann, muss ein Grundverständnis über die Theorie des Lernens und des Lehrens entwickelt werden. Aus lerntheoretischer Sicht gibt es in der Fachliteratur verschiedene Modelle und Hypothesen, die psychologisch beschreiben, wie die Lernvorgänge eines Lebewesens funktionieren. Dabei existiert in der Psychologie grundsätzlich kein einheitlicher Begriff „Lernen“, sondern vielmehr setzen verschiedene lerntheoretische Ansätze jeweils eigene Schwerpunkte und Akzente. Bei den Lehrmethoden existiert eine nahezu unüberschaubare Vielzahl an Modellen, welche alle ihre Befürworter und Kritiker haben. Je näher dabei in die Gegenwart geschaut wird, desto vielfältiger werden die sogenannten „innovativen Lehrmethoden“. Abbildung 4 zeigt das grobe Zusammenspiel von ausgewählten Lehr-Lernmodellen, welche wiederum die Grundlagen für Schulungsmethoden bilden.

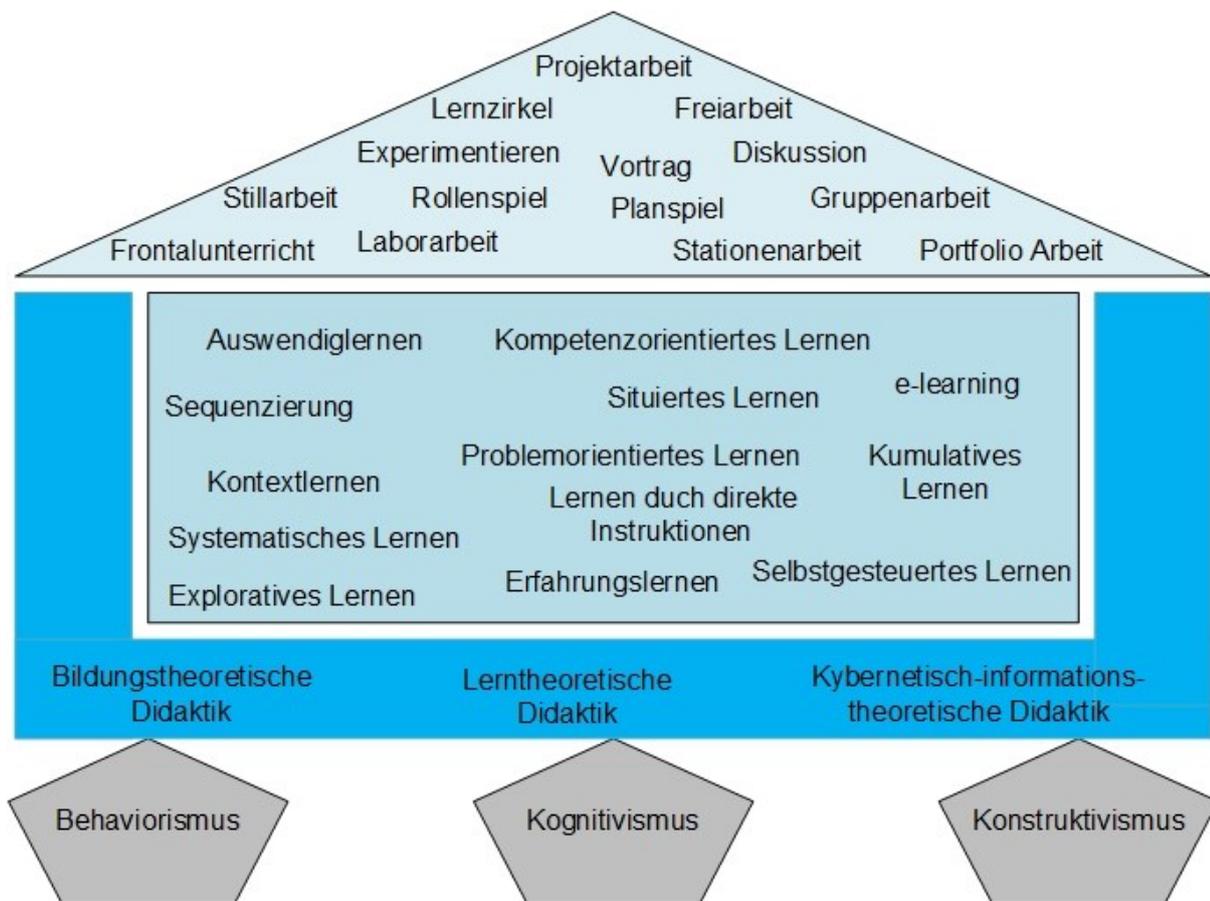


Abbildung 4: Übersicht Lehr-Lernmodelle

In den folgenden Kapiteln werden diese Modelle näher erläutert und auf ihre Eignung, für das zu erstellende Schulungskonzept, bewertet.

3.1. Lerntheorie

In der Fachliteratur liest man immer wieder von den drei allgemein anerkannten Lerntheorien Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus, die grundlegend für die Erklärung von Lehren sind. Mit ihren Erläuterungen rücken die Lehr- und Lernenden in den Fokus. Durch die Kenntnis dieser Lerntheorien ist es möglich, eine differenzierte Vorbereitung von Schulungen durchzuführen.

Der **Behaviorismus** ist eine Verhaltenstheorie auf Basis eines Reiz-Reaktionsmodells, bei dem physiologische Vorgänge außeracht gelassen werden. Dabei werden ausschließlich Prozesse, welche sich zwischen Organismus und Umwelt abspielen, berücksichtigt. Folgende Prozesse spielen dabei eine besondere Rolle [18]:

- Kulturelle Einflussfaktoren der Umwelt auf das jeweilige Individuum
- Steuerungsmechanismen, insbesondere die Verstärkung
- Der intraindividuelle Mechanismus der Selbstverstärkung
- Die Übertragung der Verhaltenstheorie auf den Unterricht, um diesen durch das programmierte Lehren und Lernen zu Optimieren

Begründer des Behaviorismus ist John B. Watson mit seinem 1913 veröffentlichten Artikel „Psychology as the Behaviorist views it“. Ein weiterer herausragender Forscher des Behaviorismus ist Burrhus Frederic Skinner. Er prägte die Bezeichnung des operanten Konditionierens und Entwickelte die Methode des programmierten Lernens. Ersteres beschreibt das Erlernen von Reiz-Reaktions-Mustern. Aus einem ursprünglich spontanen Verhalten wird ein erwünschtes Verhalten durch Belohnung bzw. ein unerwünschtes Verhalten durch Bestrafung verstärkt. Das programmierte Lernen entstand aus der Frage heraus, auf welche Art und Weise sich der Lehr- und Lernprozess optimieren lässt, damit die Lernleistung des Individuums maximiert und sein Beitrag für das Funktionieren der Gesellschaft gesteigert wird, und zwar so, dass das Individuum dabei motiviert bleibt. Es beruht darauf, den zu vermittelnden Lernstoff in kleine Untereinheiten zu zerlegen, um nach erfolgreichem Abschluss einer Lerneinheit, den Lernenden mit dem nächsten Lernschritt zu „belohnen“. Die resultierenden Erkenntnisse des Behaviorismus werden beispielsweise bei kognitiven Lernprozessen angewandt. So wird das programmierte Lernen häufig bei Selbstlernprogrammen für Sprachen eingesetzt. Der Prozess der Konditionierung tritt vor allem (unbewusst) im Säuglings- und Kindesalter durch die Eltern auf. Auch bei der Untersuchung des Konsumverhaltens bzw. der gezielten Steuerung des Konsumverhaltens werden behavioristische Methoden angewandt.

Kritisiert wird die Vernachlässigung komplexer geistiger Vorgänge wie Wahrnehmung, Denken und Problemlösen. Außerdem stammen die Erkenntnisse überwiegend aus Tierexperimenten und Laborversuchen mit mangelndem Bezug zu realen Situationen des menschlichen Lebens.

Die Theorie des **Konstruktivismus** geht davon aus, dass Lernen ein konstruktiver Prozess ist, jedes Individuum aufgrund seiner Erfahrungen individuell lernt und dabei die eigenen Wertvorstellungen, Überzeugungen und Erfahrungen einbringt. Sie erzeugen eine subjektive Realität und reagieren auf eigene Sinneseindrücke, anstatt auf Reize einer objektiven Welt. Auf Lerntheorien bezogen bedeutet das, dass Wissen nicht direkt von einer Person auf die andere übertragen werden kann, sondern vielmehr von jeder Person neu konstruiert wird. Dabei wird angenommen, dass das Gehirn ein in sich geschlossenes System ist und Reize aus der Umwelt interpretiert werden und somit zu einem subjektiven Empfinden führen. Durch die Sinnesorgane aufgenommene Reize spiegeln also niemals eine objektive Wahrnehmung der Realität wider, sondern deren subjektive Interpretation. Dieser Subjektivismus kann als theoretisches Fundament dienen, um einen Rahmen zu schaffen, der subjektive Erfahrungen als Ursprung und Ergebnis von Lernen hervorbringt. Im Gegensatz zum Behaviorismus, bei dem Wissen durch eine Aneinanderreihung von Frage-Antwort Ketten verfestigt wird, liegt der Schwerpunkt beim konstruktivistischen Lernen beim selbstständigen Entdecken der Lehrinhalte. Die Aufgabe des Lehrenden besteht somit nicht darin Wissen zu vermitteln, sondern vielmehr die Lernenden durch kontrollierte Instruktionen in ihrem Lernprozess zu unterstützen. Durch selbstständiges Auseinandersetzen der Lernenden mit dem Lehrinhalt, sollen diese neue Inhalte erschließen und Zusammenhänge mit bereits erworbenem Wissen entdecken. Konkret für Lehr-Lernprozess-Gestaltung lässt sich ableiten:

- der Ansatz, durch äußeres Herantragen von Unterrichtsinhalten, um Lernende diese Inhalte verinnerlichen zu lassen wird nicht zu einem gewünschten Ergebnis führen,
- nicht allein die Lehrkraft legt fest, was gelehrt wird, sondern alle Beteiligten bestimmen selbst, worauf sie sich einlassen,
- dies geschieht vor dem Hintergrund ihrer individuellen Vorerfahrungen. Somit müssen subjektive Eindrücke im Unterricht einen höheren Stellenwert haben.
- der Wechsel zwischen unterschiedlichen Betrachtungswinkeln wird Gegenstand und Methode des Unterrichts,
- aus einem Lehrer wird ein Lernbegleiter, der sinnvolles und individualisiertes Lernen ermöglicht
- aus einem Schüler wird ein Beobachter, Teilnehmer und eigenverantwortlicher Akteur des Lernens

Beim **Kognitivismus** steht die Informationsverarbeitung und höhere kognitive Funktion, d.h. Prozesse, die beim Lernen von Regeln, bei der Wahrnehmung, beim Problemlösen und Denken ablaufen, im Vordergrund. Es zählt zu den „modernerer“ Lerntheorien, da, im Gegensatz zum Behaviorismus, der Gegenstand der Forschung weniger beschränkt ist. Vielmehr gibt es

einige Überschneidungen mit den konstruktivistischen und behavioristischen Theorien. Dennoch grenzt sich der Kognitivismus von diesen beiden klar ab. Bei ihm ist der menschliche Verstand keine Black-Box, sondern genau diese innerpsychischen Prozesse, welche im Behaviorismus ausgeklammert werden, werden untersucht. Im Vergleich zum Konstruktivismus sind kognitivistische Strukturen von Reizen und Wechselwirkungen einer objektiven Umwelt abhängig. Das Fundament des Kognitivismus basiert auf der Maschinen-Metapher. Diese besagt, dass der Mensch Informationen aus der Umwelt aufnimmt, diese im Gehirn verarbeitet und abspeichert, um sie dann auch wieder anzuwenden. Den Kognitivisten geht es darum, diese im Gehirn ablaufenden Prozesse zu verstehen. Für den Lernprozess bedeutet das, dass eine Interpretation und Bewertung des aufgenommenen Wissens ein wesentlicher Bestandteil der Informationsverarbeitung sind. Kognitivistisches Lernen lässt sich auch als Lernen durch Einsicht, d.h. durch Verstehen und Nachvollziehen, bezeichnen. Folgende Aspekte müssen beim Lernvorgang im kognitivistischen Sinne beachtet werden:

- Aufmerksamkeit gewährleisten
 - Grundsätzliche und gerichtete Aufmerksamkeit muss geweckt werden
- Vorwissen aktivieren
 - Neue Information mit bestehenden Vorwissen Verknüpfen
- Wahrnehmungsprozess unterstützen
 - Lerninhalte so aufbereiten, dass sie vom Lernenden leicht wahrgenommen werden
- Speicherung im Gedächtnis optimieren
 - Gedächtnisleistung der Lernenden kann z.B. durch Wiederholung, Anwendung und Aktivierung von Vorwissen gesteigert werden
- Wissen überprüfen und verbessern
 - Prüfung des gelernten Wissens und somit die Validierung von Lernerfolgen kann das Lernverhalten positiv beeinflussen

Kritisiert wird am Kognitivismus, dass menschliche Wahrnehmung auf rein kognitive Prozesse beschränkt bleiben und die Bedeutung sozialer sowie emotionaler Prozesse vernachlässigt wird. Soziale Einbettung von Lernen und Kognition findet kaum Beachtung [32]

Die folgenden Tabellen fassen alle drei Lerntheorien zusammen und zeigen ihre Bedeutung für die Unterrichtsgestaltung auf.

Tabelle 2: Zusammenfassender Überblick Lerntheorien [6]

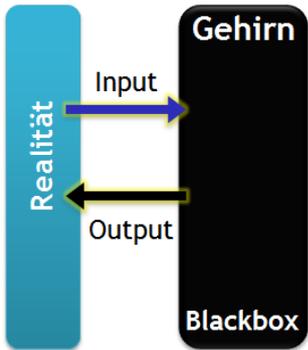
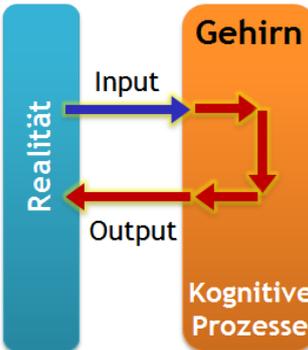
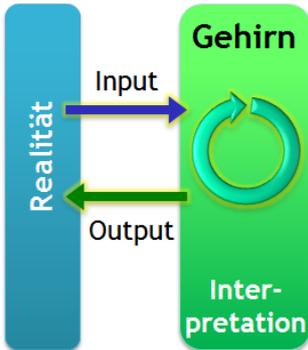
Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
<ul style="list-style-type: none"> • Das Gehirn wird als „Black Box“ angesehen, deren innere Prozesse nicht von Interesse sind. • Verhalten wird als Ergebnis von verstärkenden und abschwächenden Faktoren aufgefasst. • John B. Watson forderte in den 1920er Jahren, alles Subjektive aus der Psychologie zu entfernen. • Burrhus F. Skinner behauptete in den 1950er Jahren, das Bewusstsein und freier Wille Illusionen seien. Menschliches Verhalten beruht nach ihm auf gelernten Reaktionen auf Reize der Umwelt. • Lernen soll so aufbereitet sein, dass positive Erfolgserlebnisse eintreten. Skinner erstellte Regeln für ein programmiertes Lernen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menschliches Verhalten wird nicht nur durch Umweltbedingungen, sondern über kognitive, innere Prozesse erklärt. • Der Mensch wird unter der Metapher der biologischen Maschine betrachtet, die Informationen aufnimmt, verarbeitet, abspeichert und anwendet. • Die im Gehirn ablaufenden Prozesse z.B. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Entscheidungsprozesse, Problemlösen und Sprache sollen verstanden werden. • Lernen ist ein Prozess des Verstehens und Nachvollziehens und mündet in eine Einsicht mit darauffolgender Bewertung. • Die Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt führt zum Erwerb von Methoden und Fähigkeiten für das Lösen von Problemstellungen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lernen ist ein aktiver Konstruktionsprozess, in dem jeder Lernende eine individuelle Repräsentation der Welt erschafft. • Individuen reagieren nicht auf Reize aus einer objektiven Welt. Reize werden durch die Sinnesorgane aufgenommen, vom Gehirn interpretiert und danach zu einem subjektiven Sinneseindruck verarbeitet. • Wissen kann nicht von einer Person auf eine andere Person übertragen werden, sondern muss von jedem Menschen neu konstruiert werden. • Konstruktivistisches Lernen ist das selbständige Entdecken von Lerninhalten.
		

Tabelle 3: abgeleitete Unterrichtsgestaltung aus den Lerntheorien [6]

<p>⇒ Dem Lernenden muss das Lernziel so genau wie möglich bekannt sein.</p> <p>⇒ Die Lernschritte müssen in logischer Abfolge zum Lernziel führen.</p> <p>⇒ Der Lernende soll 95% aller Lerneinheiten erfolgreich bestehen können.</p> <p>⇒ Fest vorgegebene Aufgaben werden so lange wiederholt, bis sie richtig gelöst werden.</p> <p>⇒ Durch Lob oder Lernerfolge werden Reize geschaffen, die die korrekt memorierte Information verstärken.</p> <p>⇒ Wer erfolgreich lernt, lernt lieber und besser!</p>	<p>⇒ Grundsätzliche als auch die gerichtete Aufmerksamkeit des Lernenden muss gewährleistet sein.</p> <p>⇒ Neue Informationen mit bestehendem Vorwissen verknüpfen.</p> <p>⇒ Aufbereitung der Lerninhalte so, dass sie leicht verstanden werden können.</p> <p>⇒ Gedächtnisleistung der Lernenden verbessern, z. B. durch die Aktivierung von Vorwissen und Wiederholung.</p> <p>⇒ Kontrolle des gelernten Wissens und ein damit verbundenes Erreichen von Lernerfolgen (positives Feedback).</p>	<p>⇒ Lernen ist aktive Wissenskonstruktion durch den Lernenden.</p> <p>⇒ Lernen ist ein individueller Vorgang, abhängig vom Vorwissen des Lernenden und der Lernsituation.</p> <p>⇒ Lernen ist die Konstruktion und Verfeinerung mentaler Landkarten.</p> <p>⇒ Wissen an sich ist nicht vermittelbar, sondern kann nur individuell selbst konstruiert werden.</p>
---	---	---

3.2. Didaktische Grundlagen

Aufbauend auf den in Kapitel 3.1 beschriebenen Lerntheorien entwickelten sich verschiedene didaktische Modelle (siehe Abbildung 4). Diese zeigen Handlungsmöglichkeiten auf und reflektieren ihre Auswirkungen, leisten Orientierungshilfen bei der Durchführung und Planung von Unterricht und dienen der Erklärung und dem Verständnis von Abläufen und Zusammenhängen. Außerdem sind sie ein Aussagesystem zur Struktur und Gestaltung von Lehr-Lernprozessen.

3.2.1. Bildungstheoretische Didaktik

Das Modell der bildungstheoretischen Didaktik entstand in den 1950er Jahren. Ihr bedeutendster Vertreter ist Wolfgang Klafki. Bei diesem Modell steht der Begriff der Bildung im Vordergrund. Diese habe die Aufgabe den „unmündigen Menschen zur Mündigkeit zu verhelfen“ [15].

Klafki beschäftigt sich mit der Frage, was Bildung eigentlich ist und kommt zur der bis heute allgemein anerkannten These: „Allgemeinbildung bezeichnet die Fähigkeit eines Menschen, kritisch, sachkompetent, selbstbewusst und solidarisch zu denken und zu handeln“ [15]. Weiterhin entwickelte Klafki den Begriff der kategorialen Bildung. Damit beschreibt er seine Vorstellung, dass Bildung stets materiale und formale Bildung zugleich ist. Die materiale Bildung beschreibt die Erschließung von Wissen über die Objektseite, d.h. möglichst viel Wissen enzyklopädisch anzuhäufen. Die formale Bildung steht dem Gegenüber und beschreibt Bildung subjektbezogen, das heißt Fähigkeiten lernen, welche das Lernen an sich unterstützen. Um diese beiden Aspekte in Einklang zu bringen, prägte Klafki den Begriff der kategorialen Bildung. Er ist der Meinung, dass in dem Bildungsprozess die „Aufnahme und Aneignung von Inhalten stets verbunden [ist] mit der Formung, Entwicklung, Reifung von körperlichen, seelischen und geistigen Kräften“ [15]. Ziel Klafki's war es nun, auf Grundlage seiner theoretischen Betrachtung, den Lehrenden Modelle und Konzepte in die Hand zu geben, damit sie ihre Lehre bestmöglich ausführen können. Er entwickelte die didaktische Analyse, mit dessen Hilfe die Lehrenden kritisch prüfen können, ob die Auswahl ihrer Bildungsinhalte den Forderungen der bildungstheoretischen Didaktik entspricht. Diese Analyse stellt fünf Grundfragen an die Lehrinhalte:

- Gegenwartsbedeutung

Damit die Lernenden eine geistige Beziehung zu den Bildungsinhalten herstellen können, muss die Frage nach der Gegenwartsbedeutung gestellt werden. Der Lernende benötigt einen Bezug, bereits bekannte oder auch nur erahnte Aspekte zu der Thematik.

- Zukunftsbedeutung

Der Lehrinhalt muss den Lernenden geistig auf zukünftige, noch nicht bekannte Anforderungen vorbereiten. Der Lehrende muss sich Fragen worin die Bedeutung der Thematik für die Zukunft des Lernenden liegt.

- Exemplarische Bedeutung

Hierbei soll sich der Lehrende vergegenwärtigen, welche Bedeutung der Bildungsinhalt für die Erschließung eines größeren Lernfeldes hat und welches Potential es somit für die Erweiterung des Wissens und des Könnens in sich birgt.

- Struktur des Inhalts

Sobald der Inhalt abgesteckt ist, gilt es nun eine inhaltlich aufeinander aufbauende Struktur der Teillehrinhalte zu erarbeiten

- Zugänglichkeit

Bei der letzten Frage geht es darum zu klären, wie die Lernenden erreicht werden können und wie die Thematik für sie interessant und begreiflich gelehrt werden können.

Nachdem diese fünf Fragen beantwortet wurden, können folgende finale methodische Schritte für die Gestaltung des Unterrichts unternommen werden:

- Gliederung der Schulung in Phasen oder Abschnitte
- Wahl der Schulungsverfahren
- Einsatz von Lehr- und Arbeitsmitteln
- Gewährleistung der organisatorischen Voraussetzungen des Unterrichtes

3.2.2. Lerntheoretische Didaktik

Bei dem Modell der lerntheoretischen Didaktik steht anstelle der Bildung, wie bei der bildungstheoretischen Didaktik, das Lernen im Vordergrund. Zu den herausragenden Vertretern gehört Paul Heimann. Seiner Ansicht nach, haben die den Unterricht bestimmenden Elemente eine gleichbleibende Bedeutung mit dem Lehrenden. Er will die didaktische Struktur des Unterrichts analysieren, um alle im Unterricht auftretenden Erscheinungen einer wissenschaftlichen Kontrolle zu unterziehen. Seiner Ansicht nach, gliedert sich der Unterricht in ein Grundgerüst aus sechs formalen Konstanten die Heimann folgendermaßen beschreibt: „Da ist jemand, der hat eine ganz bestimmte Absicht. In dieser Absicht bringt er irgendeinen Gegenstand in den Horizont einer bestimmten Menschengruppe. Er tut das in einer ganz bestimmten Weise, unter Verwendung ganz bestimmter Medien, und er tut es auch in einer ganz bestimmten Situation“ [9]. Alle daraus resultierenden Strukturelemente stehen miteinander in wechselseitiger Beziehung. Der Lehrende muss nun zu Entscheidungen treffen, wie der Unterricht zu gestalten ist und zum anderen welche Voraussetzungen sowohl Lehrender als auch Lernender mitbringen müssen. Diese Entscheidungen bilden dabei vier Entscheidungsfelder (Intention, Thematik, Methodik und Medienwahl) und die Voraussetzungen, die zu berücksichtigen sind, bilden zwei Bedingungsfelder (anthropogene Voraussetzungen und soziokulturelle Voraussetzungen). Somit muss der Lehrende entscheiden, welche Intentionen an welchen Lehrinhalten unter Nutzung welcher Methoden und Medien durchgeführt werden sollen. Dem ist der anthropogene und soziokulturelle Strukturbereich vorgeschaltet, welcher die personalen und sozialen Bedingungen für das Unterrichtshandeln berücksichtigt. Abbildung 4 zeigt die didaktische Struktur des Unterrichts nach Paul Heimann.

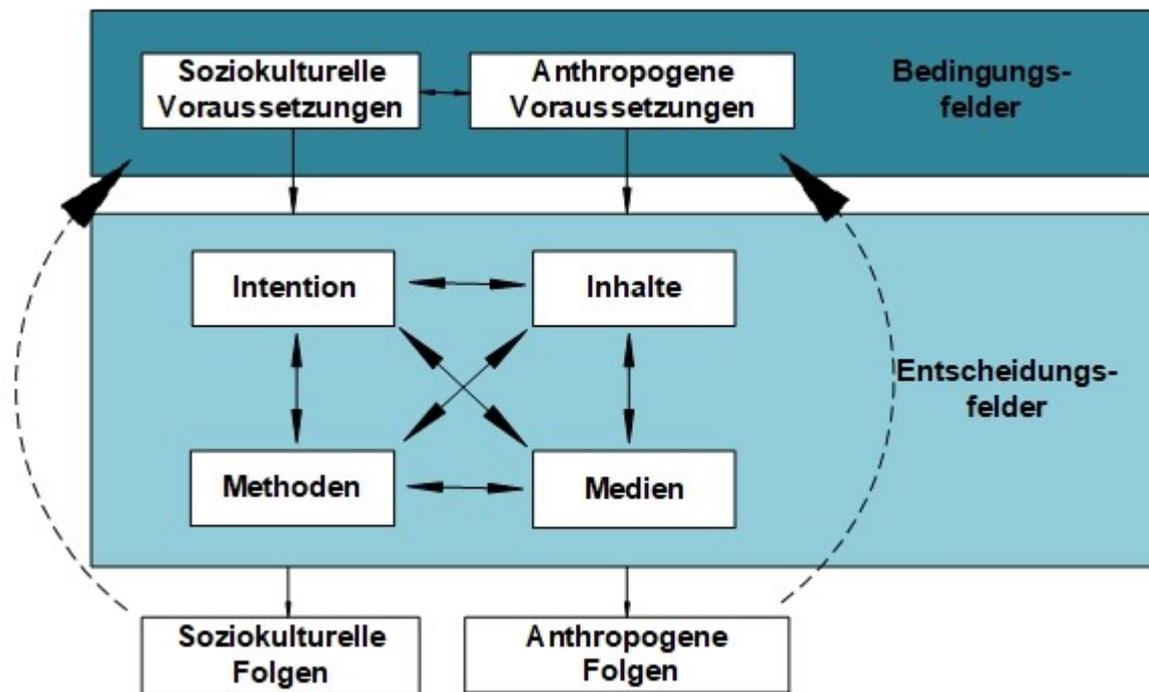


Abbildung 5: Didaktische Strukturanalyse des Unterrichts (in Anlehnung an [9])

Dabei wird deutlich, dass sich alle Strukturmomente gegenseitig bedingen und sich in einer stetigen Interdependenz befinden. Heimann sieht die Strukturanalyse allerdings nur als den ersten Teil der Didaktik des Unterrichts an, bei der es darum geht die grundlegenden Entscheidungsfelder des Unterrichts zu ermitteln. In einer zweiten Analyse, der Faktorenanalyse, geht es nun darum, die den Unterricht bedingenden Faktoren zu bewerten und zu gewichten. Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt [28]:

- Normenkritik – hinterfragt die Vorschriften und Forderungen, die anthropogene und soziokulturelle Vorgaben mitbringen
- Faktenbeurteilung – bewertet empirisch prüfbare und für die Unterrichtsplanung relevante Sachverhalte
- Formenanalyse – hinterfragt Gestaltungsformen von Unterricht

Mit Hilfe beider Analyseformen schafft Heimann ein Modell, das es ermöglicht, eine möglichst wirklichkeitsgetreue, wertfreie Analyse und somit eine Abbildung von Unterricht zu erstellen. Nur so ist es seiner Meinung nach möglich, ein didaktisches Konzept zu erarbeiten, bei dem Theorie und Praxis in einem engen Verhältnis zueinanderstehen.

3.2.3. Kybernetisch-informationstheoretische Didaktik

Bei diesem didaktischen Modell steht der Leitbegriff System im Fokus. Sie wurde in den 1970er Jahren von Felix von Cube entwickelt. Bei seiner Modellbeschreibung greift er auf Begrifflichkeiten und Methoden der Kybernetik und der Informationstheorie zurück. Im Vordergrund steht

die Optimierung von Handlungen, um alle denkbaren Lernziele zu vermitteln. Felix von Cube beschreibt Didaktik als „das System wissenschaftlicher Aussagen, das durch die Anwendung kybernetischer Methoden und Modelle auf die Entwicklung und Optimierung von Lehrstrategien zustande kommt“ [7]. Zu diesem Zweck werden Prozesse beschrieben, mit denen ein Lernziel erreicht werden kann. Dabei wird Unterricht mit all seinen Unterrichtssequenzen als eine Art System gesehen, das wie ein Regelkreis gesteuert werden kann. Der Sollwert stellt dabei vorgegebene Lernziele dar. Der Lehrende übernimmt die Funktion des Reglers, indem er Lehrstrategien festlegt und einsetzt. Das Lernverhalten beeinflussende Faktoren wie z.B. eingesetzte Medien oder Personen, die bei der Durchführung der Lehrstrategien helfen, bilden das Stellglied. Der Lernende ist die Regelgröße, die der Lehrende beeinflussen bzw. auf ein konkretes Ziel steuern will. Dabei wirken Störgrößen, wie Umgebungsgeräusche aber auch die innere Einstellung des Lernenden, beeinflussend auf die Regelgröße ein. Lernkontrollen dienen als Messfühler um den Lernzustand festzustellen und somit ein Vergleich von Ist- und Sollwert vorzunehmen. Stimmen diese beiden nicht überein, so werden die Lehrstrategien angepasst und der Kreislauf beginnt erneut. Abbildung 6 zeigt schematisch diesen Regelkreis.

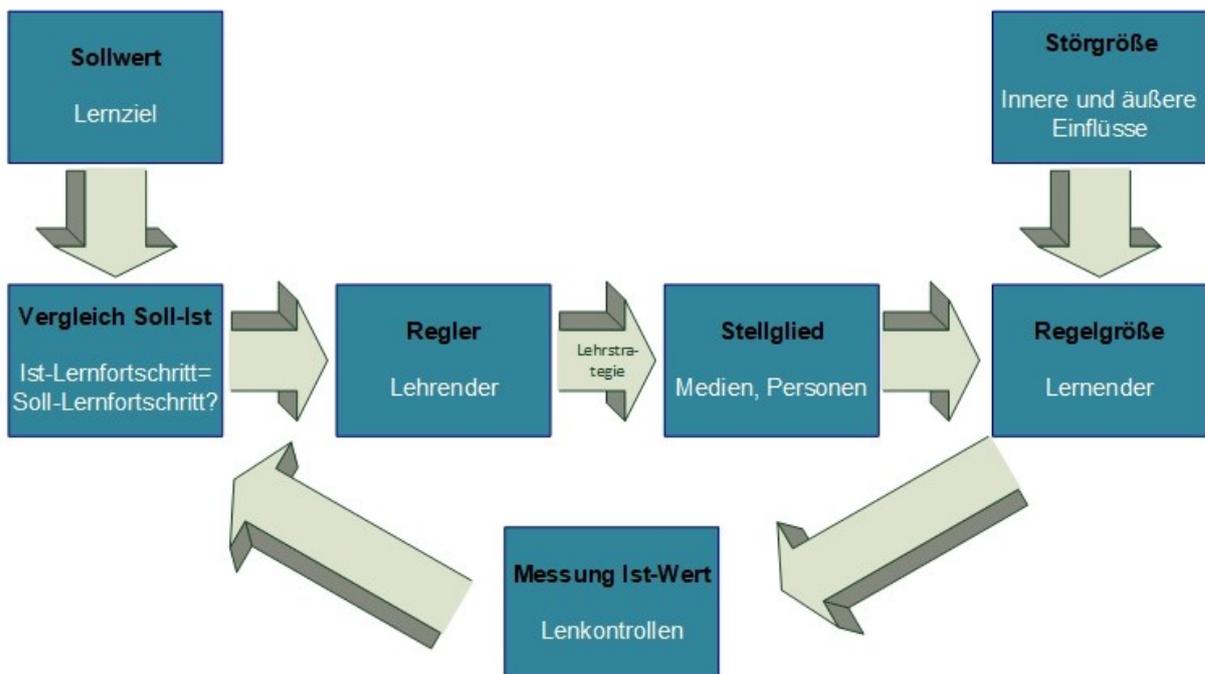


Abbildung 6: Lehren als Regelkreis

Der informationstheoretische Ansatz dieser Didaktik besagt, dass sich ein Lernender nur auf eine spezielle Sache konzentrieren kann und das Lernziel dementsprechend klar definiert werden muss. Durch den oben dargestellten Lehrkreislauf ist dabei kein selbstgesteuertes Lernen möglich, da dies als Störgröße angesehen wird. Nur der vom Lehrenden aufgezeigte Lernweg führt zum Ziel.

3.3. Lernformen

Nachdem nun ein Verständnis für verschiedene theoretische Ansätze der Unterrichtsgestaltung erlangt wurde, gilt es nun auch ein Bewusstsein für die Art des Lernens zu entwickeln. Lernformen im Allgemeinen beschreiben einen methodisch-didaktischen Ansatz sowie deren Umsetzung in verschiedenen Kontexten. Im Laufe der Zeit hat sich eine Vielzahl an Lernformen entwickelt, wobei ein Wandel beim Perspektivwechsel vom Lehren zum Lernen, von der Anleitung zur Partizipation sowie von der reinen Wissensvermittlung zur Schaffung einer methodisch vielfältigen Lernumgebung stattgefunden hat (vgl. [12]). Aktuell erfolgt ein Trend weg von Unterweisungs- und Unterrichtsverfahren, bei denen der Lehrende dominiert und im Vordergrund steht, hin zu einer Betonung der Dominanz des Lernenden im Lernprozess. Dabei sollen Selbstständigkeit, Flexibilisierung, Problemlösefähigkeiten, Kommunikation, Selbstorganisation und ganzheitliches Denken gefördert werden. Das selbst organisierte Lernen rückt dabei immer mehr in den Fokus.

Die Wahl einer geeigneten Lernform hängt mitunter von Ziel- und Inhaltsentscheidungen ab und umfasst darüber hinaus eine Reihe von methodischen Einzelentscheidungen (vgl. [22]):

- Welche pädagogischen Modelle bilden die Grundlage
- Welche Medien sollen verwendet werden
- Welche Lernphasen (Selbstlernphase, begleitete Lernphase etc.) spielen eine Rolle
- Wie sieht die Lernumgebung aus
- Welche Unterrichtsformen finden Anwendung

Wenn nun im Zuge von neuen Medien durch die Digitalisierung die Rede von „neuen“ Lernformen ist, so könnte man meinen, dass die Antworten auf die oben aufgelisteten Entscheidungsfragen grundlegend von „alten“ Lernformen abweichen. Dies ist allerdings nicht der Fall. Vielmehr ist das „Neue“ ihr gesellschaftlicher Einsatz (z.B. bei der betrieblichen Weiterbildung), der Einsatz neuer Orte und Medien durch technologischen Fortschritt und die Kombination dieser. Somit werden auch die alten Lernformen nicht durch die Neuen ersetzt, sondern alle werden auch gegenwärtig, abhängig von den jeweiligen Rahmenbedingungen des Lernprozesses, eingesetzt. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass auch „neue“ Lernformen nicht besser sind als „alte“ Lernformen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle auf eine explizite Einteilung in neu und alt verzichtet. Stattdessen werden nachfolgend für das zu erstellende Schulungsseminar unter Einbeziehung eines neuartigen Netzsimulators besonders relevanten Lernformen näher erläutert.

3.3.1. Problemorientiertes Lernen

Beim problemorientierten Lernen sollen die Lernenden selbstständig ein Problem erkennen und eine Lösung zu diesem Problem finden. Sie lernen ein vordefiniertes Thema zu analysieren, sich selbstständig über verschiedene Quellen zu informieren und aus verschiedenen Lösungsansätzen die geeignetsten auszuwählen und umzusetzen. Dabei arbeiten die Lernenden in kleinen Gruppen zusammenarbeiten, wodurch zusätzlich ihre Sozialkompetenz gefördert wird. Der Lehrende übernimmt dabei mehr eine Beratende als wissensvermittelnde Funktion. Ziel dieser Lernform ist es „transferfähiges Wissen und fachspezifische Lern- und Denkstrategien zu erwerben“ [27].

Seine Anfänge hatte das problemorientierte Lernen um 1900 im pädagogischen Bereich. Obwohl eine erste Publikation 1960 von Shoemakers im Bereich der Ingenieurausbildung veröffentlicht wurde, wird diese Lernform vor allem in der medizinischen Ausbildung eingesetzt. Erstmals 1969 an der McMaster University in Kanada. Seitdem findet sie in Europa auch Zuspruch in vielen anderen Fachgebieten wie Wirtschafts- und Betriebswissenschaft, Rechtswesen und der Sozialpädagogik.

In der Literatur wird häufig für die konkrete Vorgehensweise beim problemorientierten Lernen die „Seven Steps“ Methode herangezogen. Dieser Leitfaden sieht wie folgt aus (Vgl. [23])

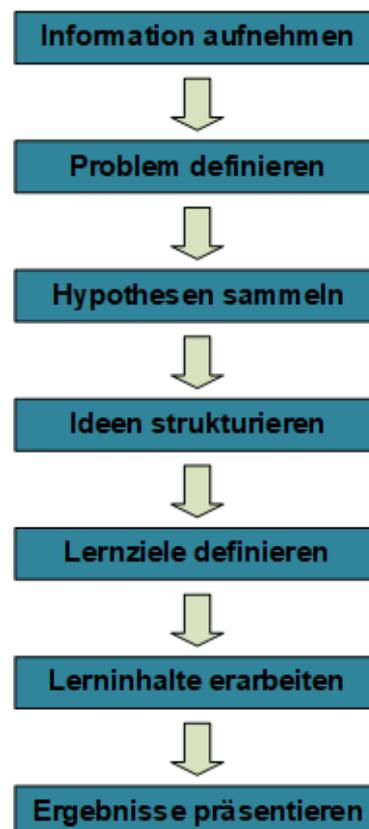


Abbildung 7: 7 Steps

Step 1: Hierbei wird vom Lehrenden ein Szenario vorgestellt, welches sowohl real als auch fiktiv, aber dennoch realitätsbezogen sein kann. Die Lernenden nehmen diese Informationen auf und können inhaltliche Fragen stellen.

Step 2: Ausgehend von den aufgenommenen Informationen formulieren die Lernenden Problemaspekte heraus und definieren die Kernprobleme, die sich ihrer Meinung nach aus dem vorgestellten Szenario ergeben.

Step 3: Spätestens jetzt werden in Gruppen, ähnlich einem Brainstorming, Ideen zur Lösung des identifizierten Problems zusammengetragen. Diese werden schriftlich festgehalten und visuell dargestellt z.B. mit einem Tafelbild.

Step 4: Jetzt werden die dokumentierten Ideen innerhalb der Gruppe diskutiert und nach selbst gewählten Kriterien gewichtet. Es muss darüber entschieden werden welche Lösungsansätze vielversprechend sind und welche verworfen werden können.

Step 5: An dieser Stelle definieren die Gruppenmitglieder Lernziele und erläutern wie sie ihr Vorwissen festigen und erweitern können. Dabei wird auch zusammengetragen, in wie fern der derzeitige Wissensstand ausreicht, um das Problem zu lösen oder ob etwaige Wissensdefizite erst noch abgedeckt werden müssen, um die Aufgabe vollumfänglich bearbeiten zu können.

Step 6: Hierbei findet die Informationsbeschaffung zur Erreichung der zuvor definierten Lernziele statt. Dies kann durch Bereitstellung von Quellen durch den Lehrenden erfolgen oder im Rahmen des Selbststudiums durch die Lernenden. Dieser Schritt kann auch außerhalb des durch den Lehrenden betreuten Unterrichts erfolgen.

Step 7: Zum Schluss werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Dabei muss nicht zentral die Lösung im Vordergrund stehen, sondern wie beim Konstruktivismus die Reflexion der Methodik bei der Problemlösung.

Diese sieben Punkte sind dabei das Grundgerüst bei der praktischen Durchführung des Problemorientierten Lernens. Es kann durchaus eine Phase übersprungen oder durch den Lehrenden übernommen werden, genauso wie die Vertiefung einer Phase. Außerdem lässt sich noch eine achte Phase hinzufügen, bei der die Lernprozesse verschiedener Gruppen reflektiert werden und mittels Metakognition neue Erkenntnisse abgeleitet werden.

Die Vorteile bei dieser Lernform ist insbesondere der Praxisbezug des zu behandelnden Szenarios, welches motivierend für die Lernenden ist. Weiterhin werden durch die sozialen Interaktionen in den Gruppen soziale Fähigkeiten erworben sowie ein Gefühl für die Fachsprache entwickelt. Die Lern- und Problemlösefähigkeit wird gefördert und das eigene Wissen sowie neue Kompetenzen aufgebaut.

Allerdings besteht die Gefahr die Lernenden zu überfordern, vor allem dann, wenn sie im selbstständigen Lernen noch ungeübt sind. Weiterhin ist ein geringer Betreuungsschlüssel nötig, damit der Lehrende seiner Rolle allen Teilnehmern gleichmäßig gerecht werden kann. Außerdem besteht durch die Definition eines spezifischen Szenarios die Gefahr, zu fachspezifisches Wissen zu vermitteln, wodurch andere wichtige Aspekte der Thematik unberücksichtigt bleiben.

3.3.2. Kompetenzorientiertes Lernen

Beim kompetenzorientierten Lernen steht nicht der Lehrende mit denen von ihm definierten Lernzielen im Vordergrund, sondern die Lernenden und die Kompetenzen, die sie am Ende eines Lehrkurses erworben haben sollen. Zu allererst muss der Begriff „Kompetenz“ genauer definiert werden. Dabei gibt es das Problem, dass eine Vielzahl an Kompetenzdefinitionen existiert, es beim kompetenzorientierten Lernen aber vor allem um pädagogische Aspekte geht. Eine zu diesem Zwecke geeignete Definition gibt Franz E. Weinert an: „Unter Kompetenzen versteht man die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ [50].

Dem Lehrenden gebührt dabei nicht mehr (nur) die Aufgabe des Vermittelns von Wissen, sondern insbesondere auch das Trainieren von sozialer Kompetenz und Selbstständigkeit. Individuelle Lernprozesse lösen somit die reine Wissensvermittlung ab. Die Lernenden müssen sich selbstständig mit der Thematik auseinandersetzen und neues Wissen, Erfahrungen und Verknüpfungen mit bereits bestehendem Wissen selbst konstruieren. Prof. Dr. Roth, Professor für Verhaltensphysiologie, schreibt dazu:

„Am wichtigsten ist also das Gegenteil von Pauken, nämlich das selbstständige Durchdringen des Stoffes. Dies bedeutet im Gedächtnis, dass bei der Konsolidierung der entsprechenden Gedächtnisinhalte Verbindungen zu anderen Wissensschubladen hergestellt und sogar neue Schubladen angelegt werden, in denen das Wissen abstrahiert, systematisiert und damit viel leichter auf andere Fälle übertragbar wird. Intelligenz ist zum großen Teil angeboren, Expertenwissen kann man sich anpauken, klug wird man nur durch hochgradige Vernetzung des eigenen Wissens“. [30]

Durch diese hochgradige Vernetzung ist es möglich, gelerntes Wissen handlungswirksam abzurufen. Allerdings speichert das Gehirn diese Information nur handlungswirksam ab, wenn Lernen mit Emotionen und Motivationen verknüpft wird. Es werden „echte, unter realer Entscheidungsfreiheit zu bewältigende Entscheidungssituationen“ vorausgesetzt, die „zu starker

emotionaler Irritation bzw. Labilisierung, kognitiver Dissonanz, motivationaler Widersprüchlichkeit usw. führen“. [11] Erst dann werden Werte auch als Kompetenzen angeeignet. Eine dieser (negativen) emotionalen Irritation kann eine Situation sein, in der der Lernende vor einer Aufgabe steht, bei der er allein nicht in der Lage ist, die Lösung zu finden. An diesem Punkt setzt die Kompetenzentwicklung ein, nämlich genau dann, wenn der Lernende mit kleinen gezielten Hinweisen des Lehrenden die Lösung findet. Sie wachsen über sich hinaus, werden positiv bestärkt und erwerben so neue Kompetenzen.

Kompetenzen lassen sich nicht innerhalb eines Tages aneignen. Dementsprechend müssen im Vorfeld ganzheitliche Zielkompetenzen definiert werden, die am Ende einer Lehrveranstaltung erworben werden sollen. Dabei ist auch eine gewisse Flexibilität im Verlaufe der Lehrveranstaltung nötig, um den Lernfortschritt der Lernenden besser unterstützen zu können.

Die Vorteile dieser Lernform sind die starke praxisbezogene Vorbereitung auf typische Situation im Alltag des Berufsfeldes. Neue Herausforderungen können besser eingeschätzt und gemeistert werden. Damit dies gelingt, muss der Lehrende allerdings seiner neuen Rolle gerecht werden. Ihm kommt die Rolle eines Coaches zu, der es schaffen muss, den Lernenden praxisbezogene Aufgaben zu stellen und jedem individuell nur so viel Hilfestellung geben, wie nötig ist, damit der Lernende die gestellte Aufgabe eigenständig lösen kann. Dies erfordert ein hohes Maß an individueller Betreuung und ein gutes Einschätzungsvermögen.

3.3.3. Selbstgesteuertes Lernen

Bei dem selbstgesteuerten Lernen handelt es sich um aktives eigenverantwortliches Lernen. Dabei übernehmen die Lernenden die Verantwortung für ihr eigenes Lernen, setzen sich selbstständig Lernziele, gestalten den Lernprozess und bewerten ihre Lernleistung. Die wichtigsten Lernprozesse sind dabei (vgl. 23.):

- Planung des Lernprozesses
- Wissen verstehen und verinnerlichen
- Steuerung und Reflektion von persönlichen Lernwegen
- Bewertung von Lernleistungen
- Erhaltung der Motivation und Konzentration

Selbstgesteuertes Lernen ist in seiner Reinform nur in Ausnahmesituation realisierbar. Das Pendant zum selbstgesteuerten Lernen ist das fremdgesteuerte Lernen. Dabei ist es schwierig eine Abgrenzung dieser beiden Lernformen zu definieren. „Allen neueren Lernkonzeptionen liegt ja die Auffassung zugrunde, daß Lernen ein Konstruktionsprozeß des Subjektes ist. Deshalb ist ein Lernen ohne Beteiligung des Selbst nicht denkbar. Lernen findet aber immer auch

in einem sozialen/kulturellen Umfeld statt, benötigt für die Konstruktion Informationen von außen und unterliegt damit Fremdeinwirkung“. [24] Selbst- und fremdgesteuertes Lernen schließen sich somit nicht gegenseitig aus, sondern vielmehr kann die Gewichtung der einzelnen Lernformen stark unterschiedlich sein. So kommt beim Lernen in Einzelsituationen dem selbstgesteuerten Lernen ein höherer Stellenwert zu als beim Lernen im Kollektiv wie z.B. beim Frontalunterricht.

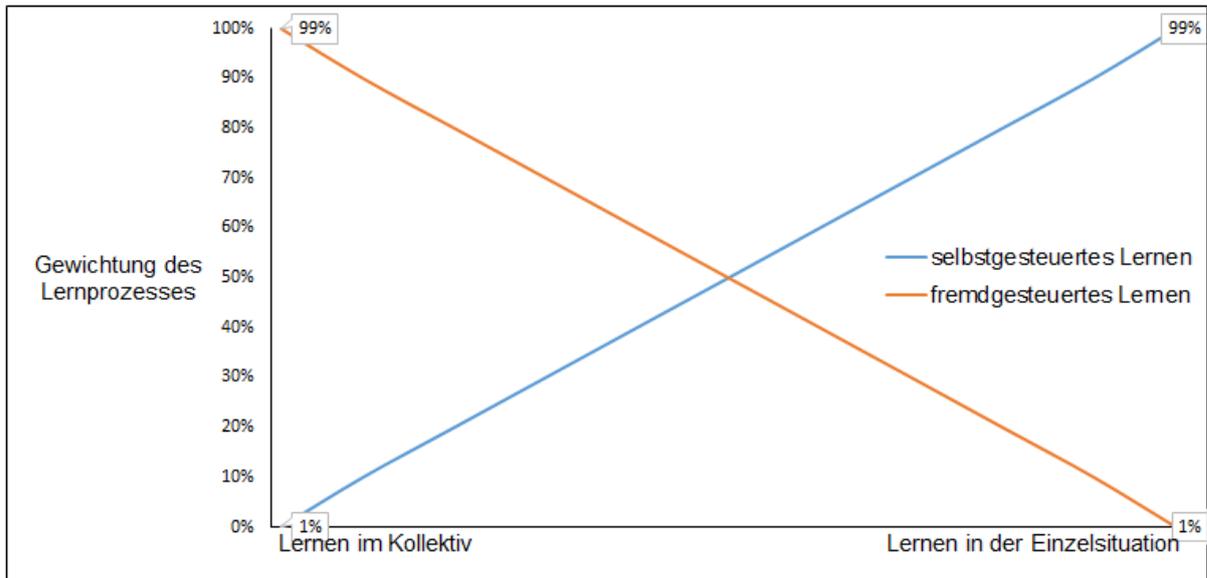


Abbildung 8: Gewichtung beim aktiven Lernen (in Anlehnung an [52])

Dabei bestimmt die Wahrnehmung des Lernenden, wo selbstgesteuertes Lernen anfängt und wo die Fremdsteuerung der dominierende Faktor ist. Selbst wenn das eigene Lernverhalten nicht dem eigenen Impuls entspricht, kann der Lernende der Überzeugung sein, sein eigenes Lernverhalten selbst zu gestalten. Im Idealfall entscheidet der Lernende selbst, was er in welcher Art und Weise lernen will. Der Lernerfolg ist dabei maßgeblich abhängig von der Fähigkeit der Selbstregulation des Lernenden. Wesentlich sind drei Aspekte, die den Prozess des selbstgesteuerten Lernens beeinflussen:

- Kognition – wie wird bereits erlerntes Wissen für die neue Aufgabenstellung angewandt
- Metakognition – welche Lern- und Kontrollstrategien finden bei der Bewältigung der Aufgabe Anwendung
- Motivation – woher kommt die Motivation und wie ausgeprägt ist sie

Entscheidend für den Lernerfolg ist dabei die eigene Motivation. Motivation beschreibt die Verhaltensbereitschaft hin oder weg von einem Ziel. Ein Mensch gilt somit als motiviert, wenn er mit einem hohen Maße und großer Ausdauer ein Verhalten an den Tag legt, um ein bestimmtes Ziel zu verfolgen.

Dem Lehrenden obliegt nun die Analyse der Aufgabe im Hinblick auf Inhalt, Struktur und Komplexität auf der einen Seite, sowie die Bestimmung der Lernvoraussetzungen, der Lernstrategien sowie Fähigkeiten der Lernenden auf der anderen Seite. Außerdem gibt er direktes Feedback, um den Lernprozess und die Motivation der Lernenden zu unterstützen. Dabei muss er auf eine gute Balance zwischen Selbst- und Fremdsteuerung achten.

Der große Vorteil beim selbstgesteuerten Lernen ist, dass das gewonnene Wissen dauerhaft verfügbar bleibt, in konkreten Situationen abrufbar ist und eine Verknüpfung und Entwicklung mit bereits vorhandenem Wissen vollzogen wird. Dafür müssen die Lernenden allerdings in der Lage sein, Verantwortung für ihr eigenes Lernen zu übernehmen, was vor allem bei Studierenden in den ersten Semestern nicht der Fall ist. Dementsprechend ist anfangs meist ein größerer Teil Fremdsteuerung nötig, der im Laufe des Lernprozesses sukzessive reduziert wird.

3.4. Lehrmethoden

In diesem Kapitel werden ausgewählte Lehrmethoden vorgestellt, die für die Schulung des Netzbetriebes besonders geeignet sind. Dabei werden die Vor- und Nachteile erläutert sowie die ideale Einsatzmöglichkeit identifiziert.

3.4.1. Frontalunterricht

Bei dem Frontalunterricht, wozu man auch die Vorlesung zählen kann, vermittelt der Lehrende, welcher der Experte eines Themengebietes ist, den Lernenden, welche im Allgemeinen Laien sind, das Fachwissen, damit die Lernenden am Ende des Lernprozesses die Kompetenz eines Experten vorweisen können. Nach Reich gilt der Frontalunterricht als besonders ökonomisch, da sich mit relativ wenig Personal- und Zeitaufwand viel Wissen vermitteln lässt. [26] Außerdem ist die Flexibilität gewährleistet sowohl einfache Thematiken, die auch leistungsschwächere Schüler verstehen, zu vermitteln, als auch sehr komplexe Themen, die zunächst nur der Lehrende zu begreifen vermag. Allerdings bleiben die Lernenden dabei stets in einer passiven Rolle wodurch Sie schnell ihre Motivation verlieren können und somit auch die Behaltensleistung stark sinkt. Dies hat zur Folge, dass das neu angeeignete Wissen der Lernenden nur ein Bruchteil des vermittelnden Wissens betragen kann. Dadurch, dass das Wissen nicht aktiv angeeignet wird, bleibt es weniger im Gedächtnis und kann darüber hinaus selten auf neue Situationen übertragen werden. Dies wird auch durch die Tatsache bestärkt, dass die Lernmotivation oft nur durch Angst und Kontrolle erzeugt wird. Die Folge daraus ist ein stures Auswendiglernen der Inhalte was dem Erwerb von Kompetenzen entgegensteht.

Aus diesem Grund eignet sich der Frontalunterricht nur bedingt zum schnellen Erwerb von Kompetenzen und sollte deshalb zeitlich beschränkt bleiben. Förderlich ist zudem, wenn die zumeist autoritäre frontale Wissensvermittlung mit weiteren Dialogischen Methoden kombiniert wird. In diesem Zusammenhang sind Präsentationen, bei denen die Lernenden in die Rolle des Lehrenden schlüpfen, besonders gut geeignet. Die Lernenden übernehmen eine aktive Rolle und sind dazu gezwungen sich mit der Thematik auseinanderzusetzen.

Schlussfolgernd ist der Einsatz des Frontalunterrichts nur dann sinnvoll, wenn möglichst viel (Basis)Wissen an eine große Gruppe Lernender vermittelt werden soll. Außerdem eignet sie sich zu Beginn einer Lehrinheit, um in das Thema einzuführen und um ein größeres Verständnis für die Thematik zu erzeugen.

3.4.2. Gruppenarbeit

Bei der Gruppenarbeit interagieren mehrere Lernende miteinander, um gemeinsam eine Thematik zu erarbeiten. Dabei nimmt der soziale Aspekt eine große Rolle dieser Lernaktivität ein. Die Gruppenarbeit unterteilt sich in 4 Phasen: (vgl. [26]):

- Phase 1: In der Vorbereitungsphase führt der Lehrende in die Thematik und Aufgabenstellung ein und stellt die Gruppenbildung sicher
- Phase 2: In der Durchführungsphase bearbeiten die Lernenden die Aufgabe in ihrer Gruppe
- Phase 3: In der Präsentationsphase präsentieren die Lernenden ihr Ergebnisse vor den anderen Gruppen und der Lehrende ergänzt gegebenenfalls inhaltlich
- Phase 4: Am Ende folgt mit der Evaluationsphase die Beurteilung der Lernenden durch den Lehrenden

Die Methode der Gruppenarbeit ist vielfältig einsetzbar. Sie eignet sich vom Aneignen neuen Wissens über die Verarbeitung und Anwendung präsentierten Wissens bis hin zum Erwerb sozial-kommunikativer Fähigkeiten. Besonders günstig ist weiterhin, dass die Gruppenarbeit mit einer Vielzahl anderer Methoden und Techniken kombiniert werden kann. Sie ist dementsprechend sehr flexibel einsetzbar.

Durch die Tatsache, dass mindestens drei Lernende zusammenarbeiten müssen, wird vor allem die Teamfähigkeit der Gruppenmitglieder gefördert. Der größte Erfolg wird dabei bei heterogenen Gruppen erzielt, da zum einen verschiedene Methoden und Techniken, die das Individuum bereits erlernt hat, in die Gruppe mit eingebracht werden. Zum anderen müssen die Gruppenmitglieder so aufeinander eingehen, dass sich jeder mit seinen spezifischen Fähigkeiten und individuellem Arbeitstempo einbringen kann.

Nachteilig kann der erhöhte Zeitaufwand gesehen werden, mit dem die Lernenden in Eigenregie die vorgegebene Aufgabe erfüllen. Außerdem werden, ohne die Bereitschaft der Lernenden in Gruppen zu kooperieren und zusammenzuarbeiten, keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden können.

3.4.3. Diskussion

Bei der Diskussion handelt es sich um eine Lehrmethode, bei der der Lehrende ein Gespräch mit einer Gruppe von Lernenden führt. Dabei kann sowohl der Lehrende als auch ein Lernender die Leitung übernehmen. Die Methode ist vielfältig einsetzbar und eignet sich vor allem, um verschiedene Standpunkte zu einem spezifischen Thema zum Ausdruck zu bringen. Sie kann sowohl als Einstieg in ein Thema als auch als Abschluss der Thematik eingesetzt werden. Die Vorgehensweise gliedert sich dabei im Wesentlichen in drei Phasen: [23]

- Einführung in die Thematik und gegebenenfalls Bekanntgabe von Regeln
- Moderation durch den Lehrenden oder einen Lernenden
- Zusammenfassung durch z.B. Äußerung der Lernerkenntnis

Die Lernenden lernen dabei die Meinungsbildung, sowie die Reflexion von anderen Ansichten, um anschließend seine eigene Meinung zu überdenken und zu verbalisieren. Von Vorteil bei dieser Lehrmethode sind die Integration und Aktivierung aller Lernenden. Es lässt sich weiterhin schnell ein Überblick über den Wissensstand der Lernenden verschaffen. Der Zeitaufwand ist geringer als bei der Gruppenarbeit aber länger als bei einem Vortrag. Der Erfolg dieser Lehrmethode hängt eng zusammen mit den Fähigkeiten des Moderators, die Diskussion interessant und herausfordernd zu gestalten.

3.4.4. Planspiel

Das Planspiel zeichnet sich dadurch aus, dass Lernende eine möglichst realitätsnahe Situation erleben sollen, um praxisbezogene Erfahrungen zu sammeln und reale Probleme zu lösen. Dabei treffen sie eigenständige Entscheidungen und erleben Konsequenzen ihres Handelns. Oftmals gibt es beim Planspiel zwei Gruppen in welche die Lernenden abwechselnd zugeordnet werden: die aktiven Teilnehmer und die passiven Teilnehmer. Die aktiven Teilnehmer sind direkt in die Simulation der Situation mit einbezogen und tragen zur Problemlösung bei. Die passiven Teilnehmer beobachten das Geschehen. Durch diesen Wechsel der Rolle können die Lernenden das erlebte besser reflektieren und Vor- sowie Nachteile konkreter Handlungen diskutieren. Je nach Zielgruppe der Lernenden wird das Planspiel in der Literatur als komplexes Rollenspiel mit hohem Entscheidungsdruck beschrieben oder aber der Fokus wird mehr

auf den kreativen Spielcharakter gelegt. In der Erwachsenenbildung liegt der Schwerpunkt mehr auf ersterem.

Ein Planspiel gliedert sich dabei in sieben Phasen: [26]

1. Spieleinführung
 - Vorstellung der einzunehmenden Rollen
 - Klärung der Verständnisfragen
 - Einteilung der zu spielenden Rollen
 - Schilderung der Situation durch den Lehrenden
2. Informations- und Lesephase
 - Einnehmen der Rollenposition
 - Einarbeitung in die Rolle und Situation
 - Klärung von Verständnisfragen
3. Meinungsbildung und Strategieplanung
 - Analyse der Ausgangssituation
 - Strategieplanung zur Problemlösung
4. Interaktion zwischen den Lernenden
 - Interaktion zwischen den Lernenden (in ihrer Rolle)
 - Optional Implementierung von Ereignissen durch den Lehrenden
5. Vorbereitung eines Plenums
 - Zusammentragung der Ergebnisse durch aktive und passive Teilnehmer
 - Bestimmung von aufgetretenen Problemen
6. Durchführung des Plenums
 - Präsentation der Ergebnisse
 - Diskussion über die Strategien der jeweiligen Rollen
 - Erarbeitung alternativer Strategien
7. Spielauswertung
 - Zusammenfassung der Ergebnisse durch Reflektion des Erlebten
 - Äußerung konstruktiver Kritik am inhaltlichen und formalen Spielverlauf

Beim Planspiel werden vor allem die Team- und Kommunikationsfähigkeiten, die Selbstständigkeit, die Problemlösungsfähigkeit sowie die Verantwortungsbereitschaft geschult. Die Lernenden sind aktiv in die Lehrmethode eingebunden, was ein hohes Maß an Motivation zur Folge hat. Somit wird leichter neues Wissen angeeignet. Die Lernenden lernen in Alternativen zu denken und sich der Situation anzupassen. Der Lehrende kann durch das Anstoßen weiterer Ereignisse die jeweilige Situation nahezu beliebig verschärfen oder entspannen, wodurch die Lernenden im besonderen Maße den Umgang mit Stresssituation und die damit verbundenen komplexen Entscheidungssituationen erlernen.

Die Nachteile des Planspiels lassen sich weniger im pädagogischen als vielmehr bei der Organisation finden. Zum einen ist der Vorbereitungsaufwand für den Lehrenden erhöht. Er muss das Szenario mit all seinen Rollen und optionalen Ereignissen entwerfen. Zum anderen kann der Lehrende in seiner Beobachterrolle nur eine begrenzte Zahl an Lernenden betreuen, ohne überfordert zu sein. Auf Seiten der Lernenden ist ein gewisses Maß an sozialer und kommunikativer Kompetenz nötig, damit das Planspiel erfolgreich durchgeführt werden kann.

Zu beachten ist, dass ein Planspiel immer nur eine Vereinfachung der Realität widerspiegelt und die Ergebnisse der Problemlösung nur stellvertretend für die Lösungen der Realität stehen können. Auch wenn ein Planspiel realistisch ist, so wissen die Lernenden (wenn auch nur unbewusst), dass keine realwirksamen Konsequenzen für ihr Handeln drohen. Deshalb ist eine Analyse über die Übertragbarkeit unumgänglich.

3.5. Lernnachweise

Lernnachweise haben das Ziel, sowohl dem Lehrenden als auch dem Lernenden zu zeigen, wo die Lernenden gemessen an dem Lernziel stehen. Darüber hinaus kann ein Lernnachweis sehr motivierend auf die Fortsetzung der Aus- bzw. Weiterbildung des Lernenden wirken. Dabei müssen Lernnachweise fünf Qualitätsmerkmale erfüllen: Gültigkeit, Zuverlässigkeit, Objektivität, Chancengerechtigkeit und Ökonomie. [20]

Gültigkeit bedeutet, dass das in der Prüfung abgefragte Wissen tatsächlich dem entspricht, was in der Lehreinheit vermittelt wurde. Je äquivalenter die abgefragten Themen mit den im Unterricht behandelten Themen sind, desto größer wird die Gültigkeit. Dabei sollen die gestellten Aufgaben zwar neu sein, aber auf die in der Lehreinheit vermittelten Denkprozesse zurückgreifen.

Zuverlässigkeit ist dann gegeben, wenn die gestellten Aufgaben eindeutig formuliert sind und von allen Lernenden gleichermaßen verstanden wird. Dazu zählt auch ein eindeutig definierter Bewertungsmaßstab.

Objektivität zeigt sich darin, dass die Beurteilung der Leistung allein auf den Fähigkeiten der Lernenden beruht und persönliche Empfindungen der Lehrenden diese nicht beeinflussen. Die Objektivität kann durch eine hoch standardisierte Prüfungsdurchführung erhöht werden. Außerdem ist sie gewährleistet, wenn verschiedene Beurteilungspersonen zu der gleichen Leistungseinschätzung kommen und diese auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten vergleichbar ist.

Chancengleichheit bedeutet, dass die geforderte Leistung unabhängig von persönlichen und sozialen Hintergründen erbracht werden kann. Dazu müssen die Bedingungen während des Lernnachweises mit denen in der Lehrphase übereinstimmen.

Außerdem sollte die Erbringung des Lernnachweises **ökonomisch** sein. Vor allem der Zeitaufwand sollte der Komplexität der Lernziele entsprechen. Anspruchsvolle Lernziele bedürfen auch einer anspruchsvollen Aufgabenstellung mit einer entsprechenden Bewertung und gegebenenfalls einer Zweitbeurteilung. Auch inhaltlich muss abgewogen werden, welchen Umfang der Lernnachweis haben muss und in welcher Form dieser erbracht werden soll.

Die eigentliche Lernzielüberprüfung lässt sich in die vier Phasen Vorbereitung, Durchführung, Bewertung und Feedback einteilen. Dabei müssen Lehrende und Lernende unterschiedliche Aufgaben erfüllen:

Tabelle 4: Aufgaben in den verschiedenen Phasen der Lernzielüberprüfung (vgl. [23])

Phase	Aufgabe Lehrender	Aufgabe Lernender
Vorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Entscheidung über Prüfungsziele und Prüfungsform • Definition von Bewertungskriterien • Entscheidung über Art des Feedbacks 	<ul style="list-style-type: none"> • Information beschaffen und Wissen aneignen • Lernstrategien anwenden
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Prüfung unter Beachtung der o.g. Qualitätsmerkmale 	<ul style="list-style-type: none"> • Wissen abrufen und den verlangten Lernnachweis erbringen
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnis gemäß eines Bewertungsschemas beurteilen • Gleichbehandlung der Lernenden • Optional Zweitgutachten einholen 	
Feedback	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfungseinsicht gewähren • Unklarheiten ausräumen • Feedback geben 	<ul style="list-style-type: none"> • Feedback entgegennehmen • Fehler analysieren

Um bei der Durchführung und anschließenden Bewertung des Leistungsnachweises sowohl ein differenziertes Leistungsniveau der Lernenden untereinander auszumachen, als auch eine Beurteilung des vorhandenen Wissens, gemessen an dem gesetzten Zielwissen, vornehmen zu können, müssen verschiedene Wissensstufen abgefragt werden. Dabei bietet sich ein Modell mit vier Wissensstufen an, wobei die Erste reproduzierenden Charakter hat und die Anderen einen praxisbezogenen Charakter, der das Verständnis des erlangten Wissens voraussetzt. Tabelle 5 beschreibt diese Wissensstufen und gibt jeweils Formen des Lernnachweises an.

Tabelle 5: Formen des Lernnachweises anhand verschiedener Wissensstufen (vgl. [23])

Wissensstufe	Form des Lernnachweises
<p>Wissensstufe 1 – Wissen verstehen Begriffe, Fakten, Vorgehensweisen, Modelle, Konzepte, Theorien beschreiben, erklären, erläutern</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple-Choice Fragen • Definitionsaufgaben • Zuordnungsaufgaben • Einsetz- oder Ergänzungsaufgaben
<p>Wissensstufe 2 – Wissen zuordnen Wissen den Wahrnehmungen von Umwelt, Werken, berufsfeldbezogener Praxis zuordnen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Thesen zu einer Problemstellung vorgeben und beurteilen lassen • Theorie oder Technik vorgeben und einen Einsatz in der Praxis finden lassen
<p>Wissensstufe 3 – Wissen beurteilen Wissen in Bezug auf Wahrnehmungen von Umwelt, Werken, berufsfeldbezogenen Situationen analysieren und beurteilen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Theorie hinsichtlich der Bedeutung für eine Praxissituation analysieren lassen • Beispiel vorgeben, in dem die Lernenden die darin umgesetzte Methode erkennen und sie situationsbezogen beurteilen sollen
<p>Wissensstufe 4 – Wissen erfinden Wissen aufgrund von Wahrnehmungen von Umweltsituationen, Werken, berufsfeldbezogenen Situationen, neuen Theorien adaptieren und/oder weiterentwickeln</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erkenntnisse aus einem Fall mit Lösung ableiten • Lösung für ein Problem wissensgeleitet skizzieren • Theorie analysieren und weiterentwickeln

Der Lernnachweis wird dabei meist schriftlich in Form einer Klausur oder mündlich durch eine Art Kolloquium durchgeführt. Die mündliche Prüfung ist besonders zum Nachweis sozialer Kompetenzen geeignet. Die Klausur hingegen ist besonders ökonomisch bei einer großen Anzahl an Prüflingen. Weitere Möglichkeiten sind Abschlussarbeiten, Vorträge oder schriftliche Berichte. Auch eine Kombination schriftlicher und mündlicher Lernnachweise ist möglich. Bei der Benotung ist darauf zu achten, dass der Lehrende die unter Tabelle 4 aufgeführten Aufgaben beachtet. Es empfiehlt sich Notizen über die Punktevergabe zu machen, um Drittpersonen diese gegebenenfalls erläutern zu können. Bei der Fragestellung, ab welchem Leistungsnachweis eine Prüfung als bestanden gilt, empfiehlt es sich, „konsequent die Lernziele als Norm zur Beurteilung des Lernnachweises heranzuziehen“. [23]

4. Schulungskonzept für eine Netzbetriebsschulung

In diesem Kapitel wird ein Schulungskonzept für eine Schulung „Netzbetriebsführung“ erarbeitet, bei dem zum einen in der Ausbildung befindlichen Techniker und Meister sowie Studierende, als auch angehende und bereits ausgebildete Betriebsführer die Lernenden sind (siehe Kapitel 2). Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem inhaltlichen Umfang dieser Schulung sowie die Einbeziehung des Simulationssystems. Dazu wird zunächst ein Ziel definiert, welches Wissen und welche Fähigkeiten die Trainierenden nach der Schulung erworben haben sollen. Im Anschluss muss ein Anforderungskatalog erstellt werden, welcher darlegt, was für Grundvoraussetzungen die Trainierenden mitbringen müssen, um an der Schulung teilzunehmen. Diese Voraussetzungen sind in erster Linie fachliche Vorkenntnisse. Sind diese Rahmenbedingungen festgelegt, können in Verbindung mit den unter Kapitel 2 genannten Anforderungen an die Betriebsführer konkrete Lehrinhalte und dessen Strukturierung definiert werden, um das zuvor definierte Lernziel zu erreichen. Am Ende sollen verschiedene Möglichkeiten der Abschlussprüfungen mit Vor- und Nachteilen erläutert werden.

4.1. Lernzieloperationalisierung

Unter Lernzieloperationalisierung versteht man die Definition von Lernzielen, indem festgelegt wird, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie Kenntnisse und Erkenntnisse am Ende eines Lernprozesses beherrscht werden sollen. Dies ist durch Lernerfolgskontrollen überprüfbar. Dabei darf das angestrebte Lernziel weder zu schwer noch zu leicht sein. Weiterhin spielen das Vorwissen der Trainierenden sowie der Inhalt der Seminareinheit eine Rolle.

Bezogen auf die zu entwickelnde Schulung mit der Qualifizierung zur Netzbetriebsführung müssen unterschiedliche Lernziele für die jeweilige Zielgruppe definiert werden. Techniker und Meister sowie Studierende der Elektrotechnik sollten am Ende ihrer Ausbildung bisher ein umfangreiches Wissen über den Aufbau und die Funktionsweise der meisten Betriebsmittel in einem Übertragungs- und Verteilnetz kennengelernt haben. Auch zu Schutzeinrichtungen und -konzepten sollten sie geschult sein. Dabei werden Studierende ein höheres theoretisches Detailwissen besitzen, als Techniker und Meister. Was allerdings allen fehlt, ist ein tieferes Verständnis des Zusammenspiels all dieser Einzelkomponenten. Sie sollen das Verständnis für ein lebendiges Übertragungsnetz erlangen, welches unverzüglich bei einem kleinen Ungleichgewicht zwischen Einspeisung und Verbrauch zu Leben beginnt. Weiterhin sollen sie das Gefühl dafür bekommen, welchen Einfluss Schalthandlungen auf den Lastfluss im Netzgebiet haben.

Außerdem bekommen die Trainierenden zum ersten Mal einen tiefen Einblick in eine Leittechniksoftware für Energieübertragungsnetze. Sie lernen die einphasige, schematische Darstellung kennen und sollen in der Lage sein, unabhängig vom Softwarehersteller, den Aufbau eines Netzgebietes zu verstehen.

Darüber hinaus soll ein tieferes Bewusstsein für die Gefahren und Auswirkungen einer Fehleinschätzung der Netzsituation und damit einhergehenden Fehlschalthandlungen vermittelt werden. Die Trainierenden sind als Netzbetriebsführer direkt für diejenigen Menschenleben verantwortlich, die an den Schaltanlagen vor Ort Arbeiten durchführen. In diesem Zusammenhang soll ihnen die Notwendigkeit einer eindeutigen Schaltsprache, welche zwar noch nicht normiert, dennoch essenziell wichtig ist, erläutert werden.

Es ist nicht das Ziel, dass die Trainierenden nach der Schulung in der Lage sind, jede einzelne kritische Netzsituation zu meistern. Sie werden nach ihrer Ausbildung und/oder der Teilnahme an dieser Schulung nicht qualifiziert sein, als Betriebsführer zu arbeiten (siehe Kapitel 2). Dieses spezifische Fachwissen ist netzabhängig und wird erst bei einem konkreten Netzbetreiber vermittelt werden. Sie sollen aber mit einem Grundverständnis der Netzbetriebsführung sowie für ihre zukünftigen Aufgaben als Netzbetriebsführer geschult sein, um darauf aufbauend bei einem Netzbetreiber weiteres spezifisches Fachwissen zu erlernen.

Bei der Zielgruppe der bereits tätigen Netzbetriebsführer steht weniger die Vermittlung neuen Wissens im Vordergrund. Vielmehr geht es um die Festigung bereits vorhandenen Wissens sowie dem Training kritischer Situationen. Dabei sollen ihre Fähigkeiten, unter Stresssituationen die richtigen Entscheidungen zu treffen, ausgebaut werden. Außerdem können durch eine gemeinsame Schulung mit in der Ausbildung befindlichen Betriebsführern ihre Führungskompetenzen geschult werden.

4.2. Voraussetzungen und Anforderung an die Trainierenden

Zunächst gibt es allgemeine, nicht auf die Schulung bezogene Voraussetzungen der Trainierenden. Sie haben verschiedenen Lernbiografien, das heißt einen individuellen Bezug zu Theorie und Praxis, sind unterschiedliche Lerntypen und haben eine mehr oder weniger komplexe Lernfähigkeit erworben. Sie haben eine unterschiedliche Herkunft bezüglich des Ortes, der Kultur und dem sozialen Hintergrund. Ihre Motivation basiert auf individuellen Gründen, wodurch andersgeartete Ziele und Prioritäten resultieren. Außerdem haben sie bereits eigene Arbeitsmethoden und Leistungsprofile entwickelt.

Die Schulung „Netzbetriebsführung“ ist an nationale sowie internationale Betriebsführeranwärter gerichtet. Dadurch ergeben sich weitere Herausforderungen:

- die Unsicherheitsbewältigung hinsichtlich einer interkulturellen Gruppe,

- dem Finden eines gemeinsamen Verständnisses, insbesondere der Sprache,
- der Umgang mit den damit einhergehenden Mehrdeutigkeiten,
- der Entwicklung einer geeigneten Arbeitsmethode,
- sowie der Umgang mit der Heterogenität einer Gruppe.

Darüber hinaus ergeben sich fachspezifische Anforderungen an die Trainierenden. Dabei lässt sich zwischen jenem Wissen unterscheiden, welches unabdingbar für das Verständnis eines Netzbetriebsführungsseminars ist (nachfolgend Primärwissen) und Wissen, das zwar zum tiefgreifenden Verständnis beiträgt, allerdings kein Muss darstellt (nachfolgend Sekundärwissen). Zu dem Primärwissen gehört selbsterklärend das fachliche Wissen, welches allgemein im Grundstudium der Elektrotechnik bzw. den ersten Lehrjahren erworben wird. Angefangen vom Ohm'schen Gesetz und Maschensatz über elektrische und magnetische Felder bis hin zu den elektrischen Bauelementen. Darauf aufbauend muss die Struktur des elektrischen Energieversorgungsnetzes verstanden worden sein. Dazu zählt die Hierarchie vom Übertragungsnetzbetreiber über die Verteilnetzbetreiber bis hin zu den Stadtwerken oder regionalen Stromversorgern. In diesem Zusammenhang muss klar sein, welche Spannungsebenen existieren, sowie welche Vor- und Nachteile das Drehstromsystem im Vergleich zum Gleichstromsystem besitzt. Außerdem müssen die unterschiedlichen Netztopologien (Strahlennetz, Ringnetz, Maschenetz) sowie die Voraussetzungen für deren Einsatz bekannt sein. Ein zentrales Thema ist der Blindleistungsbedarf sowie die Blindleistungsbereitstellung sämtlicher im Energieversorgungsnetz befindlichen Komponenten. Dazu zählen insbesondere

- Generatoren
- Transformatoren
- Kondensator- und Drosselbänke
- Freileitungen und Kabel
- Leistungselektronische Bauelemente

Deren Ersatzschaltbild muss verstanden und die Bedeutung für das Energieübertragungsnetz grundlegend bekannt sein. Unerlässliches Primärwissen ist der Frequenzbegriff. In Verbindung mit der Betrachtung elektrischer Maschinen sollte verstanden sein, wie sich die Frequenz bildet und wie sie beeinflusst wird. Dem schließt sich das Wissen über verschiedene Kraftwerkstypen an. Dabei ist es nicht essenziell den thermischen Prozess genauestens zu kennen, sondern ein Bewusstsein für die erheblichen Unterschiede in den Anlaufzeiten und der Regelcharakteristika zu haben. Außerdem sind Kenntnisse über deren Komponenten wie Turbinen und Generatoren vorauszusetzen. Als weiteres zentrales Thema gilt es die Unterschiede der im Energieversorgungsnetz befindlichen Schaltelemente zu kennen und somit Kenntnisse über deren Einsatzort zu besitzen. Als letztes sollten Kenntnisse über Schutzfunktionen existieren. Insbesondere folgende Schutzfunktionen sollten den Trainierenden ein Begriff sein:

- Distanzschutz
- Differentialschutz
- Überstrom-Zeitschutz
- Buchholtz Schutz

Dem Primärwissen schließt sich das Sekundärwissen an. Dazu lässt sich die Sternpunktbehandlung von Energieübertragungsnetzen zählen. Insbesondere für das Verständnis beim Aufbau von Verteilnetzen und Städtnetzen kann dieses Wissen beitragen. Daran angelehnt ist es von Vorteil, die Charakteristika der verschiedenen Kurzschlussarten (einpolig, zweipolig, dreipolig mit und ohne Erdberührung) zu kennen. Ein zentrales Thema in der Netzbetriebsführung ist das Zusammenspiel von Primär-, Sekundär- und Tertiärregelleistung. Diese Zusammenhänge bereits zu kennen hilft erheblich dabei ein schnelles Verständnis der Regelvorgänge im Energieübertragungsnetz zu erlangen. Neben den technischen Aspekten, die für die Netzbetriebsführung essenziell sind, spielt der Markt eine übergeordnete Rolle. Das Bewusstsein dafür, welchen Einfluss der Markt auf das Energieübertragungsnetz hat, hilft beim Verständnis für die Kraftwerkseinsatzplanung sowie bei dem Einsatz von Maßnahmen, um kritische Netzsituationen zu beherrschen.

Jede Zielgruppe bringt unterschiedliche dieser Voraussetzungen mit. Diese sind in folgender Tabelle dargelegt:

Tabelle 6: Fachliche Voraussetzungen der unterschiedlichen Trainierenden Gruppen

	Auszubildende Techniker/Meister	Studierende	Netzbetriebsführer
Primärwissen	Gute Kenntnisse	Sehr gute Kenntnisse	Gute bis sehr gute Kenntnisse
Sekundärwissen	Wenig Kenntnisse	Moderate Kenntnisse	Gute bis sehr gute Kenntnisse
Praktische Erfahrungen	Einige	Wenige bis keine	Viele

4.3. Schulungsinhalte und dessen Strukturierung

Nachdem definiert ist, welche Voraussetzungen die Trainierenden mitbringen müssen und welche Fähigkeiten sie am Ende des Seminars erlangt haben sollen, gilt es nun die konkreten Schulungsinhalte zu beschreiben und darzulegen, mit welcher Schulungsmethode diese am besten vermittelt werden können. Die folgenden Kapitel umfassen den inhaltlichen Rahmen der Schulung gefolgt von den Modellen und Szenarien die nötig sind, um dieses Wissen zu vermitteln. Am Ende steht ein Konzept für eine Schulung, welches die unter Kapitel 4.1 gesetzten Lehrziele vermittelt.

4.3.1. Umfang der Schulungsinhalte

Ein Grundlehrgang Schaltberechtigung, welcher von jedem Netzbetriebsführer absolviert werden muss, dauert bis zu 5 Tage, wobei der fünfte Tag die Prüfung beinhaltet. Nimmt man dies als Grundlage, so werden in etwa 32h für die Vermittlung des Wissens veranschlagt.

Auszubildende Elektrofachkräfte sowie Studierende lernen zumeist in wöchentlichen Lehreinheiten. Aber auch für bereits beim Netzbetreiber tätige, angehende Betriebsführer kann eine wöchentlich stattfindende Schulung interessant sein, damit diese nicht eine komplette Woche ihr Arbeitsumfeld verlassen müssen. Aus diesen Gründen wird die hier vorgestellte Schulung in 12 Blöcke mit jeweils 3h Schulung sowie einer anschließenden Prüfung unterteilt.

Bei der Konzeptentwicklung der Schulung „Netzbetriebsführung“ gibt es zwei große Herausforderungen. Zum einen haben die Trainierenden einen unterschiedlichen Wissensstand (siehe Tabelle 6). Auszubildende Elektrofachkräfte haben meist mehr praktische Erfahrungen, dafür kein ausgeprägtes theoretisches Detailwissen. Studierende besitzen dieses Detailwissen zumeist, haben aber weniger praktische Erfahrung gemacht. Angehende und ausgebildete Netzbetriebsführer innerhalb eines Unternehmens können bereits umfassendes theoretisches und praktisches Wissen aufweisen, je nachdem, wie lange sie schon im Unternehmen tätig sind. Um diese Unterschiede auszugleichen, ist zunächst ein theoretischer Teil nötig, der alle Trainierenden auf eine ähnliche Wissensstufe bringt. Die zweite Herausforderung ist, dass an einem Netzsimulationssystem mit einer entsprechenden Leittechniksoftware gearbeitet wird. Es ist davon auszugehen, dass die auszubildenden Elektrofachkräfte sowie die Studierenden zuvor keine oder nur wenig Berührungspunkte mit solch einer Leittechniksoftware hatten. Bei den im Unternehmen tätigen Netzbetriebsführeranwärtern können diese Erfahrungen bereits vorhanden sein. Allerdings gibt es verschiedene Anbieter von Leittechnik, sodass auch hier eine Einarbeitungsphase nötig sein kann. Somit ist es nicht sinnvoll direkt am Anfang der Schulung mit dem Simulationssystem zu arbeiten, sondern erst nach dem o.g. theoretischen Teil.

In diesem theoretischen Block ist es zunächst sinnvoll die unter Kapitel 4.2 beschriebenen Inhalte in kompakter Weise zu thematisieren. Dies hat zwei Gründe: zum einen werden diese Inhalte aus der Anfangsphase der jeweiligen Ausbildung des Trainierenden stammen und somit relativ lange zurückliegen. Diese erworbenen Kompetenzen müssen durch Wiederholen wieder hervorgerufen werden. Zum anderen werden die Trainierenden untereinander mit unterschiedlichem Kenntnisstand an dem Seminar teilnehmen. Eine Wiederholung der Inhalte trägt dazu bei, alle Teilnehmer auf einen gemeinsamen Wissensnenner zu bringen.

Im Anschluss an diesen wiederholenden Teil muss der Fokus auf neue inhaltliche Aspekte bezüglich der Netzbetriebsführung gelegt werden. Dabei geht es zunächst um allgemeine As-

pekte, wie die Aufgaben der Systemführung und -verantwortung, die Aufgaben der Übertragungsnetz- sowie Verteilnetzbetreiber sowie Bilanzkreissysteme, Regelzonen und Systembilanz. Weiterhin müssen auf aktuelle regulatorische Aspekte wie §13.2 des EnWG, welche direkten Einfluss auf die Netzbetriebsführung in Deutschland haben, erörtert werden. Anschließend werden Aspekte des täglichen Aufgabengebietes der Netzbetriebsführer erläutert. Allen voran werden die Bedeutung der Schaltsprache sowie Schaltbefehle und Schaltkommandos gelehrt. Auch Sicherheitsaspekte dürfen dabei nicht fehlen. In erster Linie sind dabei die fünf Sicherheitsregeln zu nennen, aber auch Aspekte wie das Arbeiten unter Spannung sowie die Unterschiede bei den Befugnissen von Elektrofachkräften, verglichen mit elektrotechnisch unterwiesenem Personal oder Laien, dürfen nicht fehlen. Am Ende des theoretischen Teils ist es empfehlenswert eine Exkursion in ein Umspannwerk durchzuführen, damit die Trainierenden ein Gefühl für die Dimension der Schaltgeräte bekommen. Idealerweise sehen sie eine Schalthandlung vor Ort oder bekommen durch das Personal einen Einblick bei der Arbeit unter Spannung stehender Teile. Außerdem hilft es dem Verständnis bei der Transformation vom einphasigen Ersatzschaltbild zur dreiphasigen Realität. Weiterhin ist ein Besuch in einem Kraftwerk oder einer Windenergieanlage ratsam. In Verbindung mit einem Vortrag durch das ausgebildete Vor-Ort Personal können den Trainierenden so Themen wie die Problematik der Anlaufzeitkonstanten oder die Herausforderung der gesicherten Einspeiseleistung nähergebracht werden.

Bevor direkt am Simulationssystem geschult wird, ist es sinnvoll, allgemeine Informationen über SCADA Systeme, wie es die Leittechniksoftware ist, zu vermitteln. Anschließend werden auf die Besonderheiten der Leittechniksoftware PRINS eingegangen (siehe Kapitel 5.1.1). Dabei lernen die Trainierenden die einphasige Darstellung des Netzabbildes kennen, sowie das Farb- und Symbolkonzept. Außerdem werden sie vertraut gemacht mit der Bedienung der Software, um eigenständig Schalthandlungen vorzunehmen. Die ersten Schaltübungen werden einfache Schaltaufgaben, wie das Freischalten einer Leitung sein, bei denen die Schaltsprache im Vordergrund steht. Die Trainierenden sollen direkt miteinander interagieren, um ein Gefühl für die Kommunikation bei Schaltbefehlen und Schaltkommandos zu erlangen. Daran schließen sich Schaltübungen an, bei denen der Schaltzustand des gesamten Umspannwerks sowie gegebenenfalls benachbarte Umspannwerke berücksichtigt werden müssen. Dabei wird das (n-1) Kriterium, welches besagt, dass beim Ausfall eines Betriebsmittels es zu keiner kritischen Situation für die Stabilität des Energieversorgungsnetzes kommen darf, verinnerlicht. Am Ende des Seminars wird schließlich der Netzbetrieb unter Normalbedingungen, im Alarmbetrieb, im Notbetrieb sowie beim Blackout mit dem dazugehörigen Netzwiederaufbau trainiert. Weiterhin denkbar sind Rollenspiele bei denen der horizontale Netzbetrieb, d.h.

zwischen zwei Übertragungsnetzbetreiber, der vertikale Netzbetrieb, d.h. zwischen Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber sowie das Zusammenspiel zwischen Kraftwerk und Übertragungsnetzbetreiber trainiert wird.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Einteilung des Seminars in Theorie und Praxis mit dem Zeithorizont, in denen die jeweiligen Inhalte in das Seminar eingebettet werden.

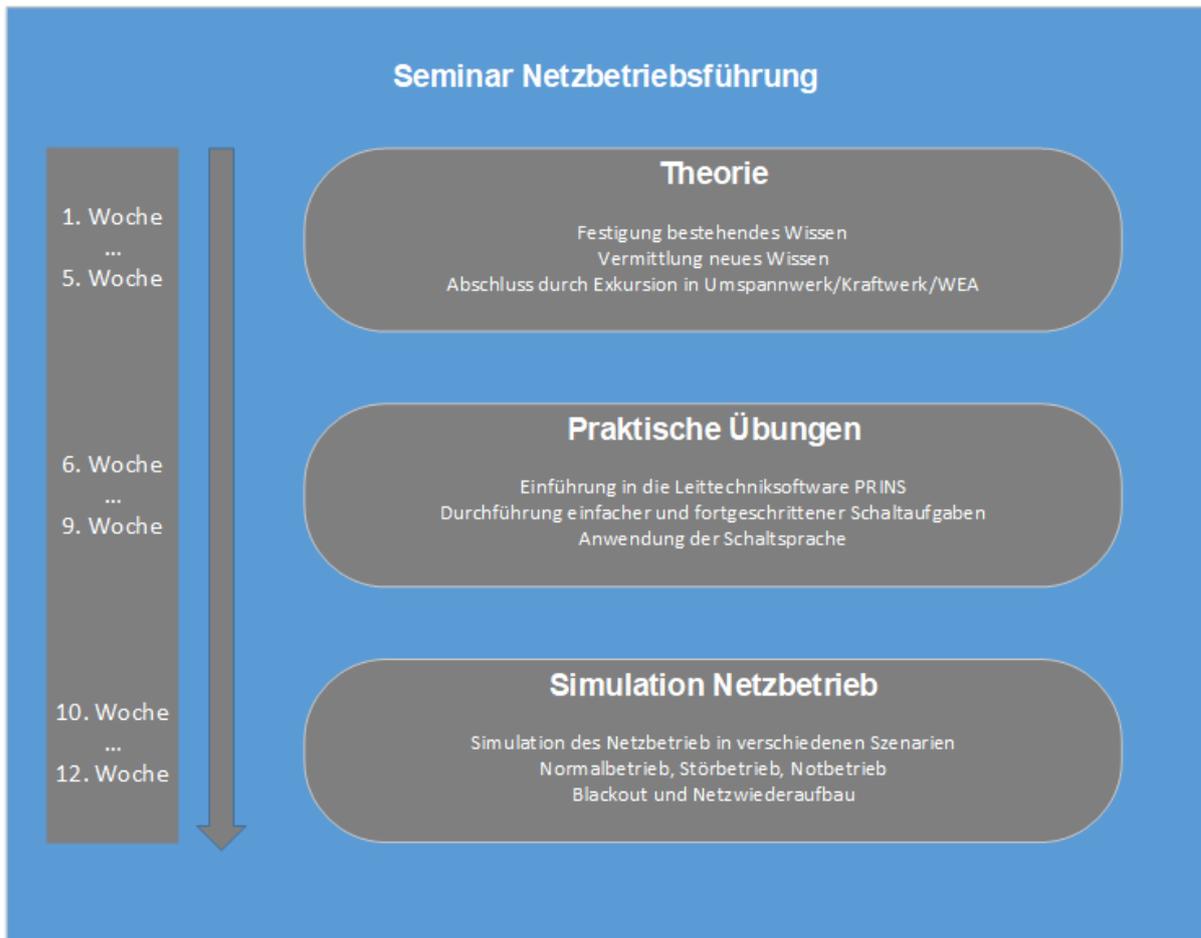


Abbildung 9: Aufbau des Seminars „Netzbetriebsführung“

Für den theoretischen Teil wird das Simulationssystem nicht benötigt. Bei den praktischen Übungen arbeiten die Trainierenden am System, allerdings wäre für diese Aufgaben eine Leittechnik, welche als SCADA Funktion ein Simulationsmodus anbietet, ausreichend. Um den Netzbetrieb zu simulieren, ist dann allerdings das Simulationssystem bestehend aus Leittechniksoftware und Berechnungskern (siehe Kapitel 5) nötig. Des Weiteren ist es erforderlich geeignete Modelle und Szenarien zu entwickeln, auf die in Kapitel 6 eingegangen wird.

Im Hinblick auf die fachlichen Voraussetzungen (Kapitel 4.2), welche die Trainierenden Gruppen mitbringen, aber auch bezogen auf die individuelle Motivation, welche zur Teilnahme an dem Seminar führt, ist es sinnvoll, dass nicht alle Trainierenden zu jedem Themenkomplex anwesend sein müssen. Besonders deutlich wird dies bei bereits tätigen Netzbetriebsführern.

Diese sind weniger an den theoretischen Themen interessiert als vielmehr an der Simulation des Netzbetriebes. Abbildung 10 zeigt diesen Umstand qualitativ.

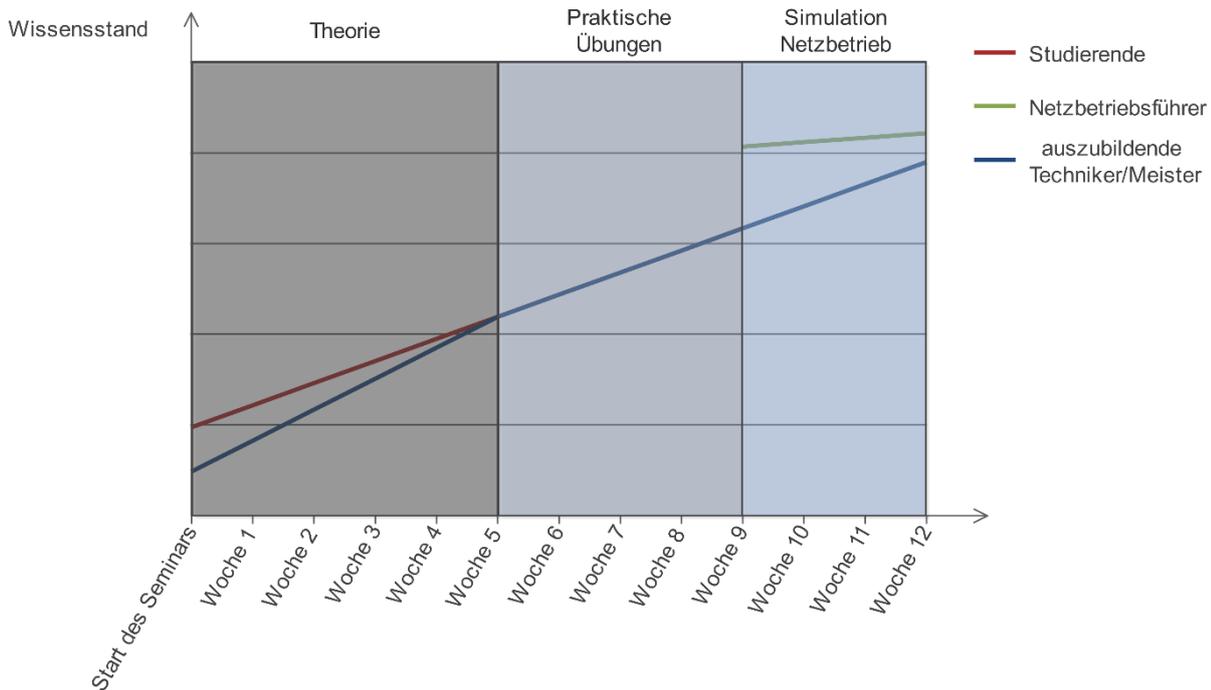


Abbildung 10: Entwicklung des Wissensstandes der Trainierenden während der Schulung

Hierbei wird ersichtlich, dass am Ende des Theorieteils sowohl die Gruppe der Trainierenden als auch die jeweiligen Individuen in den Gruppen den gleichen Wissensstand erreicht haben sollen. Dabei haben die Studierenden im Vergleich zu den Technikern und Meistern zum Anfang der Schulung bereits ein größeres theoretisches Fachwissen, welches sich innerhalb der ersten 5 Wochen angleicht. Ab der sechsten Woche ist der Wissenszuwachs aller beteiligten idealerweise gleich. Die bereits ausgebildeten Netzbetriebsführer nehmen dann bei der Simulation des Netzbetriebes teil. Bei ihnen werden nun die bestehenden Fähigkeiten ausgebaut, weshalb der Wissenszuwachs nur leicht ansteigt, während sich die Studierenden sowie auszubildenden Techniker und Meister konstant weiterentwickeln.

4.3.2. Inhalte und Didaktik des Theorieteils

Der zeitliche Horizont des Teiles, bei dem das theoretische Wissen vermittelt wird, beträgt 5 Wochen (siehe Abbildung 9). In der fünften Woche soll dabei, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, eine Exkursion durchgeführt werden, womit für die vorangegangenen vier Wochen die Inhalte definiert werden müssen. Die erste Woche dient der Festigung des in Kapitel 4.2 beschriebenen primären Wissens. Hierbei geht es um die Wiederholung einer Vielzahl von Inhalten, weshalb die Schulungsmethode des Frontalunterrichts hierfür am besten geeignet ist. Dabei wird bereits erworbenes Wissen reaktiviert und etwaige Wissenslücken geschlossen, sodass am Ende der ersten Woche alle Teilnehmer den gleichen Wissensstand aufweisen.

Des Weiteren bietet es sich an, für die folgenden theoretischen Schulungsinhalte Gruppenarbeiten aufzugeben, bei der sich jede Gruppe ein Thema heraussucht und einen Vortrag ausarbeitet. Dadurch werden die Trainierenden aktiv in die Schulung mit einbezogen was die Behaltensleistung von Wissen stark erhöht.

Das zentrale Thema in der zweiten Woche sind die Aufgaben der Systemführer der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber sowie deren Systemverantwortung. In erster Linie werden dabei die Systemdienstleistungen vorgestellt und erörtert, sowie wie diese erbracht werden können. Neben Spannungshaltung, Frequenzhaltung und Wahrung des (n-1)-Kriteriums, auf die ins Detail eingegangen wird, spielen Aspekte wie Netzsicherheitsmanagement und Systemicherheitsmanagement eine wichtige Rolle. Diese unterliegen oft regulatorischen Rahmenbedingungen. In diesem Zusammenhang werden Marktmechanismen, die relevant für den Netzbetrieb sind, erläutert, ohne dabei zu tief ins Detail zu gehen. Diese Inhalte lassen sich didaktisch sowohl als Frontalunterricht vermitteln, als auch über Präsentationen durch die Trainierenden, welche die Inhalte in einer Gruppenarbeit erarbeiten. Dabei können gezielt die Stärken der Trainierenden berücksichtigt werden, indem beispielsweise die Studierenden theoretisches Detailwissen präsentieren und die Elektrofachkräfte die stark praxisbezogenen Themen ausarbeiten.

In der dritten Woche steht der Anlagenverantwortliche in Bezug auf sein Tätigkeitsfeld und die damit einhergehenden Herausforderungen und Verantwortung im Mittelpunkt. Es wird auf das Erfordernis einer einheitlichen Schaltsprache hingewiesen sowie verdeutlicht, welche Gefahren bei Missverständnissen zwischen dem Schaltpersonal entstehen können. Das Thema des Arbeitsschutzes muss in diesem Zusammenhang ausführlich angesprochen werden, da beim Arbeiten mit und unter Hochspannung besondere Vorsicht geboten werden muss. Weiterhin sind die Netzbetriebsführer direkt für Menschenleben verantwortlich. Konkrete Inhalte sind dabei die fünf Sicherheitsregeln und allgemeine Verhaltensregeln, da schätzungsweise 90 % der Arbeitsunfälle auf das Nichteinhalten der fünf Sicherheitsregeln oder allgemeinen Verhaltensfehlern beruhen. [10] Didaktisch sollte das Wissen primär über Frontalunterricht vermittelt werden. Zusätzlich kann das Thema der Schaltsprache mit Hilfe von einfachen Rollenspielen ergänzt werden. Eine Person gibt das Schaltkommando und eine andere Person wiederholt und bestätigt dieses. Somit übernehmen die Trainierenden erstmals aktiv die Rolle eines Netzbetriebsführers, was die Grundlage für die späteren praktischen Übungen schafft. Die Thematik des Arbeitsschutzes kann ergänzt werden durch eine Diskussion. Dazu können Videos und Bilder von elektrischen Unfällen gezeigt werden, bei denen die Teilnehmer erläutern sollen, wo das Fehlverhalten zu beobachten ist. Eventuell findet auch ein Erfahrungsaustausch auf Niederspannungsebene statt oder die Teilnehmer, die bereits Erfahrung im Unternehmen gesammelt haben, können von diesen berichten. Dadurch werden die Trainierenden direkt mit einbezogen was ihre Sensibilität für diese Thematik erhöht.

Die vierte Schulungswoche beinhaltet zwei Themenkomplexe. Der Erste umfasst einen Exkurs über die Entwicklung von der Schalttafel zum SCADA System. Anschließend wird direkt auf den Aufbau und die Funktion von einer Leittechniksoftware für Energieübertragungsnetze eingegangen. Dies umfasst einerseits die Farb- und Symboldarstellung, sowie Betriebsmittelbezeichnungen und Bedien- und Ablaufregime. Im zweiten Themenkomplex wird auf die HEO-Funktionen (Höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen) eingegangen, die es dem Bediener erleichtern, das Gesamtnetz im Überblick zu behalten. Der zweite Themenkomplex umfasst die Kraftwerke. Dabei werden auf verschiedene Kraftwerkstypen eingegangen wobei der thermische Prozess nur skizziert wird. Im Vordergrund stehen die Prozesse, das Systemverhalten sowie -grenzen und Arbeitsbereiche. Der erste Themenkomplex lässt sich sowohl über Frontalunterricht als auch als Vortrag durch die Trainierenden gestalten. Das Thema der Kraftwerke muss durch den Dozenten abgehalten werden, da hier Wissen über die Spezifikationen des Simulationssystems nötig sind, welches nur der Dozent haben kann.

Für die in der fünften Woche stattfindenden Exkursion bieten sich mehrere Ziele an. Besonders empfehlenswert ist ein Besuch in einer Freiluftschaltanlage. Als Vorbereitung ist es sinnvoll, dass zu besuchende Umspannwerk als schematisches einphasiges Ersatzschaltbild, wie in der Leittechniksoftware dargestellt, zu visualisieren und während der Exkursion verfügbar zu haben. Dadurch gelingt den Trainierenden die Transformation leichter. Idealerweise wird ein Trennschalter geschaltet bei dem eine sichtbare Trennstrecke hergestellt wird. Dadurch verinnerlichen die Trainierenden den mechanischen Vorgang und werden durch den dabei entstehenden Lichtbogen für die Gefahr der Hochspannung sensibilisiert. Weiterhin wird verdeutlicht, dass eine Schalthandlung am Leitsystem reale Prozesse auslöst und somit jede Schalthandlung wohl überlegt sein muss. Weitere Exkursionsziele sind Kraftwerke oder erneuerbare-Energie-Anlagen. Vor allem Großkraftwerke tragen zum Verständnis der Dimension bei und können ein Gefühl für die teilweise sehr hohen Anlaufzeitkonstanten vermitteln. Ein Besuch eines Windparks oder Photovoltaikanlage hingegen ermöglicht den Einblick in die Problematik der fluktuierenden sowie ungesicherten Einspeiseleistung, die für diese Anlagen charakteristisch sind.

Folgende Tabelle gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Inhalte und Schulungsmethoden des theoretischen Teils des Seminars.

Tabelle 7: Inhalte und Lehrmethoden des theoretischen Teils

Woche	Inhalt	Schulungsmethode
1	Aufbau und Aufgaben des el. Energieversorgungsnetzes, Netztopologie, Betriebsmittel, Netzkomponenten, Schutzfunktionen, Ersatzschaltbilder	Frontalunterricht
2	Aufgaben der Systemführung, Systemverantwortung, Systemdienstleistungen, politische Regularien, Marktmechanismen	Frontalunterricht, Gruppenarbeit, Vortrag
3	Schaltsprache, Schaltbefehle und –kommandos, Arbeitsschutz, Fünf Sicherheitsregeln	Frontalunterricht Rollenspiele
4	SCADA Systeme, Leittechnik (Funktion, Symbole, Farbschema), HEO Funktionen, Kraftwerksmodelle (Prozesse, Systemverhalten, Arbeitsbereich)	Frontalunterricht Gruppenarbeit, Vortrag
5	Exkursion (Umspannwerk, Kraftwerk, EE Anlage)	Diskussion Vortrag

4.3.3. Inhalt und Aufbau der praktischen Übungen

Nach fünf Wochen der Theorievermittlung folgen vier Wochen für die praktischen Übungen. Die 6. Woche dient dazu, die Trainierenden in die Leittechniksoftware PRINS einzuführen. Sie lernen die Bedienung kennen und bekommen die wichtigsten Funktionen gezeigt. Als ergänzendes Schulungsmaterial bieten sich hier Tutorials in Form von Kurzfilmen an, die speziell für die Schulung entwickelt wurden und die sich die Trainierenden an den Arbeitsplätzen ansehen können. Nachdem sich die Trainierenden mit der Leittechniksoftware vertraut gemacht haben, werden erste einfache Schaltaufgaben besprochen und in korrekter Schaltsprache durchgeführt. Hierfür eignen sich die didaktischen Schulungsmethoden der Diskussion ergänzend mit Rollenspielen.

In der darauffolgenden 7. Woche werden weitere Schaltaufgaben durchgeführt. In Anlehnung an das problemorientierte Lernen (siehe Kapitel 3.3.1) und dem kompetenzorientierten Lernen (siehe Kapitel 3.3.2) werden die Trainierenden in Gruppen eingeteilt, innerhalb derer Sie eine Schaltaufgabe eigenständig lösen müssen. Im Anschluss an einer vorher definierten Bearbeitungszeit führen zwei Gruppen die Schalthandlung in Form eines Rollenspiels am Netzsimulator durch. Dazu benutzen sie Telefone, um miteinander zu kommunizieren und die Schalt-

kommandos durchzugeben. Am Ende findet eine Diskussion über die Probleme und gegebenenfalls alternative Lösungsvorschläge statt. Darauf aufbauend wird eine weitere Schaltaufgabe gestellt, bei der der Schwierigkeitsgrad erhöht wird und die Trainierenden vor neue Herausforderungen gestellt werden. Abbildung 11 zeigt eine der trivialeren Schaltaufgaben.

Aufgrund von Beschädigungen an der Porzellan Isolation des Leistungsschalters in North Kilt Town line 1, muss diese Leitung freigeschaltet und ein Arbeitsplatz eingerichtet werden. Schreiben Sie das dazugehörige Schaltprogramm.

Abbildung 11: Trivialere Schaltaufgabe

Die 8. Woche knüpft an die letzten Schaltaufgaben an und erhöht die Komplexität. Bisher standen das Freischalten oder ein Sammelschienenwechsel von einzelnen Abgängen im Fokus. Jetzt werden zunehmend der Leistungsfluss und ein gesicherter (n-1)-Betrieb der Schaltanlagen betrachtet. Dazu muss nicht nur das Umspannwerk betrachtet werden, in dem eine Schalthandlung vorgenommen werden muss, sondern auch die Leistungsflüsse zu benachbarten Umspannwerken sowie deren Schaltsituation. Außerdem können komplexere Schaltanlagen

mit Umgehungsammelschiene miteinbezogen werden, bei denen Abgänge über diese versorgt werden müssen. Abbildung 12 zeigt eine solche komplexere Schaltübung.

Aufgrund eines Mantelfehlers muss die Leitung 2-6 von Weeny Town nach Marzahn freigeschaltet und eine Arbeitsstelle eingerichtet werden. Schreiben Sie das dazugehörige Schaltprogramm.

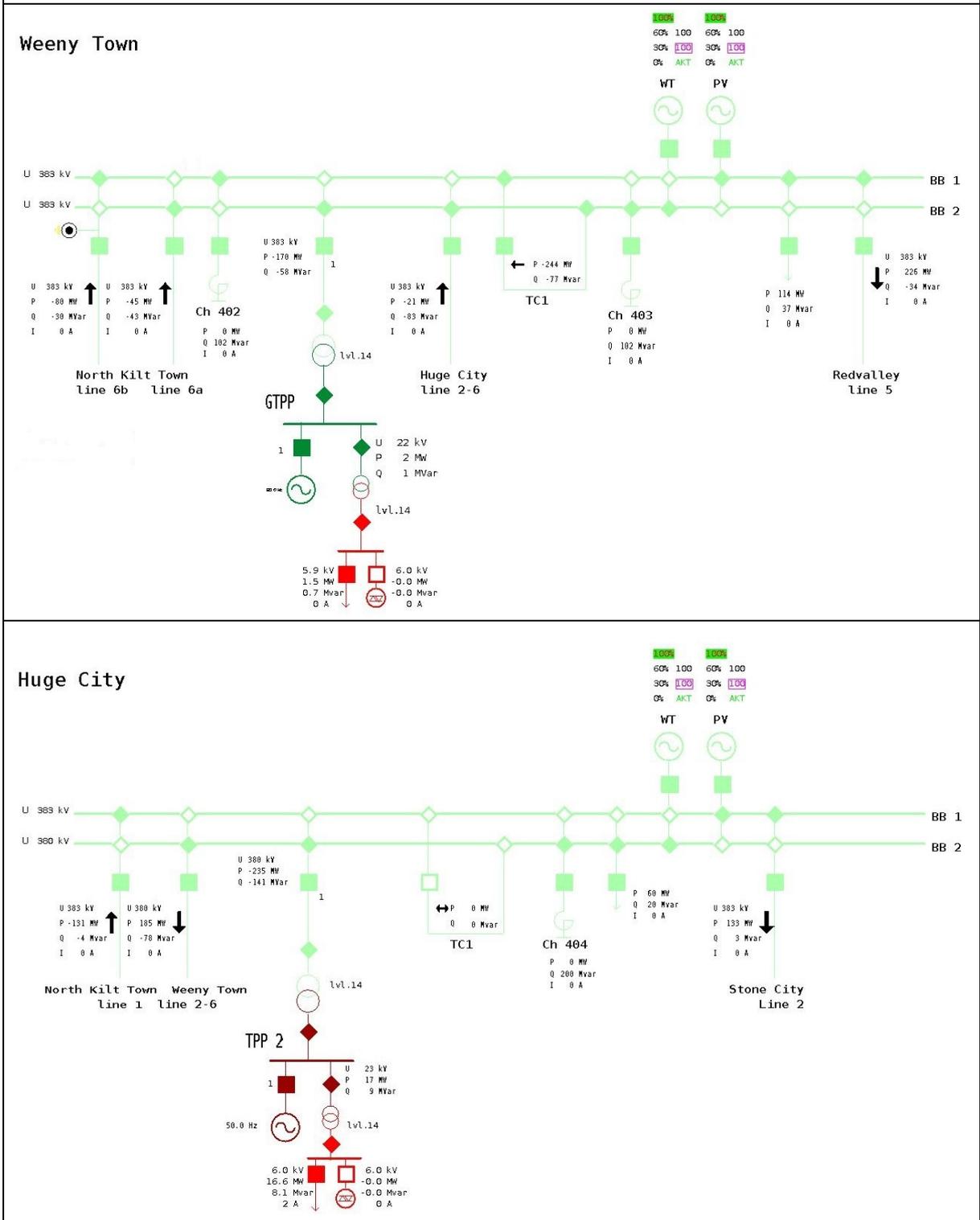


Abbildung 12: komplexe Schaltaufgabe

Hierbei kann nicht einfach die Leitung freigeschaltet werden, sondern vorher müssen die Trainierenden erkennen, dass in diesem Fall das Kraftwerk TPP2 in Hüge City auf eine Sammelschiene ohne Abgang einspeisen würde, was unmittelbar zu einer Schutzauslösung im Kraftwerk führen würde. Somit muss zunächst die Kupplung TC1 in Betrieb genommen und ein Sammelschienenwechsel der Leitung 1 auf Sammelschiene BB2 durchgeführt werden. Erst dann kann Leitung 2-6 freigeschaltet werden. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, dass es im Umspannwerk Weeny Town nicht auch zu solchen Engpässen kommt, wenn Leitung 2-6 freigeschaltet wird. In diesem Fall gibt es dabei keine Probleme. Didaktisch können diese Schaltaufgaben wie in Woche 7 in Gruppenarbeiten, Rollenspielen und Diskussionen aufbereitet werden.

In der letzten Woche des praktischen Übungsteiles werden weitere komplexe Schalthandlungen durchgeführt. Empfehlenswert ist, dass bereits im Vorfeld, im Rahmen von Hausaufgaben, Schaltprogramme angefertigt wurden, die nun besprochen und analysiert werden können. Neben der Festigung des Umgangs mit komplexeren Schaltaufgaben ist auch ein Exkurs in die Netzstruktur von Verteilnetzbetreibern denkbar. Vor allem die gängige Netzform der zweiseitig gespeisten Ringnetze, über die Verbraucher im Mittel- und Niederspannungsnetz versorgt werden, stellt ein interessantes Szenario dar. Dabei müssen die Trainierenden im Fehlerfall schnellstmöglich die Stromversorgung der Verbraucher gewährleisten, was schnell zu einer Stresssituation führen kann. Abbildung 13 zeigt exemplarisch eine solche Schaltaufgabe. Da die Digitalisierung noch nicht so weit vorangeschritten ist, dass jeder Abgang zu einem Verbraucher mit der nötigen Sensorik ausgestattet ist, um Kurzschlüsse schnell zu identifizieren, bekommen die Trainierenden anhand der roten Kurzschlussanzeiger (KA) eine Indikation dafür, dass in dem Kabelbereich zwischen den ausgelösten Kurzschlussanzeigern die Quelle des Kurzschlusses zu suchen ist. In diesem Beispiel zwischen Verbraucher 2 und Verbraucher 5. Somit müssen zunächst die Schalter an diesen beiden Kurzschlussanzeigern geöffnet werden, damit daraufhin die Leistungsschalter der beiden Einspeiseseiten eingeschaltet werden können. Dadurch sind die Verbraucher 1 und 2 sowie Verbraucher 5 bis 9 wieder mit Spannung versorgt. Um den Fehler nun weiter eingrenzen zu können, müssen die Trainierenden Techniker vor Ort schicken, um überprüfen zu lassen, wo die Ursache des Kurzschlusses liegt. Ist dieser Standort identifiziert, müssen die Trainierenden diesen Bereich freischalten und können somit alle weiteren Verbraucher mit Spannung versorgen.

In dem folgenden Niederspannungskabelring kam es zu einem Kurzschluss. Stellen Sie die Versorgung der Verbraucher wieder her.

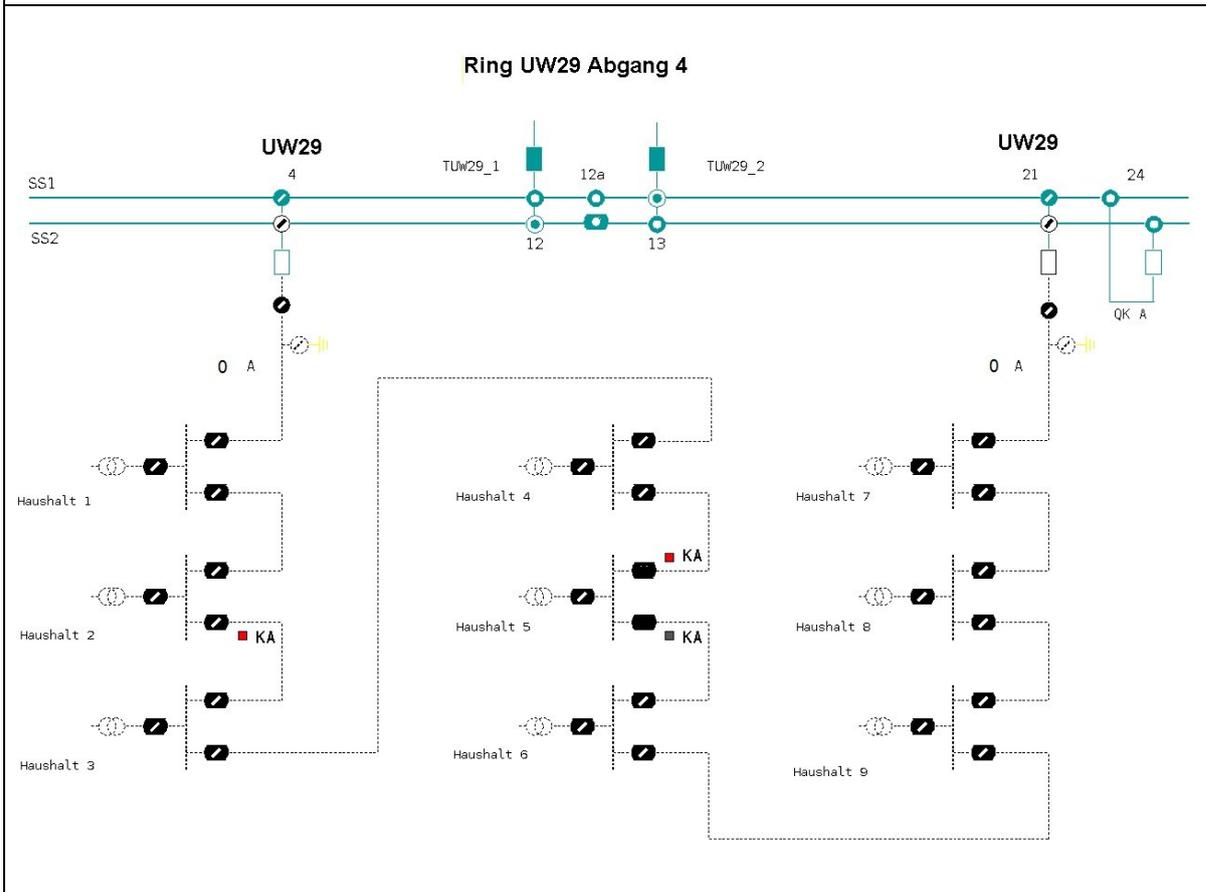


Abbildung 13: Schaltaufgabe Kurzschluss im Niederspannungskabelring

Eine Zusammenfassung über die Inhalte und didaktischen Schulungsmethoden der praktischen Übungen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 8: Inhalte und Lehrmethoden bei den praktischen Übungen

Woche	Inhalt	Schulungsmethode
6	Bedienung Leittechniksoftware PRINS	Frontalunterricht, Videos
7	Triviale Schaltaufgaben (einfaches Freischalten einer Leitung oder eines Transformators, einfacher Sammelschienenwechsel)	Gruppenarbeit, Rol- lenspiel
8	Komplexere Schaltaufgaben (Beachtung der Lastflüsse, Einhaltung des n-1 Prinzips)	Gruppenarbeit, Rol- lenspiel
9	Komplexere Schaltaufgaben mit Versorgungswiederaufbau, Exkurs in Netzstruktur der Verteilnetzbetreiber	Gruppenarbeit, Rol- lenspiel

4.3.4. Simulation des Netzbetriebes

In den verbliebenen drei Wochen sollen die Trainierenden im Rahmen eines Planspiels mit verschiedenen Szenarien konfrontiert werden. Dabei lassen sich die Szenarien anhand von Netzzuständen definieren. Ein Netzzustand bezeichnet den Betriebszustand des Übertragungsnetzes anhand der betrieblichen Sicherheitsgrenzen. Die einzelnen Netzzustände sind dabei wie folgt definiert:

Normalzustand: bei einer N-Situation oder nach einem auf der Ausfallvarianten-Liste verzeichneter Ausfall werden alle betrieblichen Sicherheitsgrenzwerte des Netzes eingehalten, wobei die Auswirkungen der zur Verfügung stehenden Entlastungsmaßnahmen zu berücksichtigen sind ((EU) 2017/1485, Art. 3, Abs. 2, 5.)

Gefährdeter Zustand: die betrieblichen Sicherheitsgrenzwerte des Netzes werden eingehalten, aber ein Ausfall auf der Ausfallvarianten-Liste wurde festgestellt, bei dessen Eintreten die verfügbaren Entlastungsmaßnahmen nicht ausreichen, um den Normalzustand aufrechtzuerhalten ((EU) 2017/1485, Art. 3, Abs. 2, 17.)

Notzustand: einer oder mehrere betriebliche Sicherheitsgrenzwerte sind überschritten ((EU) 2017/1485, Art. 3, Abs. 2, 37.)

Netzwiederaufbauzustand: das Ziel sämtlicher Tätigkeiten im Übertragungsnetz besteht darin, die Betriebssicherheit nach einem Blackout- oder Notzustand wiederherzustellen ((EU) 2017/1485, Art. 3, Abs. 2, 38.)

Um solche komplexen Szenarien durchspielen zu können, wird das Planspiel gemäß Kapitel 3.4.4 durchgeführt:

1. Den Trainierenden werden ihre Rollen zugewiesen. Je nach Szenario sind folgende Gruppen möglich:
 - a. Kraftwerkseinsatzplanung
 - b. Kraftwerksbetreiber
 - c. TCC (Transmission Control Center)
 - d. Netzleitwarte a
 - e. Netzleitwarte b
 - f. Beobachter

Die Anzahl der Netzleitwarten kann dabei je nach Teilnehmerzahl und Lehrenden variiert werden. Danach erläutert der Lehrende die Ausgangssituation des jeweiligen Szenarios.

2. Den Trainierenden wird ihr Aufgabenbereich dargelegt. Danach nehmen sie an ihren Arbeitsplätzen Position ein.

3. Während des Planspiels werden, entsprechend dem Szenario, Ereignisse stattfinden, die die Trainierenden vor Herausforderungen stellen wird. Ihre Aufgabe ist es darauf zu reagieren und Strategien zu entwickeln und umzusetzen, um einen stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten.
4. Im Zuge der unter 3. entwickelten Problemlösungen finden Interaktionen zwischen den Trainierenden statt. Zum einen innerhalb der Gruppe, als auch via Telefon mit anderen Gruppenmitgliedern.
5. Alle Teilnehmer tragen die Ergebnisse und ihre Probleme intern zusammen. Dabei kann insbesondere der Lehrende Schlüsselereignisse identifizieren und aufbereiten.
6. In einem Plenum werden die Ergebnisse aus verschiedenen Blickwinkeln präsentiert und Lösungsstrategien diskutiert. Dabei können auf Schlüsselereignisse eingegangen werden und alternative Strategien durchgespielt werden.
7. Zusammenfassung der neuen Erkenntnisse und Äußerung von Feedback an dem Planspiel.

Je nach der Dauer des Szenarios kann es sinnvoll sein, Punkt 5 als Hausaufgabe und Punkt 6 und 7 auf den Anfang des folgenden Seminars zu verschieben. Insbesondere der Lehrende muss die Schlüsselereignisse herausfiltern und für die Trainierenden nachvollziehbar aufbereiten. Dabei kann das Simulationssystem so initialisiert werden, dass es dem Netzzustand der jeweiligen Situation entspricht und alternative Lösungsstrategien können direkt auf Validität geprüft werden.

Die folgende Tabelle fasst alle inhaltlichen Aspekte der Schulung zusammen. Zusätzlich zeigt der farbliche Indikator an, für welche Themenschwerpunkte ein Simulationssystem bestehend aus Leittechniksoftware und Berechnungskern (rot), eine Leittechniksoftware mit Simulationsmodus (blau) oder gar keine Software (grün) benötigt wird.

Tabelle 9: Lehrkonzept Seminar "Netzbetriebsführung"

Woche	Kurze Inhaltsübersicht	Schulungsmethode
1.	Aufbau und Aufgaben des el. Energieversorgungsnetzes, Netztopologie, Betriebsmittel, Netzkomponenten, Schutzfunktionen, Ersatzschaltbilder	Frontalunterricht
2.	Aufgaben der Systemführung, Systemverantwortung, Systemdienstleistungen, politische Regularien, Marktmechanismen	Frontalunterricht, Gruppenarbeit, Vortrag
3.	Schaltsprache, Schaltbefehle und –kommandos, Arbeitsschutz, Fünf Sicherheitsregeln	Frontalunterricht Rollenspiele

Tabelle 9: Fortsetzung

4.	SCADA Systeme, Leittechnik (Funktion, Symbole, Farbschema), HEO Funktionen, Kraftwerksmodelle (Prozesse, Systemverhalten, Arbeitsbereich)	Frontalunterricht Gruppenarbeit, Vortrag
5.	Exkursion in ein Umspannwerk, Kraftwerk und/oder EE Anlage	Diskussion Vortrag
6.	Bedienung Leittechniksoftware PRINS	Frontalunterricht, Videos
7.	Triviale Schaltaufgaben (einfaches Freischalten einer Leitung oder eines Transformators, einfacher Sammelschienenwechsel)	Gruppenarbeit, Rollen- spiel
8.	Komplexere Schaltaufgaben (Beachtung der Lastflüsse, Einhaltung des n-1 Prinzips)	Gruppenarbeit, Rollen- spiel
9.	Komplexere Schaltaufgaben mit Versorgungswiederaufbau, Exkurs in Netzstruktur der Verteilnetzbetreiber	Gruppenarbeit, Rollen- spiel
10.	Szenario Normalzustand und Gefährdeter Zustand	Planspiel
11.	Gegebenenfalls Auswertung Woche 10 Szenario Notzustand	Diskussion Planspiel
12.	Gegebenenfalls Auswertung Woche 11 Szenario Netzwiederaufbauzustand	Diskussion Planspiel
13.	Prüfung	

4.4. Prüfung

Am Ende des Seminars müssen sich die Trainierenden einer Prüfung unterziehen. Dabei geht es darum festzustellen, ob die bei der Lernzieloperationalisierung (siehe Kapitel 4.1) definierten Lernziele erworben wurden. Grundsätzlich lassen sich zwei Arten der Prüfung unterscheiden: die schriftliche Prüfung und die mündliche Prüfung. Auch eine Mischung aus beidem ist möglich. Für beide Arten soll im Folgenden ein Konzept vorgestellt werden und auf die Vor- sowie Nachteile eingegangen werden.

4.4.1. Schriftliche Prüfung

Bei der schriftlichen Prüfung handelt es sich um einen zentralen Prüfungstermin mit einer Zeitdauer von 90 min, bei der alle Trainierenden zeitgleich einen Lernnachweis erbringen müssen. Für die Abfrage der Wissensstufe 1 (siehe Kapitel 3.5) eignen sich Multiple Choice Fragen und Definitionsaufgaben. Dabei sollte für den Netzbetrieb fundamental wichtiges Basiswissen abgefragt werden, wie z.B. die fünf Sicherheitsregeln oder das Schaltvermögen von Betriebsmitteln.

Um die Wissensstufe 2 abzufragen, eignen sich Darstellungen von Leittechnikbildern, bei denen die Trainierenden Betriebsmittel identifizieren und gemäß Schaltsprache korrekt beschreiben müssen. Auch der umgekehrte Fall, anhand einer Beschreibung die Betriebsmittel in einem Leittechnikbild identifizieren zu können, ist denkbar.

Wissensstufe 3 und 4 lassen sich jeweils in komplexen Schaltaufgaben ermitteln. Dabei müssen die Trainierenden zum einen zeigen, dass sie die Schaltsprache verinnerlicht haben, ein Schaltprogramm didaktisch richtig aufschreiben können und dabei die richtige Schaltabfolge beachten. Zum anderen müssen Sie durch die Bearbeitung eines neuen Problems ihr Wissen auf die neue Situation transformieren und weiterentwickeln.

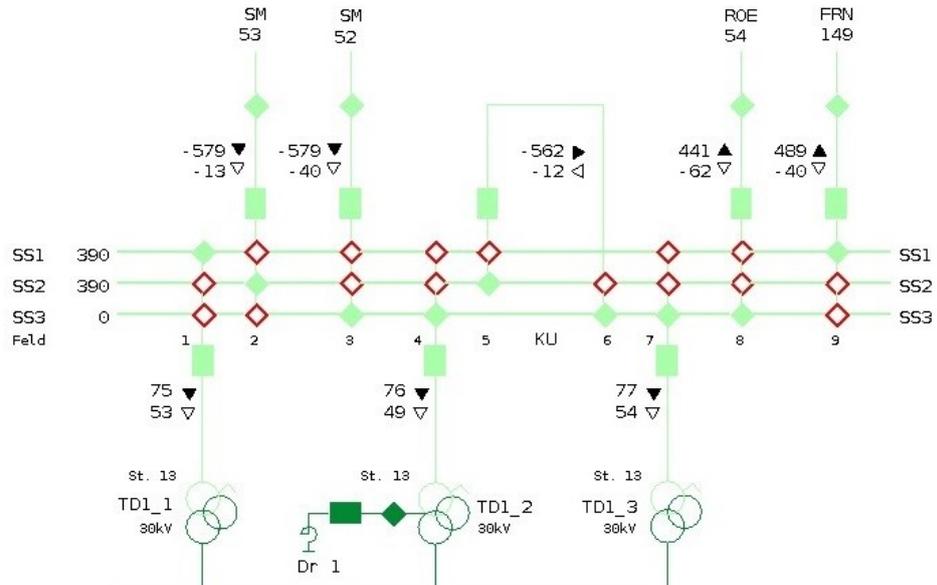
Der Vorteil bei der schriftlichen Prüfung liegt klar bei dem Arbeits- und Zeitaufwand für den Lehrenden. Dadurch kann das Qualitätsmerkmal der Ökonomie leichter gewährleistet werden. Durch die Ausformulierung der Fragen kann auch das Qualitätsmerkmal der Zuverlässigkeit erfüllt werden. Nachteilig bei dieser Form der Prüfung ist allerdings die Vernachlässigung verbaler Konservation, welche bei Betriebsführern einen wichtigen Teil des Berufsalltages darstellt. Weiterhin gestaltet sich die Punktevergabe bei komplexen Schaltaufgaben schwierig, da es meistens mehrere Wege gibt, um ein Problem zu lösen. Ein Lösungsansatz für dies Problem ist, das kürzeste (mit minimalen Schalthandlungen) Schaltprogramm als Lösung zu definieren und für jede zu viel ausgeübte Schalthandlung einen halben Punkt abzuziehen, allerdings maximal 25% der Gesamtpunkte. Ein weiterer Nachteil ist der Umgang mit Folgefehlern. Ist ein ganzes Schaltprogramm falsch, wenn beispielsweise bei einem Sammelschienenwechsel die Kupplung falsch geschaltet wurde? Hierbei empfiehlt es sich, nicht nur den Schaltbefehl an sich zu bewerten, sondern die Idee hinter der Schalthandlung zu berücksichtigen. Somit würde es im o.g. Fall zwar Punktabzug für die Verletzung von Verriegelungsbedingungen geben, allerdings gibt es Punkte für die ansonsten richtige Schaltidee. Dieser Bemessungsspielraum des Lehrenden wirkt sich negativ auf die Objektivität aus, weshalb besonders auf die vorher definierte Punktevergabe geachtet werden muss. Abbildung 14 zeigt beispielhaft eine solche Prüfungsaufgabe mit Lösung und Punktevergabe. Für jeden Schaltbefehl werden zwei Punkte vergeben. Einen für die richtige systematische Schreibweise des jeweiligen Schaltbefehls und einen für die richtige Schalthandlung an sich.

Transformator TD1_1 muss freigeschaltet werden. Bitte schreiben Sie das zugehörige Schaltprogramm

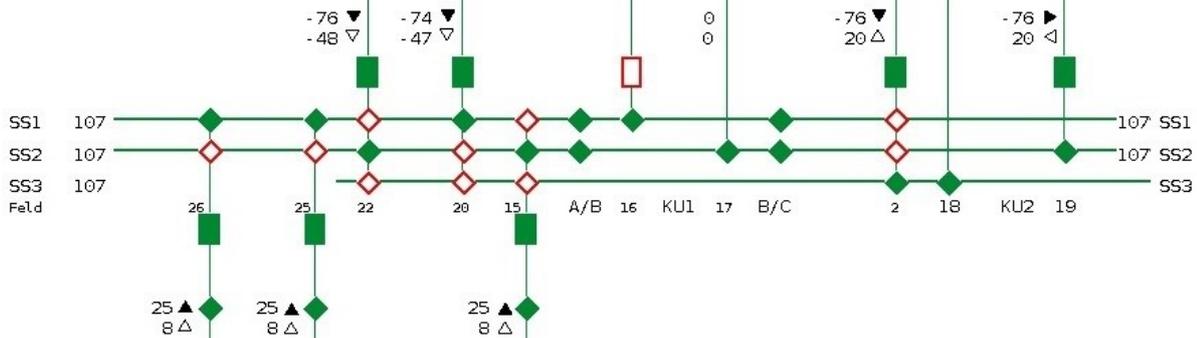
D1

Dresden Süd

4D1



1D1



UW Dresden Süd	Trafo TD1_2	380kV	SS2-Tr	schließen	(2P)
UW Dresden Süd	Trafo TD1_2	380kV	SS3-Tr	öffnen	(2P)
UW Dresden Süd	380kV	Querkupplung KU	LS	ausschalten	(2P)
UW Dresden Süd	380kV	Querkupplung KU Feld 5	SS2-Tr	öffnen	(2P)
UW Dresden Süd	380kV	Querkupplung KU	SS1-Tr	schließen	(2P)
UW Dresden Süd	380kV	Querkupplung KU	LS	einschalten	(2P)
UW Dresden Süd	110kV	Querkupplung KU1	LS	einschalten	(2P)
UW Dresden Süd	Trafo TD1_1	110kV	LS	ausschalten	(2P)
UW Dresden Süd	Trafo TD1_1	380kV	LS	ausschalten	(2P)
UW Dresden Süd	Trafo TD1_1	380kV	SS1-Tr	öffnen	(2P)
UW Dresden Süd	Trafo TD1_1	110kV	SS1-Tr	öffnen	(2P)

Abbildung 14: Beispiel Prüfungsaufgabe Wissensstufe 4

4.4.2. Mündliche Prüfung

Bei der mündlichen Prüfung müssen die Trainierenden einzeln, paarweise oder in Gruppen in einer Art Kolloquium ihren Lernnachweis erbringen. Der Vorteil dabei ist die individuelle Prüfung des Einzelnen, bei der gezielt auf die Stärken und Schwächen eingegangen werden kann. Bezogen auf die Schulung der „Netzbetriebsführung“ kann bei dieser Prüfungsvariante die Befähigung, die Schaltsprache richtig anzuwenden, geprüft werden. Bei der Einzelprüfung übernimmt dabei der Prüfende einen Gesprächspartner des Schaltgesprächs. Bei einer Paarweisen Prüfung, bietet es sich an, dass die Trainierenden untereinander ein Schaltgespräch führen. Die Wissensstufe 1 und 2 können über ein Frage-Antwort Verfahren überprüft werden. Dabei kann nach Belieben auf einzelne Themen detailliert eingegangen werden.

Die Herausforderung bei der mündlichen Prüfung besteht darin, die Qualitätsmerkmale der Objektivität und Ökonomie einzuhalten. Bei der Einzelprüfung lässt sich bei einem großen Teilnehmerfeld die Erbringung des Lernnachweises nur selten ökonomisch realisieren, da der Zeitaufwand zu hoch ist. Dafür kann leichter die Objektivität gewahrt werden, indem im einfachsten Fall bei allen Trainierenden die gleichen Themen abgefragt werden. Bei der Paarweisen oder Gruppenprüfung verhält es sich genau anders herum. Hier wird in Summe weniger Zeit für den Einzelnen aufgewendet, was den Lernnachweis zunehmend ökonomisch macht. Allerdings können die Trainierenden nicht vollumfänglich dieselben Fragestellungen bearbeiten, wodurch sich der Einzelne ungerecht behandelt fühlen kann. Hierbei ist wichtig, dass der Lehrende aus einem Fragepool mit ähnlichem Schwierigkeitsgrad zurückgreifen und die Punktevergabe nachvollziehbar darlegen kann.

4.4.3. Kombination aus schriftlicher und mündlicher Prüfung

Bei dieser Prüfungsvariante werden die Vorteile der schriftlichen und mündlichen Prüfung verknüpft. Die Wissensstufe 1 und 2 können via Multiple Choice Test und Definitionsaufgaben überprüft werden. Vorbereitend auf den mündlichen Teil, können die Trainierenden dabei eine komplexe Schaltaufgabe bearbeiten. Eine Paarweise Prüfung ist dabei empfehlenswert, da so die Schaltaufgabe zwischen den Trainierenden in einem Schaltinformationsgespräch besprochen werden kann. Am Ende wird die richtige Schaltsprache durch das Schaltgespräch überprüft.

Durch diese Kombination lässt sich auf der einen Seite die Problematik der Folgefehler bei der rein schriftlichen Prüfung und auf der anderen Seite die Objektivitätseinbußen und der Zeitaufwand der rein mündlichen Prüfung minimieren.

5. Aufbau und funktionale Beschreibung des Simulationssystems

Um die in Kapitel 4 erarbeiteten Lehrinhalte trainieren zu können, ist ein Simulationssystem nötig, welches ein betriebsrealistisches Netzabbild mit realitätsnahen Leistungsflüssen zyklisch berechnet und in einer Leittechniksoftware darstellen kann. Weiterhin sind Tools notwendig, die den Lehrenden bei der Vor- und Nachbereitung sowie für den eigentlichen Schulungsbetrieb unterstützen. Dazu wurde an der BTU Cottbus-Senftenberg der „Power System Simulator“ entwickelt, an dem der Autor maßgeblich mitgewirkt hat. In diesem Kapitel wird dieses Simulationssystem beschrieben. Dabei werden in prägnanter Form das Hardwarekonzept und die verwendete Software erläutert, wobei hauptsächlich schulungsrelevante Funktionen beschrieben werden. Eigens für die Schulung entwickelte Tools, welche vor, während und/oder nach der jeweiligen Schulungseinheit Anwendung finden, werden gesondert beschrieben. Die Erzeugermodelle, als essenzielle Komponenten der Simulation, die das Systemverhalten beeinflussen, werden in einem separaten Unterkapitel erläutert.

5.1. Die Software

Der Netzsimulator besteht im Wesentlichen aus zwei komplexen Softwareprogrammen: der Netzberechnungssoftware PowerFactory der Firma DigSILENT sowie dem Leitsystem PRINS der Firma BTC AG. Über geeignete Schnittstellen kommunizieren diese beiden Programme miteinander. Abbildung 15 zeigt das Zusammenspiel von PowerFactory und PRINS. Auf der PRINS Seite ist der Dialogrechner die Schnittstelle mit dem Bediener. Hier wird das Datenmodell erweitert und gepflegt, Trainingssitzungen vorbereitet z.B. durch das Anlegen konkreter Schaltzustände und Schaltfolgen, sowie Simulationen gestartet und Bedienaktionen durchgeführt. Die Dialogrechner greifen dabei auf einen Onlinerechner zu, welcher das Datenmodell beinhaltet und sämtliche eingehenden Signale von PowerFactory, sowie die ausgehenden Signale aus den Dialogrechnern, wie z.B. Schaltzustandsänderungen verarbeitet. Außerdem bekommt der Onlinerechner Daten vom sogenannten EMS-Server-HEO. Dieser beinhaltet die HEO-Funktionen (Höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen). Diese Funktionen unterstützen den Betriebsführer bei der Überwachung seines Netzes. Schlussendlich werden alle ausgehenden Daten aus PRINS in einem weiteren EMS-Server-Train verarbeitet. Dieser erhält zusätzlich die Fahrpläne aller Einspeiser und Verbraucher in Form von Ganglinien. Über speziell für die Kommunikation zwischen PRINS und PowerFactory konfigurierten Schnittstellen werden die Daten vom EMS-Server-Train dem PowerFactory Simulationskern übergeben. Über eine OPC Schnittstelle werden sämtliche Prozessvariablen wie Messwerte, Sollwerte und Meldungen übergeben. OPC steht für Open Platform Communications (ursprünglich OLE (object linking and embedding) for Process Control) und ist der Kompatibilitätsstandard für den

sicheren und zuverlässigen Datenaustausch im industriellen Automatisierungsraum und in anderen Branchen. [21] Alle weiteren Daten, wie das Netzmodell und deren Topologie werden über eine DGS Schnittstelle übermittelt. DGS steht dabei für DigSILENT-GIS-SCADA und ist eine „bidirektionale Standardschnittstelle von PowerFactory, die speziell für den Austausch von großen Datenmengen mit anderen Systemen, wie z.B. GIS und SCADA, für den Export von Berechnungsergebnissen, [...] sowie für den Austausch mit anderen Netzberechnungsprogrammen entwickelt wurde“. [8] Der PowerFactory Kern berechnet dann über eine RMS (Root Mean Square) Simulation aus den Eingangsgrößen die resultierenden Ausgangsgrößen und übergibt sie an den Onlinerechner, sodass sich der Kreis schließt.

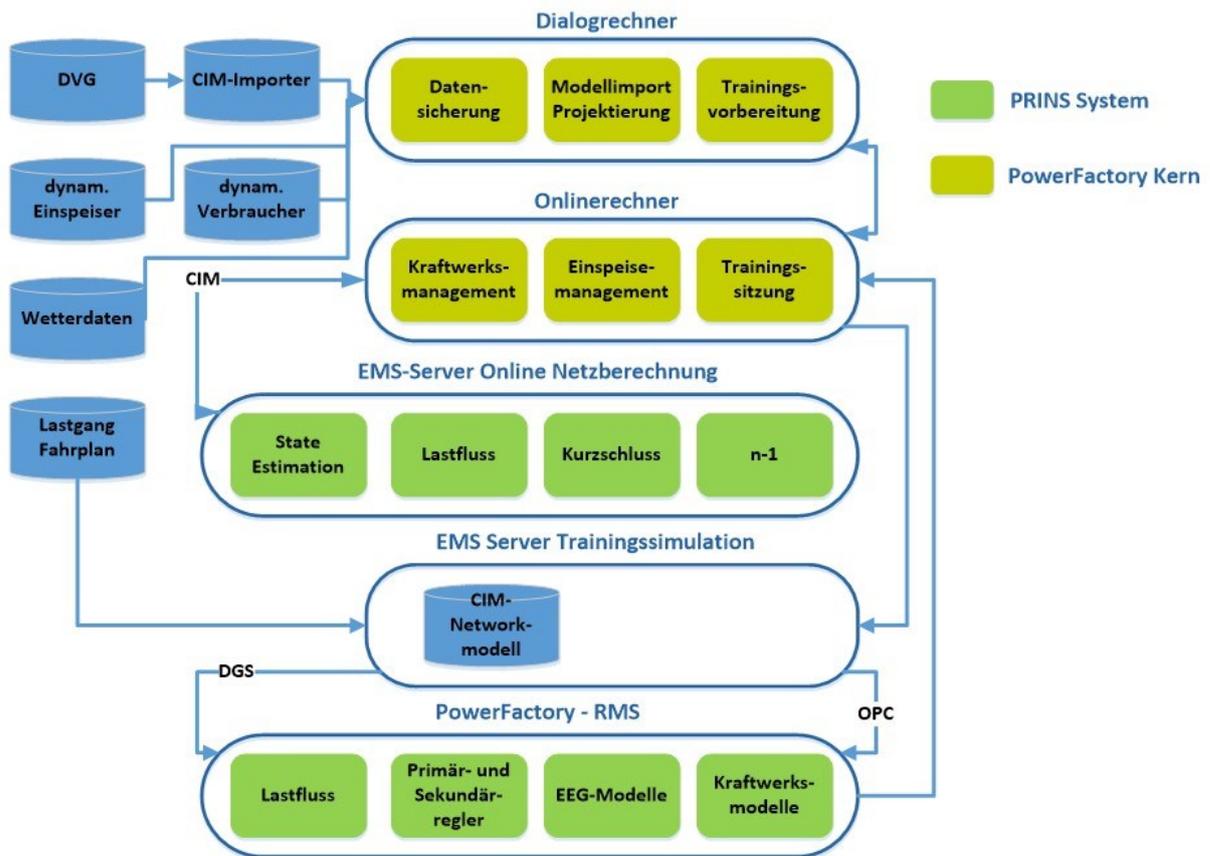


Abbildung 15: Zusammenspiel zwischen PowerFactory und PRINS

Während des Schulungsbetriebes sowie bei der Vor- und Nachbereitung durch den Lehrenden stellt der Berechnungskern eine Blackbox für alle am Schulungsbetrieb teilnehmenden Personen dar. Aus diesem Grund soll nicht näher auf die Funktionen von PowerFactory eingegangen werden. Entscheidend sind die Bedienkonzepte und Interaktionsmöglichkeiten mit der Leittechniksoftware PRINS, auf die in folgendem Kapitel detailliert eingegangen wird.

5.1.1. PRINS

Die Software „PRINS“ von der BTC AG ist ein vollumfängliches Leitsystem wie es auch in der Realität Anwendung findet. Es dient der interaktiven Netzsteuerung und Prozessvisualisierung der durch das modulare Berechnungssystem ermittelten Ergebnisse. Demzufolge werden keine realen Messwerte an die Hardwarestation in PRINS übermittelt, sondern die Ergebnisse der Leistungsflussberechnung aus PowerFactory werden via OPC Schnittstelle an die jeweilige Prozessvariable übergeben. Nachfolgend werden grundlegende wichtige Funktionen sowie Bedienphilosophien aufgezeigt. Auf spezielle, für den Schulungsbetrieb entwickelte Tools, wird in Kapitel 5.4 näher eingegangen. Selbstverständlich bietet das Leitsystem sämtliche Überwachungs- und Regelfunktionen, die ein Netzbetriebsführer benötigt, um einen sicheren Netzbetrieb zu gewährleisten. Eine Auswahl der wichtigsten Funktionalitäten wird in Folgendem kurz erläutert:

Topologiedarstellung

Grundlegend bietet PRINS zwei verschiedene Möglichkeiten der Topologiedarstellung: die Weltbilddarstellung und die Anlagenbilddarstellung. Erstere arbeitet mit verschiedenen Zoomstufen. Auf jeder dieser Stufen werden zusätzliche Informationen eingeblendet oder auch ausgeblendet. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt vor allem in der Pflege des Systems. Werden neue Leitungen oder gar ganze Umspannwerke implementiert, so müssen diese lediglich in einem Weltbild hinzugefügt werden. Für den Betriebsführer bietet diese Darstellung eine gute Übersicht über das gesamte Netz. Auch wird eine räumliche Vorstellung begünstigt. Allerdings kann ein Trainierender, der bis dahin noch nie an einem Leitsystem gearbeitet hat, schnell von der Fülle an Informationen überfordert werden. Weiterhin ist eine visuelle Abgrenzung verschiedener Betriebsbereiche nicht ohne weiteres umsetzbar. Das heißt, wenn verschiedene Gruppen jeweils nur für einen Teil des Gesamtnetzes netzleittechnisch verantwortlich sein sollen, ohne die anderen Teilnetze visuell wahrzunehmen, ist dies nur mit erhöhtem Aufwand möglich. Abbildung 16 zeigt ein kleines Netz in der Weltbilddarstellung. Das obere Bild zeigt die minimale Zoomstufe, d.h. die größtmögliche Weitsicht. Auf dem unteren Bild wurde eine größere Zoomstufe gewählt, um weitere Information (z.B. Messwerte) zu erhalten.

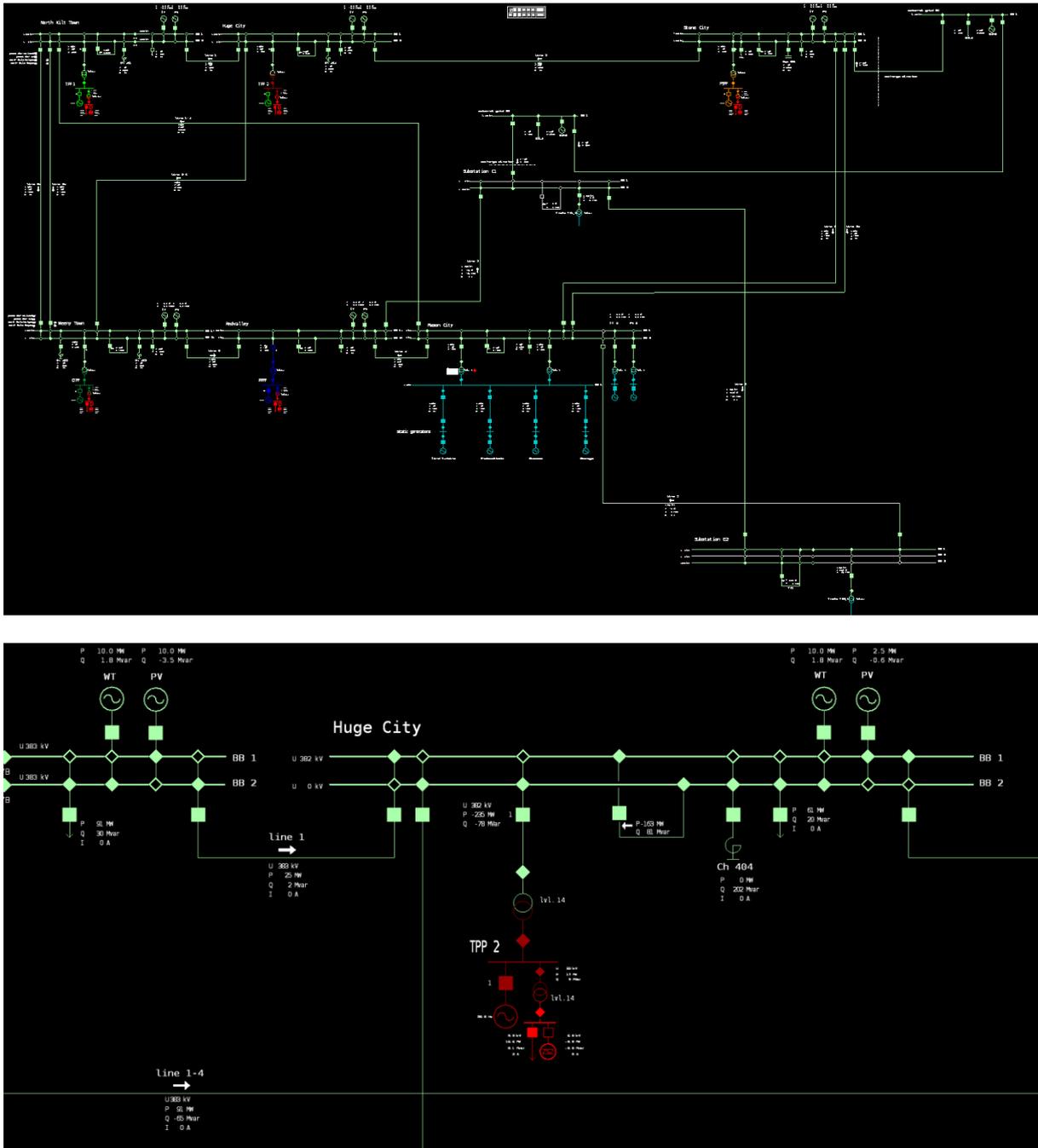


Abbildung 16: Weltbildarstellung mit minimaler Zoomstufe (oben) und großer Zoomstufe (unten)

Bei der Anlagenbilddarstellung wird pro Anlage bzw. Umspannwerk ein separates Anlagenbild erstellt. Mittels Bildsprungmarken ist es möglich, sich innerhalb des Netzes zu bewegen. Zusätzlich kann es auch pro Leitung und/oder Transformator eigene Bilder geben. Der Vorteil bei dieser Bilddarstellung ist die Übersichtlichkeit der einzelnen Anlagen. Durch mehrere Monitore ist auch das Monitoring von kleinen Netzgebieten möglich. Auch ist die Erstellung von Übersichtsbildern z.B. ein Überblick über alle in dem Netzgebiet befindlichen EE Anlagen, intuitiver. Der Nachteil liegt in der Systempflege, da meistens dieselben Topologieelemente in unterschiedlichen Bildern vorhanden sind. Abbildung 17 zeigt beispielhaft ein Umspannwerksbild.

Die Sprungmarken zu den jeweiligen Anlagenbildern befinden sich in diesem Fall an den Namensbezeichnungen.

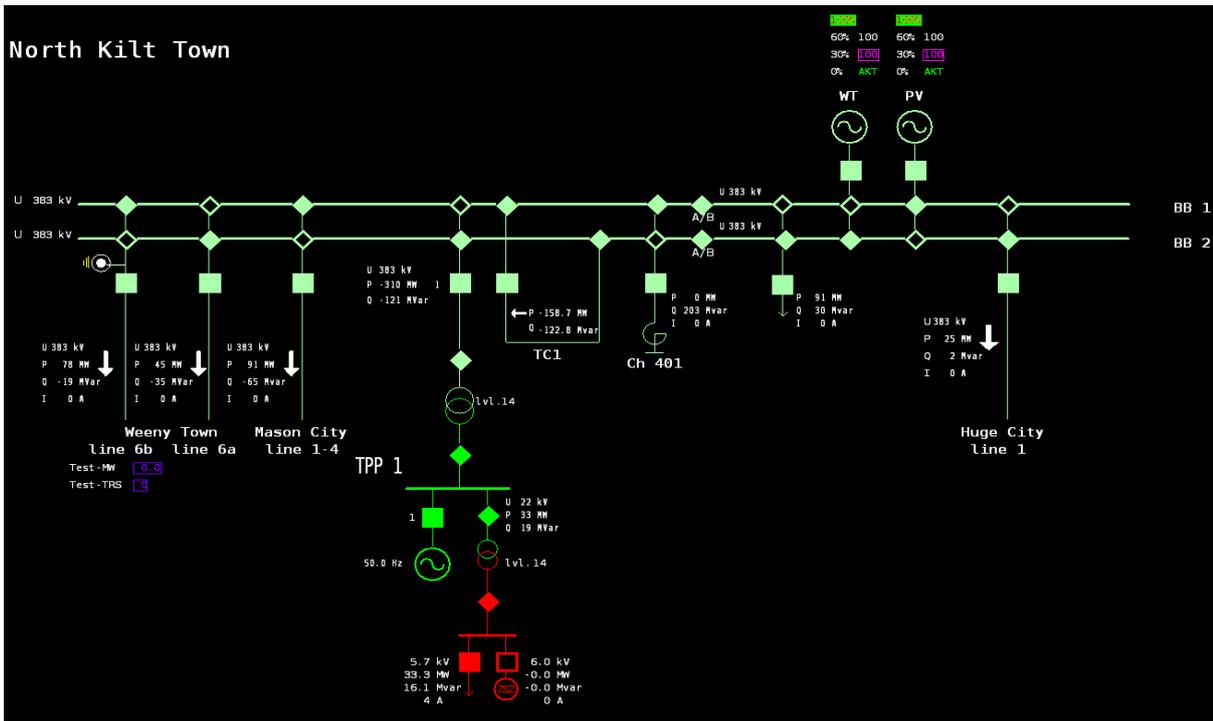


Abbildung 17: Anlagenbildarstellung mit einem Umspannungsbild

In Abbildung 16 und Abbildung 17 wird auch das Visualisierungskonzept inklusive der Farb- und Symboldarstellung deutlich. In den Energieversorgungsunternehmen wird üblicherweise die Netztopologie in der Leittechnik als einphasiges Ersatzschaltbild dargestellt. Beispielsweise wird eine Freileitung im 3-phasigem Drehstromsystem lediglich einphasig mit den dazugehörigen Leistungs- und Trennschaltern visualisiert. Des Weiteren werden aus Gründen der Übersichtlichkeit keine Wandler sowie Überspannungsableiter dargestellt. Stattdessen werden die Messwerte an den jeweiligen Netzstellen projiziert. Welche Messwerte für die jeweiligen Betriebsmittel dargestellt werden, zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 10: Dargestellte Messwerte an den jeweiligen Betriebsmitteln

Betriebsmittel	Messwerte
Leitung	P, Q, I,
Sammelschiene	U
Kupplung	P, Q
Transformator	P, Q, I
Kompensationsanlagen	Q
Konventionelle Kraftwerke	P, Q, U _{gen} , U _{Netz} , n, f, P _{PRL} , P _{SRL} Optional: K _{Temp1} , K _{Temp2} ,
EE Anlagen	P, Q, U _{Netz} , v, E _G
Parallelschaltgerät/Synchronisiergerät	ΔU , Δf , $\Delta \phi$
Verbraucher	P, Q

P	Ist-Wirkleistung	U_{gen}	Generatorspannung
Q	Ist-Blindleistung	U_{Netz}	Spannung am Netzanschlusspunkt
I	Ist-Stromstärke	n	Drehzahl
U	Ist-Spannung	f	Frequenz
P_{PRL}	Primärregelleistung	K_{Temp1}	Temperatur Kessel 1
P_{SRL}	Sekundärregelleistung	K_{Temp2}	Temperatur Kessel 2
v	Windgeschwindigkeit	E_G	Globalstrahlung
Δf	Frequenzabweichung	$\Delta\varphi$	Winkelabweichung

Für die Visualisierung der Betriebsmittel werden branchenübliche Symboliken verwendet. Diese sind im Folgenden dargestellt:

Tabelle 11: Symboldarstellung der Betriebsmittel

Symbol	Betriebsmittel
	Leistungsschalter eingeschaltet (links), ausgeschaltet (rechts)
	Trennschalter geschlossen (links), geöffnet (rechts)
	Abnehmer/Verbraucher
	Drossel
	Eigenbedarf
	Einspeiser
	Freileitung/Kabel
	Notstromaggregat
	Sammelschiene
	Spartransformator
	Dreiwicklungstransformator
	Zweiwicklungstransformator

In der Weltbildarstellung (Abbildung 16) ist zu erkennen, dass es sich um eine spannungsebenen bezogene Einfärbung handelt, wobei grün der 380-kV-Spannungsebene entspricht und türkis der 110-kV-Spannungsebene. Alternativ existieren die auslastungsgradabhängige Einfärbung und die teilnetzbezogene Einfärbung.

Tagebuch und Alarmlisten

Jeder Arbeitsplatz hat ein spezifisches Login, bestehend aus Nutzernamen und Kennwort, um sich in der Leittechniksoftware anzumelden. Schalthandlungen, Markierungen oder sonstige Aktivitäten, die mit Topologieelementen und/oder Meldungen (Schalter) zusammenhängen,

werden im Tagebuch protokolliert. Somit kann nachverfolgt werden, welcher Trainierende welche Schalthandlungen vorgenommen hat. Da dies schnell unübersichtlich werden kann, wurden eigens für den Schulungsbetrieb Tools entwickelt, die eine Nachbereitung einer spezifischen Schulung vereinfacht (siehe Kapitel 5.4.3). Weiterhin werden sämtliche Schutzanregungen und Grenzwertverletzungen im Tagebuch protokolliert. Mittels Sammelmeldungen können diese visuell dargestellt werden z.B. durch Blinken. Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt aus dem Tagebuch, bei dem mehrere Arbeitsplätze Schalthandlungen vorgenommen haben.

R	Time	Confirmation time	ACK	Type	A	B	Text	User	K
*	13:41:30		ACK	SVS	G	X	No watch dog command defined		
*	13:18:23		ACK	HEU	G	UEB	URZ Redvalley W 22 H2 G_ E1_G2 delta_f _ RGU-CONE 99.002 Hz		
*	13:18:24		ACK	HEU	G	UEB	URZ Stone City V 22 H2 G_ R1_G delta_f _ RGU-CONE 99.002 Hz		
*	13:22:47		ACK	HEU	G	UEB	URZ Weeny Town 22 H2 G_ B5_G2 delta_f _ RGU-CONE 50.236 Hz		
*	13:35:32		ACK	HEU	G	UEB	URZ North Kilt Town V - 22 H2 G_ G7_G2 delta_f _ RGU-CONE 50.075 Hz		
*	13:53:13		A-	IND	L	UEB	URZ North Kilt Town -380 C_ L_ L6b Schutzausl. _ kommand		
*	13:53:13		A-	IND	L	UEB	URZ North Kilt Town -380 C_ L_ L6b Schutzanz. _ kommand		

Abbildung 18: Sammelmeldungen im Tagebuch

Verriegelungsbedingungen

Im Bereich der Schalthandlungen gibt es eine Vielzahl an Verriegelungsbedingungen, die sicherstellen sollen, dass nicht versehentlich Fehlschalthandlungen vorgenommen werden, die zur Beschädigung der Betriebsmittel, einem Versorgungsausfall oder einem Personenschaden führen. Diese lassen sich nur durch ausdrückliches Bestätigen des Bedieners umgehen. Dies ist z.B. nötig, wenn ein Teilnetz spannungslos geschaltet werden muss, um Reparaturarbeiten an einem Betriebsmittel vorzunehmen oder bei einem Defekt eines Betriebsmittels. Abbildung 19 zeigt eine Verriegelungsbedingung die aktiv ist, wenn versucht wird, ein unter Last stehenden Trennschalter zu öffnen.

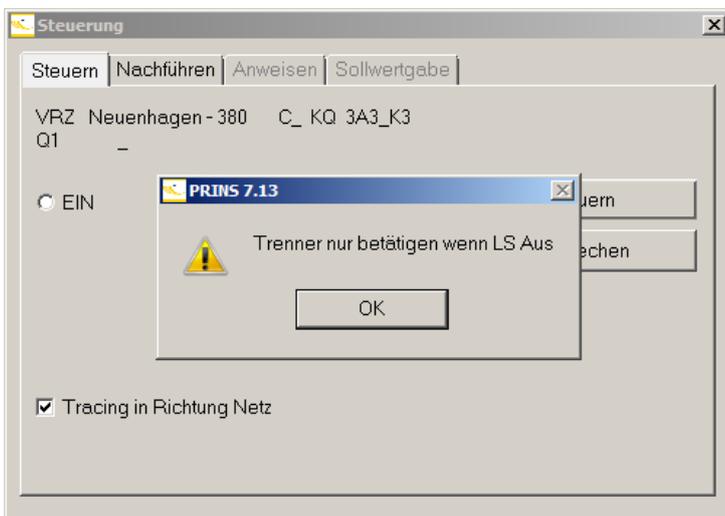


Abbildung 19: Beispiel einer Verriegelungsbedingung

Einspeisemanagement

Das Einspeisemanagement unterstützt das Betriebsführungspersonal in der Netzleitstelle bei Maßnahmen zur Leistungsregelung von EE Anlagen zur Aufrechterhaltung der Netzsicherheit. Damit lassen sich notwendige Maßnahmen zum Systemsicherheitsmanagement (SSM), Netzsicherheitsmanagement (NSM) und Trafosicherheitsmanagement (TSM) planen, ausführen und dokumentieren. Das SSM übernimmt die Abregelung von Einspeisungen zur Erhaltung der Systemstabilität bei zu hoher Einspeiseleistung. Das NSM beinhaltet die Kompensierung fehlender Netzkapazitäten, um Überlastungen im Netz zu verhindern (z.B. bei Störsituationen, Netzengpässen). Das TSM dient der Verhinderung von Überlastungen von Transformatoren bei Instandhaltungsmaßnahmen oder der Beherrschung von kurzzeitigen Überlastsituationen. Abbildung 20 zeigt beispielhaft einen Absenkdiallog des SSM. Als Absenkziel werden 20 MW gewählt, woraufhin das Tool drei EE Anlagen identifiziert, die abgesenkt werden müssen, um die geforderten 20 MW Einspeiseleistung zu reduzieren.

Off.	Sug.	R...	Anlage	S...	N...	OD	Cat	Prio	RL-Cur	P-Targ	RL-Targ	P-Delta	NumR	DurR
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Stone City - 380	C	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	10.0	7	624:33
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	North Kilt Town -380	C	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	10.0	7	624:33
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Redvalley - 380	C	G	UEB	WEA	3	100%	6.0	60%	4.0	3	2288:11
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City Nord - 110	E	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	10.0	1	5293:50
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City Zentrum-110	E	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	4.4	2	5293:51
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Weeny Town 380	C	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	10.0	2	5918:14
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Huge City -380	C	G	UEB	WEA	3	100%	0.0	0%	10.0	2	5918:14
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Redvalley - 380	C	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	11.5	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Weeny Town 380	C	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	13.0	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Stone City - 380	C	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	7.0	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Huge City -380	C	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	2.5	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City Mitte - 110	E	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	11.5	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City West - 110	E	G	UEB	STOR	3	100%	0.0	0%	0.0	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City Süd - 110	E	G	UEB	BIO	3	100%	0.0	0%	0.0	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	Mason City Ost - 110	E	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	5.0	1	0:01
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UR2	North Kilt Town -380	C	G	UEB	PU	3	100%	0.0	0%	10.0	3	0:03

Action suggestion

Power target size [MW]: Current target size:

Limit: Rated voltage [kV]:

Priority Duration of reduction

P-Con (all): P-Con: P-Cur (all): P-Cur:

Estimated change of power: Assumed power change rate:

Abbildung 20: Absenkdiallog SSM

Ausgangsschaltzustände

Neben den oben genannten Funktionalitäten, die hauptsächlich der Visualisierung und Beobachtung während und nach einer Schulung dienen, gibt es auch wichtige Tools, um bestimmte Szenarien vorzubereiten. Eines der wichtigsten ist dabei die Möglichkeit, spezifische Schaltzustände zu speichern und zu laden. Ein Ausgangsmodell beinhaltet das Netzmodell

mit seiner Topologie und der Schalterstellung. Weiterhin ist der Initialzustand aller Einspeisungen definiert. Somit lässt sich zum einen vor Schulungsbeginn eine konkrete Übungsaufgabe definieren, als auch während der Schulung zu der Ausgangssituation zurückkehren, um eine gemeinsame Auswertung vorzunehmen. Es können bis zu 50 Ausgangsmodelle gespeichert werden. Abbildung 21 zeigt den Anwahldialog der Ausgangsschaltzustände.

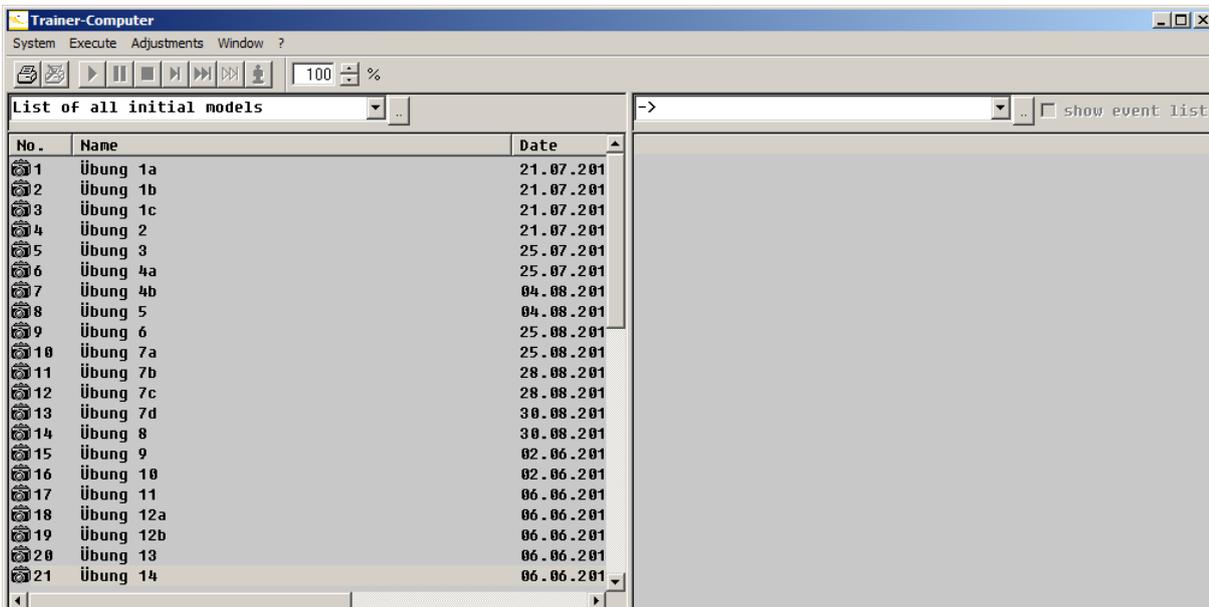


Abbildung 21: Anwahldialog Ausgangsschaltzustände

Einen ähnlichen Zweck erfüllt auch die zyklische und Ereignis getriggerte Abspeicherung von Systemabbildern (siehe Kapitel 5.4.3). Nähere Erläuterungen zur Erstellung von Szenarien als Vorbereitung auf eine Schulung sind in Kapitel 6.2 beschrieben.

Schaltfolgen

Mit der Hilfe von Schaltfolgen können komplexe Szenarien erstellt werden, welche automatisch ablaufen und so den Lehrenden entlasten. So kann beispielsweise eine Windfront nachgebildet werden, die im Laufe der Zeit für Schutzauslösungen sorgt. Während die Trainierenden die Netzstabilität gewährleisten, kann der Lehrende sie beobachten oder die Situation durch manuelle Schalthandlungen verschärfen bzw. entlasten. Die Schaltfolgen können bei Bedarf im Zeitraffer abgespielt werden. Abbildung 22 zeigt eine solche Schaltfolge, bei der nach und nach die Einspeiseleistung von Windenergieanlagen erhöht wird.

Nr.	Name	Nr.	Typ	Name	Richtung	Zeit
1	EEG - Anstieg Windeinspeisung	221	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 0
2	EEG - Weiterer Anstieg Wind	222	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
3		223	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
4		224	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
5		225	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
6		226	MW	URZ Preilack H - 110	E_ G TC3_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
7		227	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
8	EEG - Anstieg 1min	228	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
9		229	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
10		230	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
11	EEG - 1.Block	231	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
12	EEG - 2.Block	232	MW	URZ 1C6_H	E_ G TC6_1_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
13	EEG - 3.Block	233	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
14	EEG - 4.Block	234	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
15	EEG - 5min	235	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
16		236	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 5
17		237	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 2 5
18	EEG - zurück	238	MW	URZ Schmölln - 110	E_ G TC4_2_WEA	lok. Skal. Fak _ 2 5
19		239	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 10
20		240	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 15
21	Wind - 22.08. Anstieg	241	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 15
22	Ende - Zusammenbruch bei Starkwind	242	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 1 15
23		243	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 2 15
24		244	MW	URZ Neuenhagen - 110	E_ G TA3_4_WEA	lok. Skal. Fak _ 2 15
25	Wind - 22.08. zurück					
26	EDL - Erdschluss					
27						
28	Sturm - Kyrill					
29	Sturm - Kyrill zurück					
30	EEG - Zuschaltung 2015					
31						
32						

Abbildung 22: Schaltfolgen

Schalterzustandswarnung

Für die Vorbereitung von Szenarien muss immer ein entsprechender Schaltzustand des gesamten Netzes definiert werden. Je komplexer das Szenario, desto mehr potenzielle Schalter müssen geschaltet werden. Damit es dabei nicht zu irregulären Schalterzuständen kommt, wie z.B. ein Schließen einer Trennerbrücke, kann die Funktion der Schalterzustandswarnung genutzt werden. Diese analysiert das gesamte Netz auf solche Unstimmigkeiten und erzeugt eine Liste mit den identifizierten Schaltern, die nicht korrekt geschaltet sind. Abbildung 23 zeigt eine solche Liste.

Schaltzustands-Plausibilisierung

Übersicht:
Prüfung vom: 13.06.2019 / 10:50:46

Bereich	Feld	Begebenheit
RWE	VRZ Wolmirstedt - 380	C_ KQ 3F3_K3
RMI	VRZ Wustermark - 380	C_ L L21
		LS ohne KuTr
		LS ohne SSTR

Abbildung 23: Schalterzustandswarnung

5.2. Das Hardwarekonzept

Die installierte Hardware orientiert sich zum einen an den Spezifikationen des Schulungsraumes, die die Anzahl der Arbeitsplätze mit der entsprechenden Anzahl an Monitoren beinhaltet. Zum anderen benötigt die Infrastruktur der Simulationssoftware eine vom Softwarehersteller spezifizierte Anzahl an Servern. Im Endausbau sind drei Administrator- und Projektierungsplätze in einem separat abgesetzten Raum, sowie zwei Lehrerplätze und neun Trainierenden Plätze im Schulungsraum realisiert worden. An jedem Arbeitsplatz befindet sich ein Dialogrechner, welcher die Funktion der Betriebsführung und der Visualisierung des Netzabbildes übernimmt. Jedem Arbeitsplatz stehen sechs Bildschirme, jeweils in einer 2x3 Anordnung, zur Visualisierung zur Verfügung. Zwei Beamer bieten die Möglichkeit, die Bildschirminhalte eines jeden Arbeitsplatzes an jeweils eine Leinwand zu projizieren. Abbildung 24 zeigt die Raumeinteilung des Schulungsraums. Die für die Simulationssoftware benötigten Server wurden in den Hausanschlussraum des Bürokomplexes installiert, um die Geräuschkulisse im Schulungsraum zu minimieren. In diesem befinden sich in Summe sechs Server: zwei Online Rechner, welche die Funktion der Prozessdatenverarbeitung übernehmen. Jeder Online Rechner enthält ein Datenmodell, auf das von jedem Dialogrechner aus zugegriffen werden kann. Der Zugriff und auch die Bearbeitung dieser Datenmodelle können parallel erfolgen. Dadurch ist es möglich, eine Schulung durchzuführen, während gleichzeitig ein anderes Datenmodell weiterentwickelt wird. Des Weiteren gibt es für jeden dieser Online Rechner einen Hyper-V Host Rechner welcher jeweils einen Datenbank Server, einen Daten Server und ein Active Directory enthält. Hinzu kommt ein EMS-Train-Server, welcher die Rechenergebnisse aus PowerFactory an das PRINS Leitsystem übergibt. In dieser Weise werden auch Sollwertvorgaben aus PRINS an PowerFactory übermittelt. Zu beachten ist, dass ein paralleler Simulationsbetrieb mit den Netzmodellen der beiden Online Rechner nicht möglich ist. Als letztes beinhaltet der EMS-HEO Server alle HEO Funktionalitäten, die dem Betriebsführer während der Betriebsführung zur Verfügung stehen.

Ergänzend zu der Hardware, welche für die Funktionalitäten des Simulators benötigt werden, wurde ein VPN Zugang eingerichtet, welcher der Fernwartung durch die BTC AG dient. Die schematische Darstellung der Konfiguration des Leitsystems ist in Abbildung 25 dargestellt.

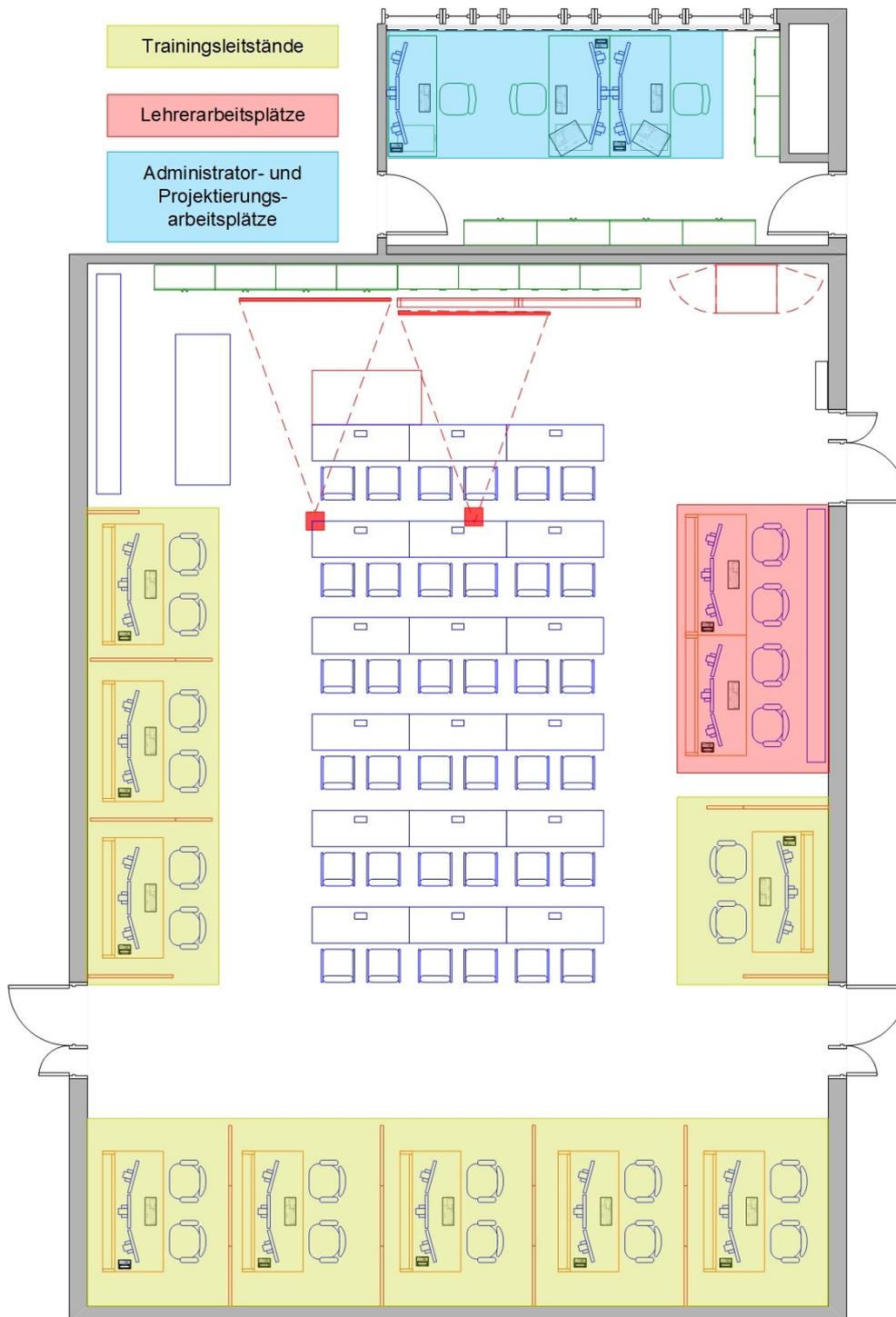


Abbildung 24: Raumeinteilung des Schulungsraumes im Energietechnikzentrum der BTU C-S

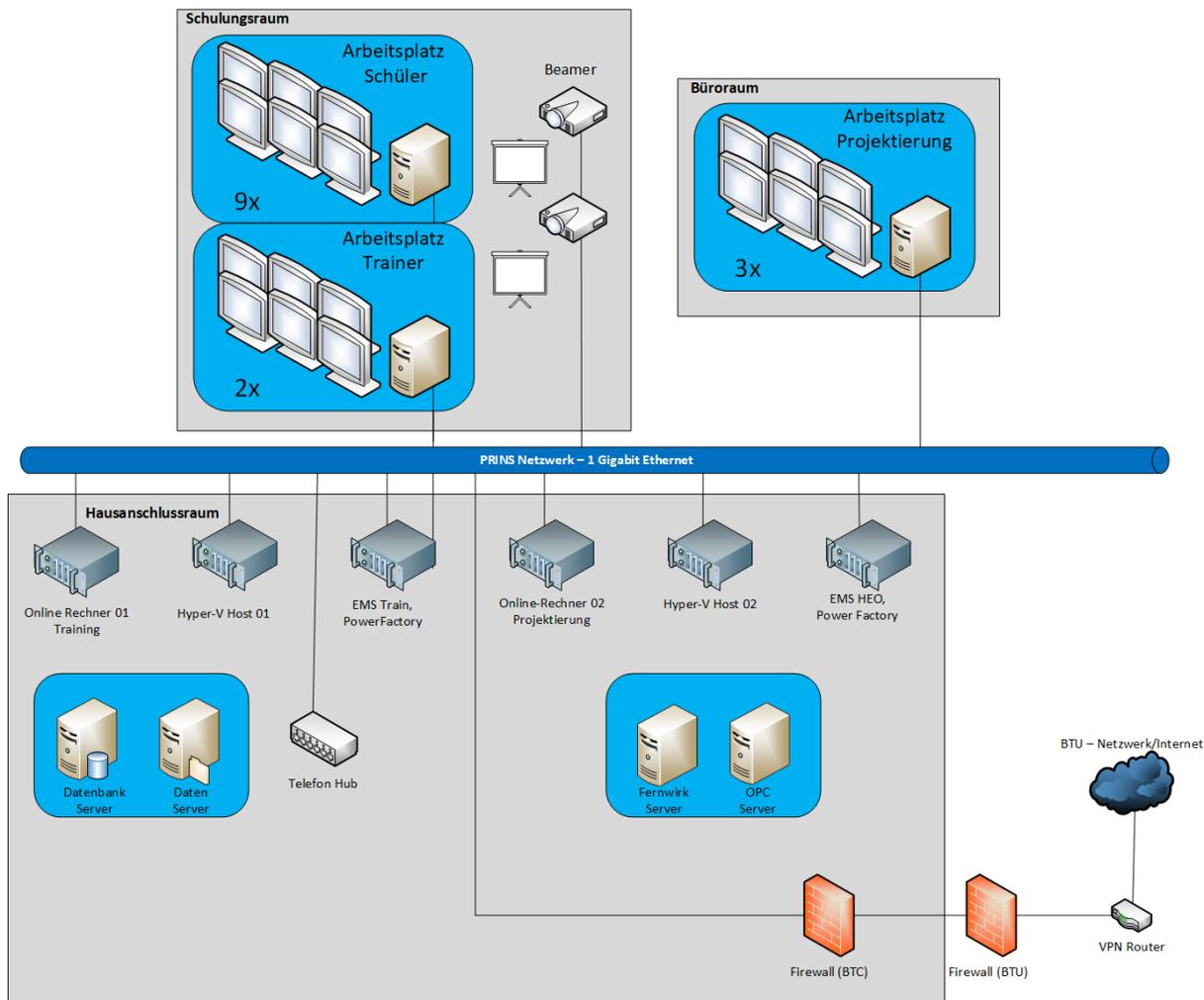


Abbildung 25: Konfiguration des Leitsystems

5.3. Erzeugermodelle

Um einen Großteil der in der Realität vorhandenen Einspeiser Typen abzudecken, sind im Simulationssystem folgende Kraftwerkstypen mit den entsprechenden Modellen hinterlegt:

Kraftwerkstyp	Kraftwerksmodell
Braunkohlekraftwerk	Thermisches Kraftwerk
Steinkohlekraftwerk	
Kernkraftwerk	
Gaskraftwerk	
Ölkraftwerk	
Gasturbinenkraftwerk	Gasturbinenkraftwerk
Laufwasserkraftwerk	Laufwasserkraftwerk
Pumpspeicherkraftwerk	Pumpspeicherkraftwerk

Hinzu kommen folgende Modelle für Erneuerbare-Energie-Anlagen:

EE-Anlagen	EE-Modell
Windenergieanlagen	Windenergieeinspeisung
Photovoltaikanlagen	Photovoltaikeinspeisung
Biomassekraftwerk	Biomasseverstromung

Außerdem gibt es ein Speichermodell, welches je nach Betriebszustand das Betriebsverhalten einer Einspeisung oder eines Verbrauchers nachbildet.

Bei den Kraftwerksmodellen steht nicht die Nachbildung des thermodynamischen Prozesses im Vordergrund. Vielmehr werden die Prozessreaktionen, bestehend aus der Grenzwertüberwachung, dem Abfahren von Ganglinien sowie der Parameteranpassung abgebildet. Unter der Einbeziehung von Leistungsgradienten, An- und Abfahrzeiten sowie Leistungsgrenzen, werden elektrische Ausgangsgrößen, die für das Netzbetriebspersonal von Bedeutung sind, simuliert und ausgegeben.

Die EE-Modelle beschränken sich im Wesentlichen auf das Abfahren von Ganglinien unter der Berücksichtigung von anlagenspezifischen Grenzwerten. Im Folgenden wird auf die Bedienung der Kraftwerksblöcke in der Leittechniksoftware eingegangen.

5.3.1. Thermisches Kraftwerksmodell

Das thermische Kraftwerksmodell ist als Zwei-Kessel-Modell hinterlegt. Ein Ein-Kessel-Kraftwerk wird zur Vereinfachung so betrieben, dass es seine maximal abgegebene Generatorwirkleistung ohne Aktivierung eines zweiten Kessels erbringen kann. Abbildung 26 zeigt ein Kraftwerksblock Übersichtsbild, an dem alle für den Betriebsführer relevanten Steuermeldungen projiziert sind. Weiterhin ist die allgemeine Topologie eines Kraftwerksblockes mit seinem Eigenbedarf und einer Fremdnetzeinspeisung zu sehen. Auch alle weiteren konventionellen Kraftwerke unterliegen dieser Topologie.

ter geöffnet. Der Eigenbedarf steigt nun linear mit dem Anfahren des Kraftwerkes an. Der Kessel kann dabei einen Temperaturwert zwischen 0% (= Zustand kalt) und 100% (= Zustand heiß) einnehmen. Der maximale Wert des Eigenbedarfs ist dann erreicht, wenn das Kraftwerk bzw. der Kessel den Zustand heiß erreicht hat. Sobald dieser Kesselzustand erreicht wird, kann die Turbine gestartet werden. Dabei hat der Betriebsführer die Wahl, ob er die Turbine manuell startet oder sie im Rahmen der Startsequenz automatisch starten lässt (10). Sobald die Nenndrehzahl der Turbine erreicht ist, ist der Kraftwerksblock zuschaltbereit. In diesem Betriebszustand ist der Drehzahlregler aktiv. Wird das Kraftwerk in diesem Zustand oder im Inselbetrieb nicht innerhalb einer Vorhaltezeit mit dem Übertragungsnetz synchronisiert und auf Mindestlast gebracht, startet automatisch eine Abfahrsequenz. Diese Synchronisierung erfolgt über ein Parallelschaltgerät (4). Bei Netzsynchroisation fährt das Kraftwerk automatisch auf die Leistung der Mindestlast hoch.

Verfügt das thermische Kraftwerk über einen zweiten Kessel, kann dieser analog zu dem ersten Kessel betrieben werden. Die Zuschaltung des zweiten Kessels erfolgt zwingend durch eine manuelle Anforderung durch den Bediener (11). Sobald der zweite Kessel angefordert wurde, seine Betriebstemperatur erreicht und die angeforderte Leistung über dem Leistungsvermögen des Ein-Kessel-Betriebes liegt, geht der zweite Kessel in Betrieb.

Weiterhin ist ersichtlich, dass im thermischen Kraftwerksmodell auch Schutzfunktionen hinterlegt sind (12). Der Generator- und Turbinenschutz verfügt über folgende Funktionen:

Über-/Unterdrehzahlschutz: Der Generatorleistungsschalter wird automatisch und unverzögert ausgeschaltet, sobald die Turbinendrehzahl einen fest einstellbaren Maximalwert/Minimalwert über-/unterschreitet. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit einen weiteren Grenzwert mit verzögerter Schutzauslösung einzustellen.

Über-/Unterspannungsschutz: Der Generatorleistungsschalter wird automatisch und unverzögert ausgeschaltet, sobald die Generatorspannung einen fest einstellbaren Maximalwert/Minimalwert über-/unterschreitet. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit einen weiteren Grenzwert mit verzögerter Schutzauslösung einzustellen.

Rückleistungsschutz: Nimmt der Generator über einen festgelegten Zeitraum Leistung auf, so erfolgt eine automatische Trennung vom Netz.

Überlastschutz: Gibt der Generator über einen festgelegten Zeitraum erhöhte Leistung ab, so erfolgt eine automatische Trennung vom Netz.

Begrenzung Über-/Unterregung: Steigt die Erregerspannung zu weit an bzw. fällt zu weit, wird die Über-/Unterregungsbegrenzung aktiviert und die Erregerspannung wird begrenzt.

Alle weiteren konventionellen Kraftwerkstypen besitzen äquivalente Übersichtsbilder. Die Unterschiede liegen hauptsächlich bei der Anwahl der Blockzustände, da beispielsweise ein Pumpspeicherkraftwerk sowohl in den Turbinen- als auch Motorbetrieb gefahren werden kann.

5.3.2. Erneuerbare Energie Anlagen

Die Modelle der EE-Anlagen ähneln sich untereinander stark. In Abbildung 27 ist exemplarisch die leittechnische Darstellung einer Photovoltaikanlage abgebildet. Vergleicht man diese Abbildung, mit den äquivalenten Darstellungen einer Windenergieanlage (Anhang 1) und Biomasseanlage (Anhang 2), so wird diese Ähnlichkeit deutlich.



Abbildung 27: Leittechnikbild Photovoltaik Anlage

Alle EE-Modelle können als Einzelanlage projiziert oder aber auch als eine Summe aus mehreren Anlagen implementiert werden. Werden mehrere Anlagen kumuliert, so wird für einen solchen Anlagenpark auch eine kumulierte Leistungskennlinie definiert. Weiterhin kann die Anzahl der Erzeugungseinheiten auch während einer laufenden Simulation variiert werden oder aber auch ein lokaler bzw. globaler Skalierungsfaktor manipuliert werden, welcher einen schnellen Ausbau von EE Anlagen simulieren soll (1).

Darüber hinaus können die Anlagen durch das Einspeisemanagement im Zuge von Netzsicherheitsmaßnahmen abgeregelt oder auch ganz abgeschaltet werden (2).

Ähnlich den konventionellen Kraftwerksmodellen, sind auch den EE Anlagen Schutzfunktionen hinterlegt (4). Entsprechend der Ausgestaltung des EEG in den vergangenen Jahren, gibt es für den Frequenzschutz folgende Varianten: Bei Überfrequenz erfolgt entweder eine unmittelbare Abschaltung der Anlage beim Überschreiten eines definierten Frequenzwertes, wie es bei Altanlagen typisch ist, oder aber es erfolgt eine frequenzabhängige Wirkleistungsreduzierung, welche ab einen definierten Grenzwert aktiviert wird. Bei einer Unterschreitung eines definierten Frequenzwertes erfolgt bei beiden Varianten eine direkte Abschaltung der Anlage. Weiterhin verfügt das Modell über einen Spannungsschutz, welcher die Anlage beim Über- bzw. Unterschreiten eines definierten Grenzwertes ausschaltet.

Die Blindleistungseinspeisung und Spannungsregelung kann bei allen Modellen gemäß VDE-AR-N 4120 nach folgenden Regelmodi erfolgen (5):

- Blindleistungs-Spannungskennlinie gemäß einer vorgegebenen Charakteristik
- Blindleistungs-Wirkleistungskennlinie gemäß einer vorgegebenen Charakteristik
- Vorgabe der Blindleistung
- Regelung des Leistungsfaktors $\cos \varphi = \text{konst.}$

5.4. Weitere Systemtools für den Schulungsbetrieb

Neben den zuvor genannten, für den Berechnungsalgorithmus nötigen Modellen, gibt es Tools, welche starke Werkzeuge für das Lehrpersonal darstellen, um ein teilnehmerstarkes Seminar durchführen, sowie vor- und nachbereiten zu können. Die wichtigsten Systemtools werden im Folgenden beschrieben.

5.4.1. Ganglinienverwaltung

Für die kontinuierliche RMS-Simulation ist es notwendig, allen Einspeisern und Verbrauchern eine Ganglinie zu hinterlegen. Je umfangreicher das Netzmodell ist, desto mehr Ganglinien müssen hinterlegt werden. Um eine Vielzahl an Ganglinien komfortable verwalten zu können, wurde eigens für das Simulationssystem eine Ganglinienverwaltung entwickelt, dessen Bedienoberfläche in Abbildung 28 zu sehen ist.

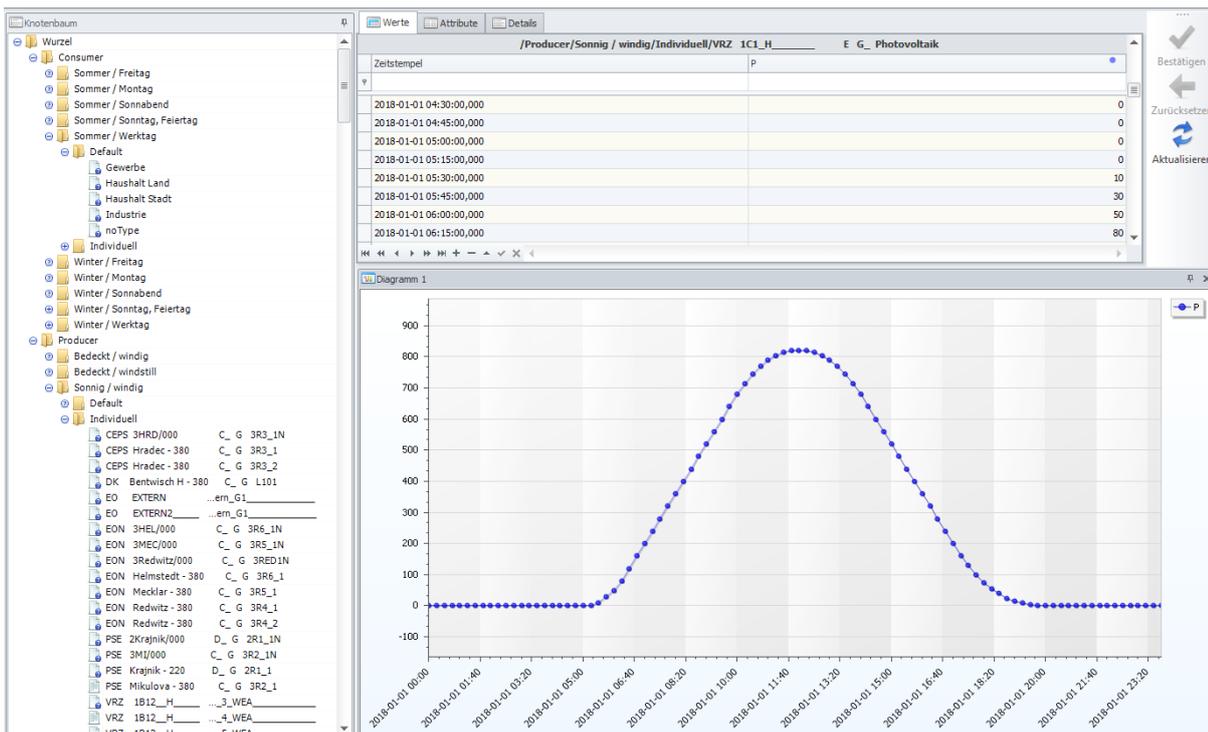


Abbildung 28: Ganglinientool

Dabei können aus dem Wurzelverzeichnis auf der linken Seite sämtliche im Netz befindlichen Erzeuger und Verbraucher ausgewählt werden. Es ist möglich sowohl Standardganglinien, beispielsweise für haushaltnahe Verbraucher zu hinterlegen, als auch individuelle Ganglinien für jeden einzelnen Erzeuger und Verbraucher zu erstellen. Zusätzlich können für jeden Verbraucher 10 individuelle Lastprofile erstellt werden, welche bei einem Start der Simulation ausgewählt werden können. Bei den Erzeugern können vier separate Erzeugerprofile erstellt und gespeichert werden. Dieses Zusammenspiel der Ganglinien mit der Szenarioerstellung und dem Start der Simulation wird in Kapitel 6.3.1 näher beschrieben.

Ist ein Verbraucher oder Erzeuger ausgewählt, so wird auf der rechten Seite die jeweilige Ganglinie angezeigt. Per drag&drop kann diese Ganglinie nun angepasst werden. Alternativ können oberhalb des Diagrammes die konkreten Werte dem jeweiligen Zeitstempel zugeordnet werden. Muss eine Vielzahl an Ganglinien angepasst werden, so ist ein Ex- und Import von entweder vorher ausgewählten Erzeugern und Verbrauchern, ganzen Gangliniengruppen oder aller im Netzmodell existenten Ganglinien in einem tabellarischen Format möglich. Somit können reale Ganglinien, welche aus verschiedenen Quellen bezogen werden, eingespielt und somit auch reale Leistungsflüsse simuliert werden.

5.4.2. Master Solution

Master Solution ist ein externes Programm, welches nicht direkt zur Simulationssoftware gehört. Es kann allgemein für die Schulung innerhalb eines Computerpools genutzt werden und

bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten ein Seminar zu gestalten. Zunächst werden die Arbeitsplatzrechner unterteilt in „Lehrerarbeitsplätze“ und „Schülerarbeitsplätze“, wobei erstere sämtliche Steuer- und Überwachungsfunktionen zur Verfügung stehen. Zu den wichtigsten Tools zählt die Möglichkeit, von dem Lehrerarbeitsplatz sämtliche Schülerarbeitsplätze zu beobachten. Dabei ist man nicht auf einen Bildschirm beschränkt, sondern kann alle sechs Bildschirme gleichzeitig beobachten. Somit ist es nicht notwendig den Trainierenden direkt über die Schulter zu schauen, um ihre Aktivitäten beobachten zu können. Abbildung 29 zeigt die Schnellansicht aller Schüler- und Lehrerarbeitsplätze in MasterSolution Suite XL. Mit einer Auswahl des entsprechenden Bildschirms wird dieser vergrößert und alle Monitore dieses Trainierenden können beobachtet werden.

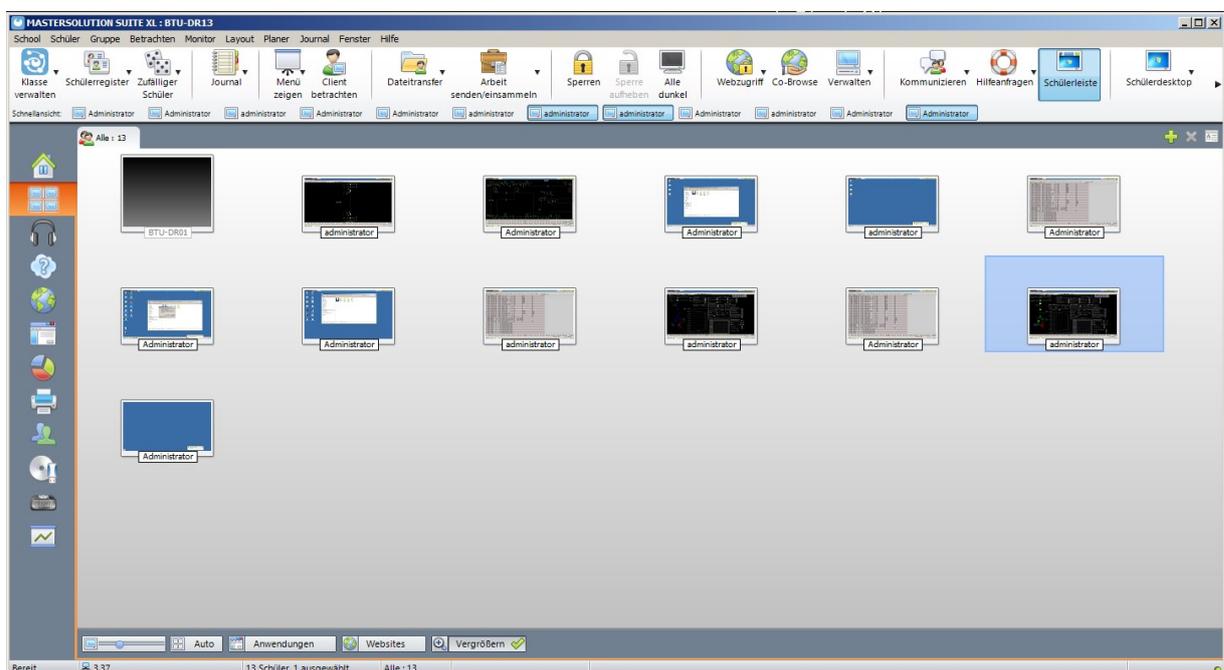


Abbildung 29: MasterSolution Suite XL Schnellansicht Schülerplätze

Weiterhin ist es möglich, den Schülerarbeitsplätzen seine eigenen Lehrer-Bildschirmhalte aufzuschalten. Somit lässt sich die Ausgangssituation einer Schaltübung präzisieren, was vor allem bei komplexen Aufgaben, bei denen die gesamte Netzsituation eine Rolle spielt, hilfreich ist. Außerdem kann der Lehrende die Auswertung einer Schaltaufgabe in dieser Form durchführen.

Eine weitere nützliche Funktion lässt sich für die Abschlussprüfung nutzen. Es ist möglich einen oder mehrere Multiple-Choice-Tests an die Schülerarbeitsplätze aufzuschalten, welche die Trainierenden dann bearbeiten können. Dabei kann zusätzlich ein Zeitlimit pro Frage oder auch für den ganzen Test definiert werden. Die Auswertung erfolgt im Anschluss voll automatisch.

Weitere Funktionen, welche hier allerdings nicht näher beschrieben werden sollen, sind:

- Sperren von Bildschirm, Maus und Tastatur
- Belohnungs- und Bewertungssystem
- Dateitransfer
- Lektionsplaner
- Verwaltung von Gruppen
- Starten/Herunterfahren aus der Ferne

5.4.3. Aufnahme Funktion

Mit zunehmender Teilnehmerzahl bei den praktischen Übungen, steigt auch die Anzahl der Bedienaktionen, die der Lehrende überwachen muss. Für eine gründliche Nachbereitung der Seminare ist daher eine Protokollierung der Ereignisse während eines komplexen Trainings unerlässlich. Das Tagebuch protokolliert dabei alle Schalthandlungen während der Simulation, ist allerdings nicht sehr übersichtlich, wenn es um das Nachvollziehen von einzelnen Schalthandlungen geht. Aus diesem Grund wurde ein Tool entwickelt, was es dem Lehrenden ermöglicht, ein komplettes Szenario Revue passieren zu lassen und wichtige Ereignisse zu entkoppeln, um gegebenenfalls alternative Strategien aufzuzeigen, die in einem Folgeseminar evaluiert werden können. Abbildung 30 zeigt die Benutzeroberfläche dieses Tools. Dabei zeigt der Zeitstrahl auf der unteren Seite der Abbildung, für die Dauer einer Simulation sämtliche Schalthandlungen an, die an einem Arbeitsplatz durchgeführt wurden. In der Abbildung ist die Aufzeichnung eines Szenarios zu sehen, bei dem neben dem Onlinerechner (OR), welcher das Datenmodell zur Verfügung stellt, und dem Lehrenden (DR1), auch vier Trainierenden Gruppen beteiligt waren (DR8, DR9, DR10 und DR11). Dabei können nun alle Bedienhandlungen, die die Trainierenden durchgeführt haben, ausgewählt werden, wobei bei jedem Ereignis die 6 Bildschirminhalte des jeweiligen Bedieners gespeichert werden. Außerdem wird der Bildschirminhalt, auf dem die dokumentierte Schalthandlung durchgeführt wurde, voraufgeschaltet. In Abbildung 30 ist zu sehen, dass der Trainierende an dem Dialogrechner 11 (DR11) den Leistungsschalter der Leitung 6b ausgeschaltet hat. Dies ist zum einen unterhalb des Screenshots textlich beschrieben, zum anderen ist das Schaltelement, welches betätigt wurde, gelb eingekreist. Mit Hilfe der Filterfunktion lassen sich einzelne Bedienplätze ab- oder zuschalten, um gezielt die Vorgehensweise einzelner Bediener zu rekapitulieren. Mit den Buttons unten-rechts können weiterhin alle Schalthandlungen automatisch durchlaufen werden, sodass eine Art Video des absolvierten Trainings entsteht.

Zusätzlich wird zyklisch alle 5 Minuten durch den OR ein Systemabbild gespeichert, auf den zurückgesprungen werden kann, um eine Situation zu wiederholen und alternativen Strategien angewendet und ausgewertet werden können.

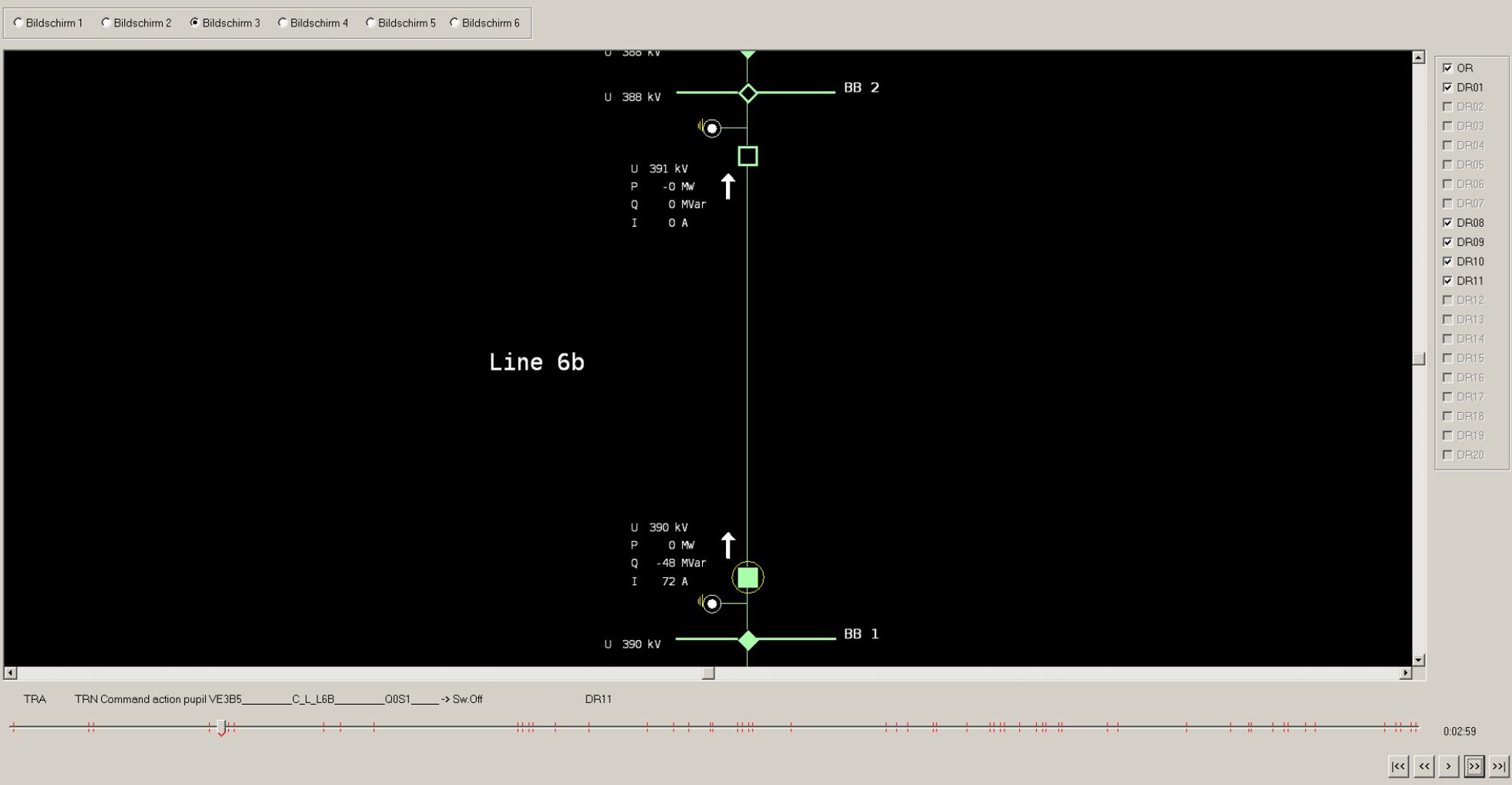


Abbildung 30: Aufnahme Funktion

6. Ausbildung am System

Um die Inhalte der praktischen Übungen (Kapitel 4.3.3) und die Simulation des Netzbetriebes (Kapitel 4.3.4) am Simulationssystem durchführen zu können, muss ein geeignetes Netzmodell entwickelt werden. Auf Basis dieses Netzmodells können dann Szenarien erarbeitet werden, anhand derer die Trainierenden die zuvor definierten Befähigungen erlangen können. Dabei müssen die Lehrenden eine Vielzahl an Aufgaben erfüllen, um den Lernerfolg zu garantieren. Nach einem Szenario gilt es die Lehreinheit auszuwerten, um den Trainierenden Feedback geben zu können und um gezielt auf Probleme eingehen zu können. Zum Abschluss des Seminars werden die Schulungsdurchläufe im Ganzen analysiert, um zu überprüfen, ob das Schulungskonzept didaktisch und inhaltlich so strukturiert ist, dass die in der Lernzieloperationalisierung definierten Ziele erreicht worden sind.

6.1. Entwicklung der Netzmodelle

Bei der Entwicklung der Netzmodelle müssen zwei Aspekte beachtet und definiert werden: die visuelle Darstellung sowie der Umfang der Netzmodelle. Das Konzept der visuellen Darstellung wurde bereits in Kapitel 5.1.1 beschrieben.

Im Gegensatz zur Realität, wo der Umfang des Netzmodells durch das jeweilige Energieversorgungsunternehmen definiert ist, ist es bei der Nutzung des Simulationssystems im Seminar sinnvoll, unterschiedlich komplexe Netzmodelle zu nutzen:

In dem theoretischen Teil des Netzbetriebsführungsseminars, sowie bei den ersten trivialen praktischen Übungen, stehen die Auswirkungen von einzelnen Fahrplanänderungen und Schalthandlungen auf die Lastflüsse im betrachteten Netz, sowie die Prozessreaktion auf Erzeugungsanlagen und Verbraucheranlagen im Vordergrund. Um diese nachvollziehbar auf eine einzelne Schalthandlung zurückführen zu können, darf das Netzmodell nicht zu umfangreich sein. Weiterhin müssen die Lastflüsse und Ganglinien möglichst konstant sein, um ausschließen zu können, dass die Systemreaktion einer Schalthandlung auf einen Sprung im Einspeise- oder Verbrauchsfahrplan zurückzuführen ist.

Um den Netzbetrieb zu simulieren ist es erforderlich ein umfangreiches Simulationsnetz zu entwickeln. Dabei sollte das Übertragungsnetz als oberste Spannungsebene, an dessen der Großteil der Kraftwerke angeschlossen ist, sehr detailliert nachgebildet werden. Um eine Vielzahl an Szenarien trainieren zu können, wird auch ein detailliertes Verteilnetz nachgebildet. Zusätzlich wird exemplarisch ein Mittel- und Niederspannungsabgang projiziert, um die allgemeine Struktur des Versorgungsnetzes darzustellen zu können und die Trainierenden

somit möglichst viele Blickwinkel und Aufgabengebiete der einzelnen Akteure im Energieversorgungssystem kennen lernen können. Je umfangreicher das Netzmodell ist, desto stabiler wird die Simulation, da, wie im realen Verbundbetrieb, sprunghafte Änderungen im Lastfluss, aufgrund einer Vielzahl rotierender Massen, besser abgefangen werden können. Dementsprechend komplexer, in Bezug auf Teilnehmeranzahl und Störgrößen im Netz, kann eine Simulation werden. Abbildung 31 zeigt qualitativ den Einfluss der Netzgröße und Anzahl der Schalthandlungen pro Stunde auf verschiedene Aspekte der Schulung. Die roten Bereiche sollten während des Trainings vermieden werden.

Anzahl Schalthandlungen pro Stunde

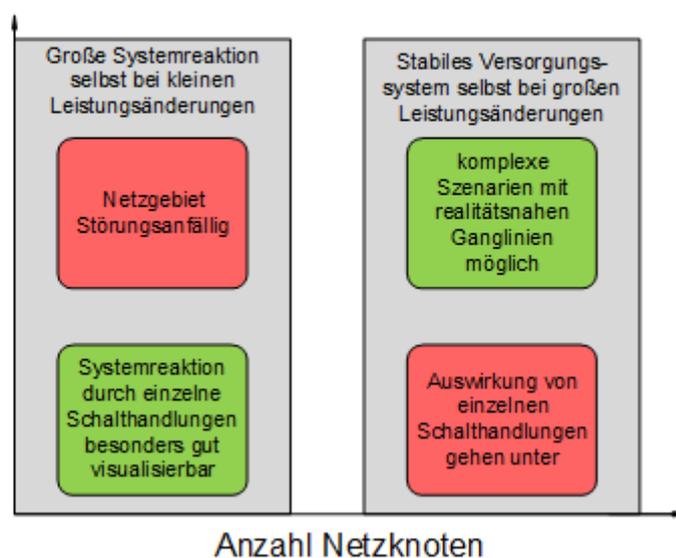


Abbildung 31: Einfluss von Netzgröße und Schalthandlungen auf Aspekte der Schulung

Um alle unter Kapitel 4 beschriebenen Aspekte der Netzbetriebsführung nachvollziehbar Lehren zu können, ist es erforderlich, zwei unterschiedliche Netzmodelle zu entwickeln, welche autark genutzt werden können und jeweils für die in der Abbildung 31 grün dargestellten Aufgaben optimiert sind. Im Folgenden werden diese das „einfache Netzmodell“ und das „komplexe Netzmodell“ genannt.

6.1.1. Das einfache Netzmodell

Das einfache Netzmodell beinhaltet wenig Netzknoten und ist somit geeignet, um die Systemreaktionen durch definierte Bedienaktionen des Netzbetriebsführers zu visualisieren. Im Konkreten besteht es aus 12 Umspannwerken, wobei zwei von diesen das horizontale Randnetz definieren. Diese 12 Umspannwerke sind zu einem Maschennetz verknüpft, siehe Ab-

bildung 32. Jedes Umspannwerk, welches zu der betrachteten Regelzone gehört, erfüllt dabei einen speziellen Zweck. So sind an den fünf Umspannwerken 1-5 jeweils eins der unter Kapitel 5.3 definierten konventionellen Kraftwerkstypen angeschlossen, wobei das thermische Kraftwerk zwei Mal existiert, einmal als Ein-Kessel Variante und einmal als Zwei-Kessel Kraftwerksblock. Ein weiteres Umspannwerk beinhaltet alle erneuerbare-Energie-Anlagen (6). Das nächste Umspannwerk umfasst exemplarisch Kuppeltransformatoren bis in die Niederspannung, wo ein Kabelring projektiert ist (7). Zwei weitere Umspannwerke sind gekennzeichnet durch die Möglichkeit Kondensatorbänke (8) bzw. Drosselspulen (9) zuzuschalten. Das letzte Umspannwerk definiert sich durch eine geringe Last und geringem Vermarshungsgrad (10). R1 und R2 definieren das Randnetz. Diese beinhalten leistungsstarke Generatoren mit einem schnellen Regelverhalten, um die betrachtete Regelzone bei zu starkem Einspeise- bzw. Lastdefizit zu stabilisieren.

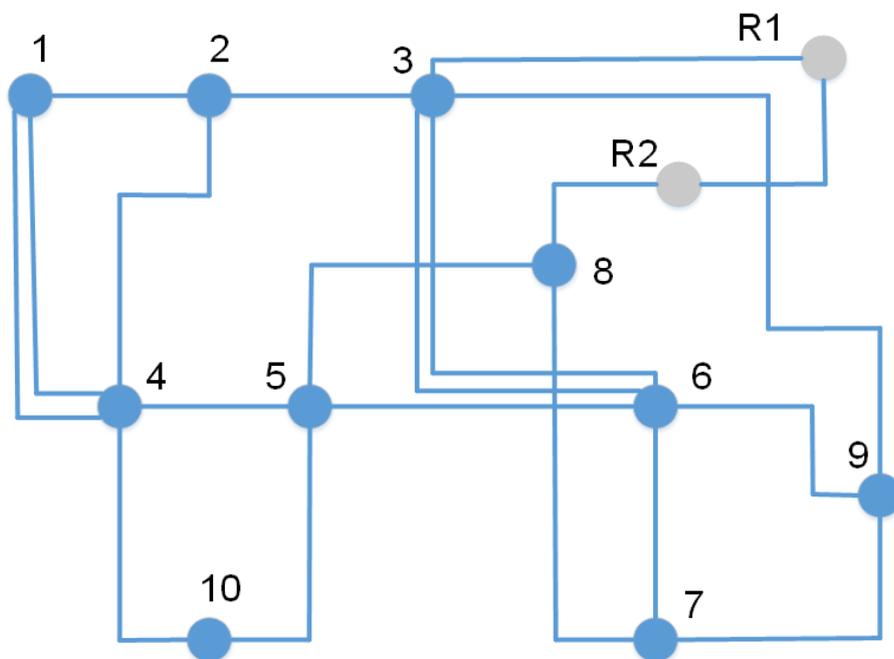


Abbildung 32: schematische Darstellung des einfachen Netzmodells

Die Umspannwerke sind dabei größtenteils standardisiert und einfach aufgebaut. Umspannwerk Typ 1 umfasst ein Doppelsammelschienensystem mit einer Querkupplung, einer Last sowie jeweils einen Windpark und eine Photovoltaikanlage. An den Leitungsabgängen sind jeweils die Messwerte für Spannung, Wirkleistung, Blindleistung und Stromstärke angegeben. An der Querkupplung wird der Wirk- und Blindleistungsfluss dargestellt, genauso wie bei den angeschlossenen erneuerbaren Energien. Am Transformator zum Kraftwerksblock kann die Spannung, Wirk- und Blindleistung abgelesen werden. Die Umspannwerke 1-6 sowie 8 und 10 sind als solche Typen projektiert. Abbildung 33 zeigt exemplarisch einen solchen Umspannwerkstyp.

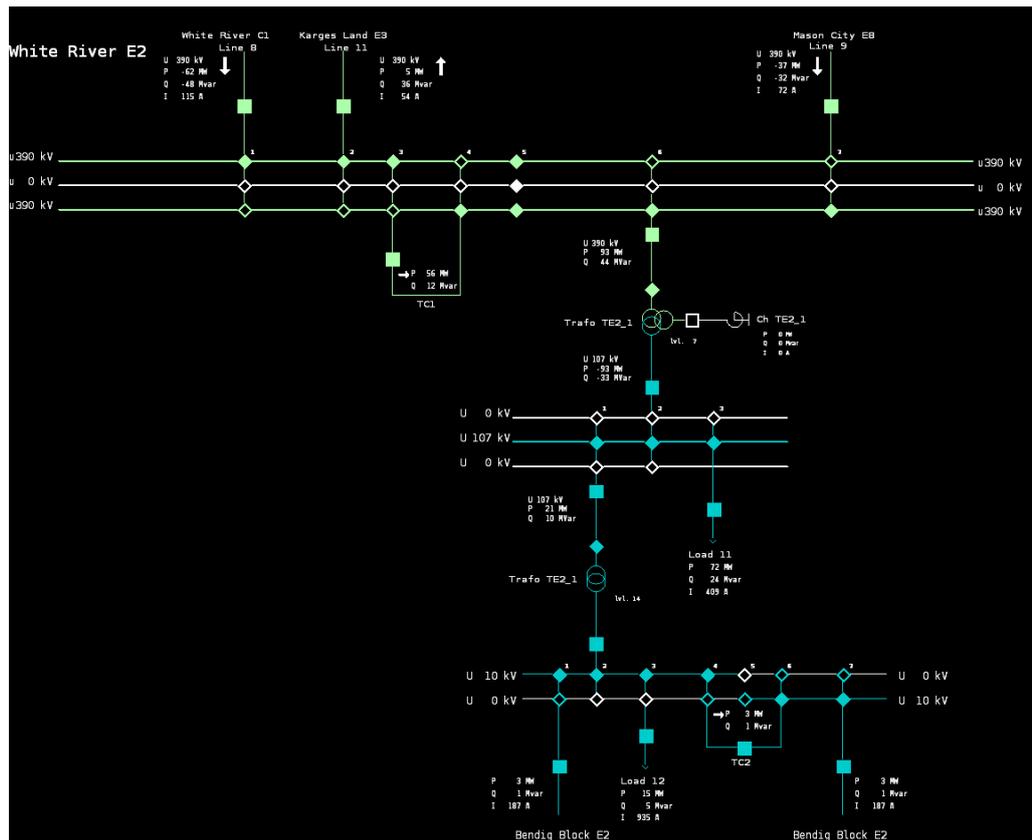


Abbildung 34: Typ 2 Umspannwerk im einfachen Netzmodell

Das Namenskonzept ist dabei rein virtuell und die Namen der Umspannwerke sind in englischer Sprache gehalten, um internationalen Teilnehmern den Einstieg zu erleichtern.

6.1.2. Das komplexe Netzmodell

Das komplexe Netzmodell ist der 50-Hertz-Transmission Regelzone aus dem Jahre 2012 mit unterlagerten Berliner Verteilnetz nachempfunden. Es zeichnet sich somit durch eine hohe Anzahl an Netzknoten, sowie einer Vielfalt an unterschiedlichen Umspannwerken aus. Diese reichen von einfachen Doppelsammelschienensystemen, wie sie auch im einfachen Netzmodell zur Anwendung kommen, bis hin zu komplexen und individuellen Dreifachsammelschienensystemen mit Umgehungssammelschienen. Dabei sind an den einzelnen Netzkomponenten die gleichen Messwerte ablesbar wie im einfachen Netzmodell.

An Kuppelstellen in die 110-kV-Spannungsebene, die nicht zum Berliner Verteilnetz gehören, sind aggregierte Ersatzspeisungen und Lasten angeschlossen, welche das unterlagerte Verteilnetz nachbilden. Auf horizontaler Ebene ist ein in sich vermaschtes Randnetz projektiert, welches sehr flexible, leistungsstarke Generatoren besitzt, um das Netzgebiet der ENTSO-e zu simulieren. Nur so ist die Simulation mit dem komplexen Netzmodell stabil genug, um umfassende, durch viele Schalthandlungen charakterisierte Szenarien, bei denen

große Leistungsflussänderungen angestoßen werden, durchzuführen. Tabelle 12 zeigt das Mengengerüst des großen Netzmodells.

Tabelle 12: Mengengerüst des komplexen Netzmodells

Komponente	Übertragungsnetz	Verteilnetz
Umspannwerke	71	99
Leitungen	~9.400km	~20.000km
Transformatoren	235	332
Schaltelemente	~6.100	~7.000
Messwerte	~6.600	~6.500

Das Namenskonzept wurde teilweise von der 50-Hertz-Transmission bzw. der Stromnetz Berlin übernommen. Das heißt, die Namen der Umspannwerke entsprechen auch denen in den jeweiligen Unternehmen. Zusätzlich wurde im Übertragungsnetz eine Einteilung der Umspannwerke in Regionalzentren unternommen, womit das Gesamtnetz leichter in einzelne Arbeitsplätze mit verschiedenen Zuständigkeitsgebieten unterteilt werden kann. Realisiert wurde dies durch die Einteilung des Netzgebietes in Zone A bis H. Die jeweiligen Umspannwerke in den Zonen wurden dann fortlaufend nummeriert. Beispielsweise beinhaltet die Zone A acht Umspannwerke, welche somit die ergänzenden Kurznamen A1-A8 besitzen. Des Weiteren wurde das Konzept der Leitungsnummern dahingehend geändert, dass diese nur noch fortlaufend nummeriert sind. Auch bei den Transformatornamen wurden Änderungen vorgenommen. Bisher hatten diese, durch die erste Ziffer in ihrem Kurznamen, einen Indikator für den Betrag der Oberspannungsseite des Transformators, z.B. 203 für 220 kV und 303 für 380 kV, allerdings gab es keinen Bezug zum Umspannwerk. Dies wurde dahingehend angepasst, dass am Anfang ein T für Transformator gewählt wurde, gefolgt von dem o.g. Kurzname des Umspannwerks. Daran schließt sich eine fortlaufende Nummerierung an, z.B. TD9_1.

6.1.3. Verwendung der Netzmodelle

Wie bereits in Kapitel 6.1 erwähnt, sind die beiden o.g. Netzmodelle jeweils für spezielle Anwendungen optimiert. Welche Anwendungen dies sind, soll im Folgenden erläutert werden.

Im einfachen Netzmodell können die Auswirkungen von einzelnen Bedienaktionen verdeutlicht werden. Voraussetzung dafür sind konstante Ganglinien (siehe auch Kapitel 6.2) um „Störgrößen“ zu minimieren. Diese Bedienaktionen sind:

Änderung der Einspeiseleistung eines Kraftwerks: Dabei kann verdeutlicht werden, dass z.B. das Absenken eines Kraftwerkes sofort auch zu einem Absenken der Frequenz führt.

Ergänzend dazu lässt sich diese Bedienaktion mit unterschiedlich großen Netzgebieten durchführen und vergleichen. Damit kann verdeutlicht werden, dass ein größeres Netzgebiet auch größere Einspeisedefizite bzw. –überschüsse kompensieren kann. Des Weiteren können Änderung im Lastfluss an generatornahen Leitungen beobachtet werden.

Aktivierung von Regelleistung: Die Mechanismen der Primär- und Sekundärregelung können demonstriert werden. Dazu wird ein positiver oder negativer Leistungssprung in der Regelzone angestoßen und beobachtet, wie sich die Frequenz einmal ohne aktivierte Regelleistung verhält und wie das Verhalten mit Regelleistung aussieht. Dabei kann auch beobachtet werden, wie die Primärregelung sofort einsetzt, die Sekundärregelung zeitverzögert reagiert und dann die Leistungsbereitstellung der Primärregelung langsam übernimmt.

Redispatch: In einem kleinen Netzmodell lassen sich auch ohne umfangreiche Anpassungen am Fahrplan von Kraftwerken die Effekte des Redispatch sehr anschaulich simulieren. Der Grund dafür ist die lokale Nähe der Kraftwerke zueinander, bei denen die zu entlastende Leitung im Idealfall direkt zwischen den Umspannwerken liegt, in die die Kraftwerke einspeisen.

Transformatorstufung: Der Einfluss einer Stufung des Transformators lässt sich abbilden. Außerdem kann die Wirkungsweise von parallellaufenden, automatisch gestuften Transformatoren erläutert werden.

Blindleistungskompensation: Eine weitere Möglichkeit die Spannung zu stabilisieren ist die Blindleistungskompensation, entweder durch Änderung des $\cos \phi$ im Kraftwerksblock, durch das Zu- bzw. Abschalten von Drosseln an der Eigenbedarfswicklung eines Dreiwicklungstransformators oder das Zu- bzw. Abschalten von Drossel- bzw. Kondensatorbänken direkt am Umspannwerk.

Das komplexe Netzmodell eignet sich dahingehend für intensive Planspiele und Simulationen. All die Effekte, die im einfachen Netzmodell gezeigt werden, können nun von den Trainierenden als Repertoire eines Netzbetriebsführers abverlangt werden, um das Netz stabil zu halten. Außerdem sind eine Vielzahl an weiteren Situationen denkbar: Angefangen bei Schaltaufgaben in komplexeren Umspannwerken über die Nachbildung von meteorologischen Ereignissen bis hin zu Netzwiederaufbauszenarien, ist alles als Szenario umsetzbar:

Schaltaufgaben: Dadurch, dass Umspannwerke in den verschiedensten Formen und unterschiedlicher Komplexität vorhanden sind, ist es möglich, eine Vielzahl an Schaltaufgaben durchzuführen. Eine Schaltaufgabe ist beispielsweise, einen Sammelschienenabschnitt aufgrund von Wartungsarbeiten freizuschalten und die Abgänge stattdessen über eine vorhandene Umgehungsammelschiene zu versorgen.

Gefährdeter Zustand: Szenarien, bei dem sich das Netz in einem „gefährdetem Zustand“ (siehe Kapitel 4.3.4) befindet, lassen sich mit dem komplexen Netzmodell simulieren und dann in einem Planspiel trainieren. Mögliche Szenarien sind dabei: stark belastete Leitung und/oder Transformator, Spannungshaltungsprobleme und Sonderschaltzustände

Notzustand: Der Notzustand tritt ein, wenn Leitungen bzw. Transformatoren überlastet sind, gewisse Spannungsniveaus unter- bzw. überschritten sind oder die Frequenz gewisse Grenzwerte über- bzw. unterschreitet. Wie diese Situationen zu meistern sind, wird in Notzustandsszenarien trainiert.

Netzwiederaufbauzustand: Kommt es zu einer Teilnetzbildung mit lokalem Versorgungsausfall oder aber auch zu einem flächendeckenden Blackout, so muss das Netz wiederaufgebaut werden. Dabei können verschiedene Netzwiederaufbauszenarien durchgespielt werden.

Abbildung 35 zeigt noch einmal übersichtlich, welches Netzmodell für welche Szenarien optimiert ist.

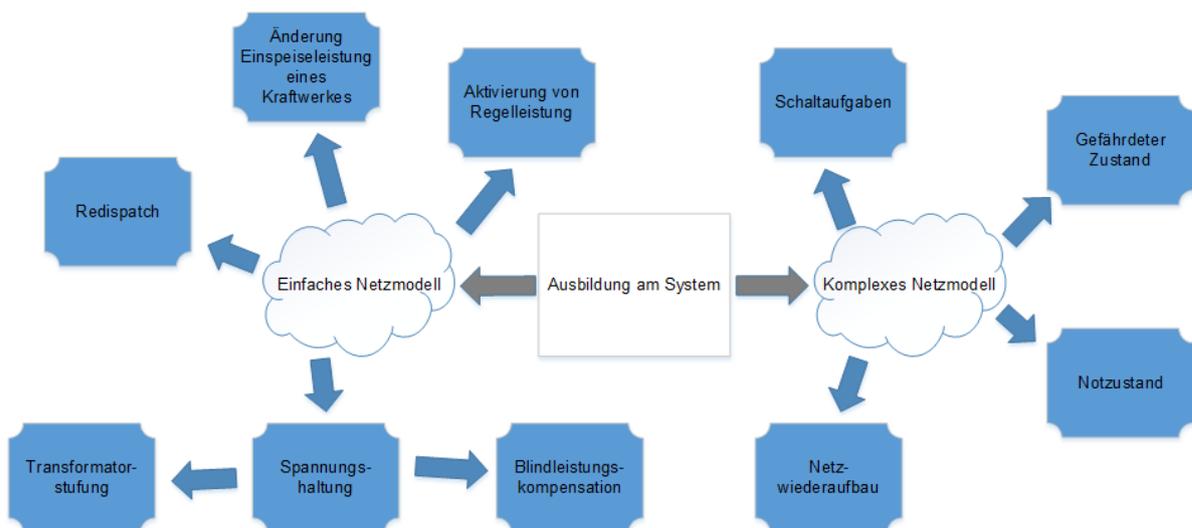


Abbildung 35: Zuordnung Szenarien zu den Netzmodellen

6.2. Entwicklung der Szenarien

Nachdem das Fundament für die Ausbildung am System in Form von geeigneten Netzmodellen gelegt wurde, gilt es nun die dazugehörigen Szenarien zu entwickeln. Ein Szenario bildet die Grundlage eines Planspieles, indem es die Inhalte, die einzunehmenden Rollen und den Ablaufplan definiert. Für einfache Schaltaufgaben ist der Aufwand wesentlich geringer als für die komplexen Szenarien, bei dem der Netzbetrieb geschult wird. Auf der anderen Seite ist die Anzahl der nötigen Szenarien für die praktischen Übungen wesentlich höher, da

weniger Teilnehmer gleichzeitig an einem Szenario beteiligt sind und somit mehrere Trainierenden Gruppen an einer eigenständigen Schaltaufgabe trainieren. Unabhängig von der Komplexität des Szenarios wird nach folgender Systematik der Szenarioerstellung vorgegangen:

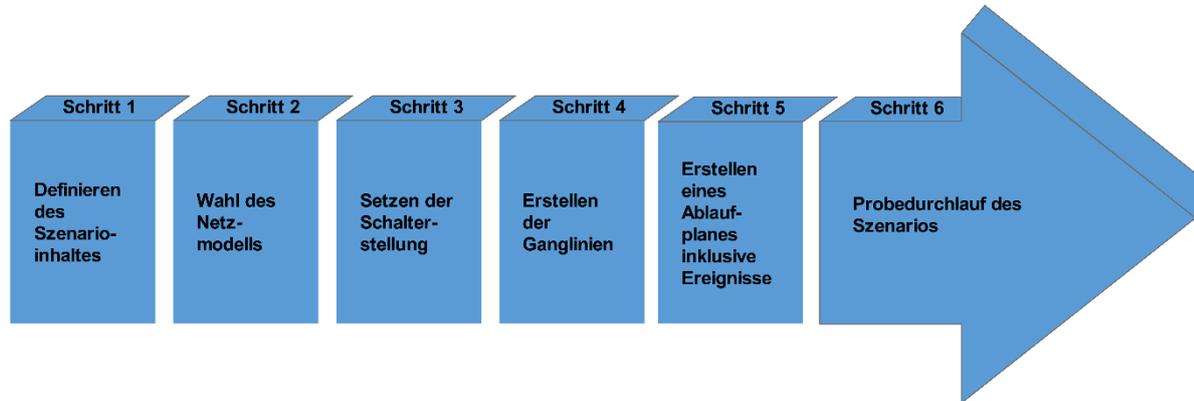


Abbildung 36: Systematik der Szenarioerstellung

Schritt 1: Zunächst wird der Szenarioinhalt definiert. Neben der eigentlichen Thematik, zählen dazu auch die Definierung der verschiedenen Akteure im Energieversorgungssystem, die im konkreten Szenario mitwirken sollen.

Schritt 2: Der Komplexität des Szenarios entsprechend wird das Netzmodell gewählt. In Kapitel 6.1.3 ist beschrieben, welches Netzmodell für welche Szenarien optimiert ist.

Schritt 3: Jedes Szenario hat mehr oder weniger unterschiedliche Ausgangsschaltzustände. Diese gilt es sinnvoll zu setzen und abzuspeichern.

Schritt 4: Die größte Herausforderung ist das Erstellen der Ganglinien. Sie müssen dem jeweiligen Szenarioinhalt entsprechen und definieren die jeweilige Situation. Dabei muss gewährleistet werden, dass zu jedem Zeitpunkt Einspeisung und Last so im Verhältnis stehen, dass sie dem gewünschten Szenario entsprechen.

Schritt 5: Hierbei wird ein Ablaufplan erstellt, in dem festgelegt wird, wann und wo die Störgrößen, die das Szenario zusätzlich definieren, aktiviert werden. Dabei müssen auch mögliche Reaktionen der Trainingsteilnehmer bedacht werden, um wiederum auf diese zu reagieren. Außerdem werden verschiedenste Ereignisse vorbereitet, um die jeweilige Situation bei Bedarf zusätzlich zu verschärfen bzw. zu entschärfen.

Schritt 6: Nachdem das Szenario komplett erstellt wurde, wird ein Probedurchlauf durchgeführt, bei dem sowohl mit idealen Reaktionen und Gegenmaßnahmen als auch mit fehlerhaften bzw. verzögert mit Maßnahmen reagiert wird.

Nachfolgend werden die konkreten Szenarien für die in Abbildung 35 gezeigten Inhalte definiert und gegebenenfalls ein Ablaufplan erstellt.

6.2.1. Änderung Einspeiseleistung eines Kraftwerkes

Szenarioinhalt: Bei diesem Szenario soll der Einfluss der Einspeiseleitung von Kraftwerksgeneratoren auf die Frequenz verdeutlicht werden. Ergänzend kann durch die Bildung von Inseln bzw. der Nutzung verschiedener Netzmodelle die Netzkennzahl veranschaulicht werden

Netzmodell: Primär wird das einfache Netzmodell verwendet. Außerdem findet ein Vergleich des Szenarios mit dem komplexen Netzmodell statt, um die Bedeutung der Netzkennzahl zu vermitteln.

Ausgangszustand: Es wird lediglich darauf geachtet, dass ein am Netz angeschlossener und im Netzbetrieb befindlicher Kraftwerksgenerator für die Änderung der Einspeiseleistung betriebsbereit ist.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser, um frequenzbeeinflussende Störgrößen zu minimieren. Dabei wird ein Verhältnis von Einspeisung und Verbrauch gewählt, sodass sich eine Frequenz von 50,1 Hz einstellt.

Ablaufplan: Im einfachen Netzmodell wird, nachdem die Netzfrequenz auf konstante 50,1 Hz geführt wurde, das Gaskraftwerk um 40MW eingesenkt. Dadurch stabilisiert sich die Frequenz auf 50,02 Hz. Dies wird mit dem komplexen Netzmodell wiederholt. Aufgrund der wesentlich größeren Netzkennzahl von ca. 14.000 MW/Hz im komplexen Netzmodell, ist hier eine Reduzierung von ca. 140MW nötig, um die Frequenz lediglich um 0,01Hz auf 50,09 Hz zu reduzieren.

6.2.2. Aktivierung von Regelleistung

Szenarioinhalt: Bei diesem Szenario soll der Einfluss und das Zusammenspiel der Regelleistung gezeigt werden. Darauf aufbauend wird das Merid-Order-Ranking der Kraftwerke erläutert.

Netzmodell: Einfaches Netzmodell.

Ausgangszustand: Ein thermischer Kraftwerksblock beteiligt sich an der Primär- und Sekundärregelleistung mit einem Regelband von jeweils 20 MW negativer Regelleistung (Verbraucherzählpeilsystem). Alle anderen Kraftwerksblöcke sind unbeteiligt.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser, um frequenzbeeinflussende Störgrößen zu minimieren. Dabei wird ein Verhältnis von Einspeisung und Verbrauch gewählt, sodass sich eine Frequenz von 50,0 Hz einstellt.

Ablaufplan: Nach Simulationsstart wird ein Lastsprung von 20 MW durch das Hinzuschalten eines Verbrauchers ausgelöst. Die Primärregelleistung wird unverzüglich einsetzen. Nach 30 Sekunden steigt automatisch die Sekundärregelleistung an und löst die Primärregelleistung ab. Nachdem diese komplett abgelöst wurde, wird der Fahrplan des thermischen Kraftwerksblockes um 20 MW erhöht, um die komplette Regelleistung freizusetzen. Nun wird bei dem Gaskraftwerk die Sekundärregelleistung mit einem Regelleistungsband von 20 MW negativer Regelleistung aktiviert. Wird diesmal ein weiterer Lastsprung von 30 MW initiiert, setzt zunächst die Primärregelleistung des thermischen Kraftwerksblockes ein, welche nach 30s durch die Sekundärregelleistung des thermischen Blockes abgelöst wird. Da das Regelband allerdings nicht ausreicht, um den kompletten Lastsprung auszugleichen, wird die Sekundärregelleistung des Gaskraftwerks, aufgrund des höheren Merid-Order-Rankingplatzes, erst dann einsetzen, wenn das Sekundärregelleistungsband des thermischen Kraftwerksblockes erschöpft ist.

6.2.3. Redispatch

Szenarioinhalt: Hierbei wird die Methodik des Redispatch zur Entlastung von Betriebsmitteln verdeutlicht.

Netzmodell: Einfaches Netzmodell.

Ausgangszustand: Zwei räumlich nah beieinanderliegende Kraftwerke müssen sich im Netzbetrieb befinden und der Arbeitspunkt darf sowohl in positiver als auch negativer Richtung nicht an den Betriebsgrenzen sein.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser. Idealerweise sind Betriebsmittel, wie z.B. eine Leitung zwischen den für den Redispatch genutzten Kraftwerken, überlastet.

Ablaufplan: Nach Simulationsstart wird Leitung 5 als stark belastete Leitung identifiziert und die Arbeitspunkte der angrenzenden Kraftwerke, in diesem Fall das Laufwasserkraftwerk und das Gasturbinenkraftwerk, bestimmt. Daraufhin wird die Leistungsflussrichtung in diesem Netzgebiet analysiert, um die Redispatch Maßnahmen zu spezifizieren. In dem verbraucherintensiven Gebiet wird die Kraftwerksleistung (in diesem Fall das Laufwasserkraftwerk) hochgefahren, während zeitgleich das Kraftwerk in dem einspeiseintensiven Gebiet (in diesem Fall das Gasturbinenkraftwerk) heruntergefahren wird. Dabei muss darauf geachtet werden, dass vor allem bei unterschiedlichen Kraftwerkstypen die Gradienten für das Ab- und

Anfahren sehr unterschiedlich sein können und sich die Schnelligkeit der Arbeitspunktanpassung an dem trägeren Kraftwerk orientieren muss. In diesem Szenario muss sich das Laufwasserkraftwerk an dem Arbeitspunkt des Gasturbinenkraftwerks orientieren.

6.2.4. Transformatorstufung

Szenarioinhalt: Bei diesem Szenario soll der Einfluss der Transformatorstufung auf die Spannung an der Ober- und Unterseite des Transformators verdeutlicht werden. Außerdem wird die Funktionsweise von automatisch gestuften, parallellaufenden Transformatoren erläutert.

Netzmodell: einfaches Netzmodell

Ausgangszustand: Zwei Transformatoren, die die automatische Transformatorstufung unterstützen, müssen parallelgeschaltet sein.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser.

Ablaufplan: In einem Umspannwerk, bei dem ein Kuppeltransformator in die 110-kV-Spannungsebene existiert, werden Transformatorstufungen vorgenommen, um die Spannung zu stabilisieren. Anschließend wird an den automatisch gestuften Transformatoren die Sollspannung variiert, um die automatische Stufung anzustoßen.

6.2.5. Blindleistungskompensation

Szenarioinhalt: Hier wird die Methodik der Blindleistungskompensation zur Stabilisierung der Spannung erläutert. Dabei werden die Unterschiede der Kompensation durch Drosselspulen und der Kompensation durch Kondensatorbänke aufgezeigt.

Netzmodell: Einfaches Netzmodell.

Ausgangszustand: Es muss darauf geachtet werden, dass eine Variation an Drosselspulen und Kondensatorbänken ein- und ausgeschaltet werden können, um die Einflüsse auf die Spannung zu zeigen.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser. Dabei sollte es Netzgebiete geben, bei denen nahezu leerlaufende Leitungen vorhanden sind, als auch Netzgebiete mit stark ausgelasteten Leitungen.

Ablaufplan: Im Netzgebiet mit nahezu leerlaufenden Leitungen (Umspannwerk 9) werden entweder direkt am Umspannwerk befindliche Drosselspulen oder aber die Kompensationsdrosseln an der Eigenbedarfswicklung von Transformatoren eingeschaltet, um die Spannung

zu reduzieren. Im Netzgebiet mit stark belasteten Leitungen (Umspannwerk 8) werden am Umspannwerk befindliche Kondensatorbänke eingeschaltet, um die Spannung zu erhöhen.

6.2.6. Schaltaufgaben

Szenarioinhalt: Hierbei stehen die Anwendung der richtigen Schaltsprache, sowie die Beachtung von Verriegelungsbedingungen im Vordergrund. Dabei sind verschiedene Schaltaufgaben denkbar: Von einfachen Freischaltungen von Leitungen bis hin zu Leistungsflussänderungen durch die Nutzung von Umgehungssammelschienen.

Netzmodell: komplexes Netzmodell.

Ausgangszustand: Je nach der spezifischen Schaltaufgabe müssen die Schalterstellungen und somit Lastflüsse geschaltet werden. Dabei sollte die geografische Lage der einzelnen Schaltaufgaben wenigstens eine Masche voneinander entfernt liegen, damit eine parallele Abarbeitung der Schaltaufgaben möglich ist, ohne eine zu große direkte Beeinflussung auszulösen.

Ganglinien: Konstante Ganglinien aller Verbraucher und Einspeiser mit einer Netzfrequenz von 50,0 Hz.

Ablaufplan: Entweder können die Schaltaufgaben nacheinander abgearbeitet werden oder jeder Trainierende arbeitet parallel an seiner eigenen Schaltaufgabe. Ein Portfolio an Schaltaufgaben ist der Anlage 3 beigelegt.

6.2.7. Gefährdeter Zustand

Szenarioinhalt: Simuliert wird hierbei ein normaler Werktag mit einem ausgewogenen Mix aus erneuerbaren Energien und konventioneller Kraftwerkseinspeisung. Im Laufe des Szenarios kommt es zu Problemen mit einem 380/110 kV Kuppeltransformator, sodass dieser freigeschaltet werden muss. Weiterhin tritt ein Kurzschluss in einem Kabelring im Verteilnetz auf. Als letztes führt eine lokale Windfront zu unerwarteter erhöhter Windenergieeinspeisung. Die Trainierenden nehmen dabei folgende Rollen ein: Transmission Control Center (TCC), Regionalzentrum Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), Verteilnetzbetreiber (VNB) und Beobachter

Netzmodell: komplexes Netzmodell.

Ausgangszustand: Für das ganze Netz wird ein betriebsrealistischer Normalschaltzustand gewählt.

Ganglinien: Variable Ganglinien für alle Einspeiser und Verbraucher, wobei die Frequenzschwankungen ohne äußerliche Einflüsse nicht mehr als $\Delta f=0,02$ Hz betragen.

Ablaufplan: Nach Beginn der Simulation und einer kurzen Einarbeitungszeit setzt der Lehrende einen 380/110 kV Kuppeltransformator in einen Stöorzustand. Das TCC registriert dies und informiert den VNB über die geplante Abschaltung des Transformators, damit sich dieser darauf einstellen und gegebenenfalls Schalthandlungen zur Umverteilung von Leistungsflüssen in seinem Netzgebiet vornehmen kann. Nach Überprüfung und Rückmeldung des VNB an das TCC, informiert das TCC den ÜNB über die durchzuführenden Schalthandlungen und führt mit diesem ein Schaltgespräch. Der ÜNB ist nun für die Einrichtung einer Arbeitsstelle bei dem Transformator zuständig. Anschließend setzt der Lehrende einen Kurzschluss in einem Kabelring vom VNB. Dieser muss mit Hilfe der Kurzschlussanzeiger den Fehlerort eingrenzen, die restlichen Verbraucher wieder mit Strom versorgen und das fehlerbehaftete Betriebsmittel identifizieren (siehe Schaltaufgabe aus Kapitel 4.3.3 - Abbildung 13). Dazu ruft er den Lehrenden an, welcher die Rolle des technischen Personals zur Störfundung übernimmt. Währenddessen aktiviert der Lehrende eine lokale Windfront im Übertragungsnetz, sodass dort zur Vermeidung von Betriebsmittelüberlastungen Leistungsflüsse geändert werden müssen. Abbildung 37 zeigt schematisch den Ablaufplan für dieses Szenario.

Dieser Ablaufplan stellt das ideale Szenario dar, d.h. wenn alle Trainierenden Gruppen die Störungen erkennen und die richtigen Maßnahmen zu ihrer Beseitigung vornehmen. Vor allem das TCC und der VNB müssen die Netzsituation richtig einschätzen und entsprechend reagieren. Sollte eine Trainierende Gruppe die Störung nicht identifizieren bzw. unzureichende Gegenmaßnahmen ergreifen, so ist es nicht sinnvoll, das Szenario komplett abzubrechen und neu zu starten. Vielmehr muss das Szenario so gestaltet werden, dass es beim Eintreten einer solchen Situation dennoch durchführbar ist. Dazu müssen dem Lehrenden Hilfsmittel vorliegen, die ihm im Rahmen dieser Echtzeitsimulation dabei helfen, dass das Szenario durch eingreifende Maßnahmen, gemäß dem Ablaufplan, durchgeführt werden kann. Diese Hilfsmittel sind in Form von Struktogrammen, welche Entscheidungsbäume der Trainierenden widerspiegeln, in Abbildung 38 bis Abbildung 42 konzipiert. Somit kann der Lehrende ad hoc Entscheidungen treffen, die dabei helfen, das Planspiel gemäß dem Ablaufplan durchzuführen.

Weiterhin werden Ereignisse vorbereitet, die die jeweilige Situation verschärfen oder auch stabilisieren können. Somit kann individuell auf die jeweiligen Fähigkeiten der Trainierenden reagiert werden, sodass stets eine herausfordernde, aber nicht überfordernde Situation entsteht.

Szenario: gefährdeter Zustand: durchschnittlich viel Last und EEG Einspeisung

Konventionelle Einspeisung: 7.800 MW, EEG Einspeisung 4.200 MW

Regelzonenlast HöS 6.500 MW, Städtetz 1.000 MW

4.500 MW Export

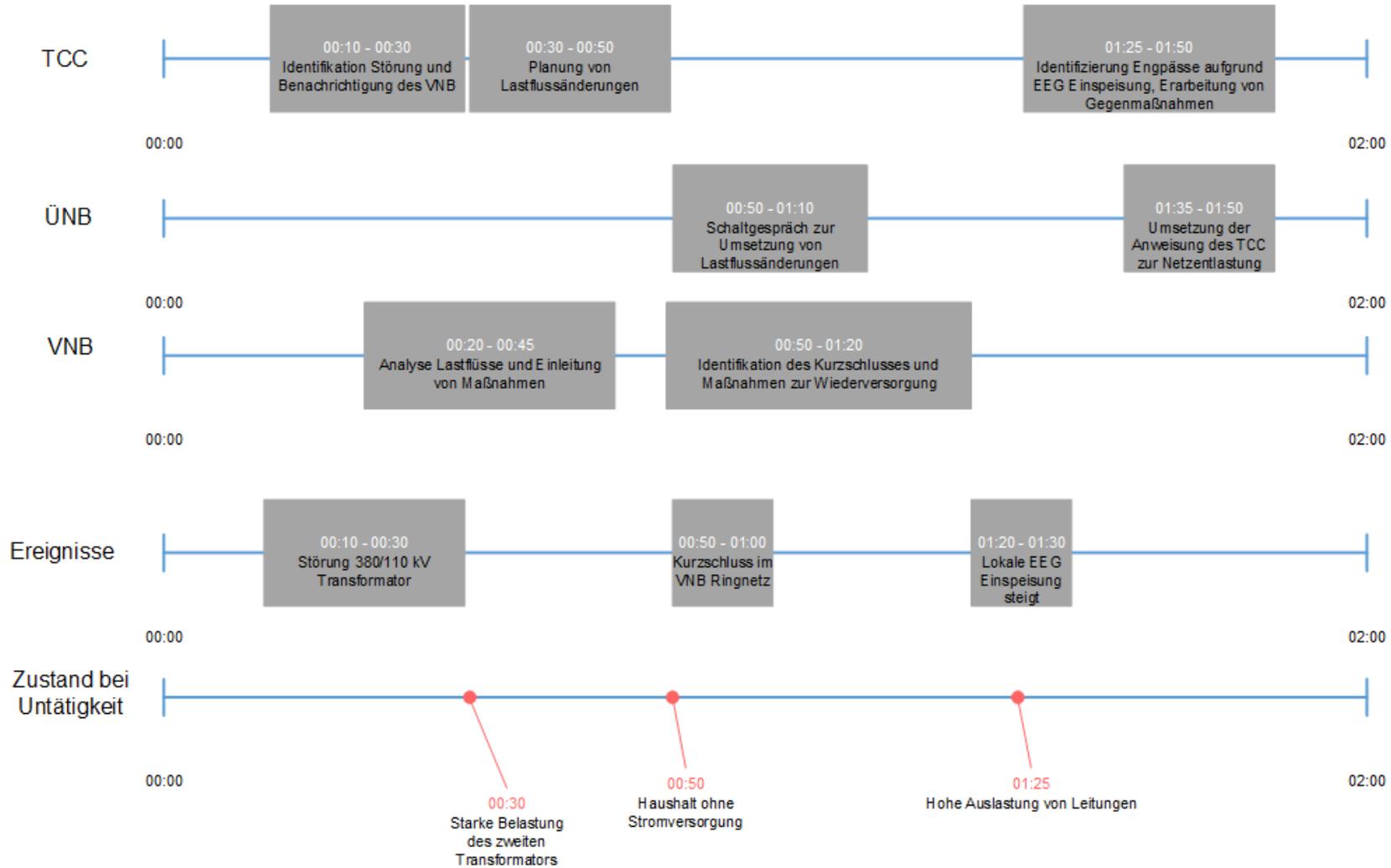


Abbildung 37: Ablaufplan Szenario gefährdeter Zustand

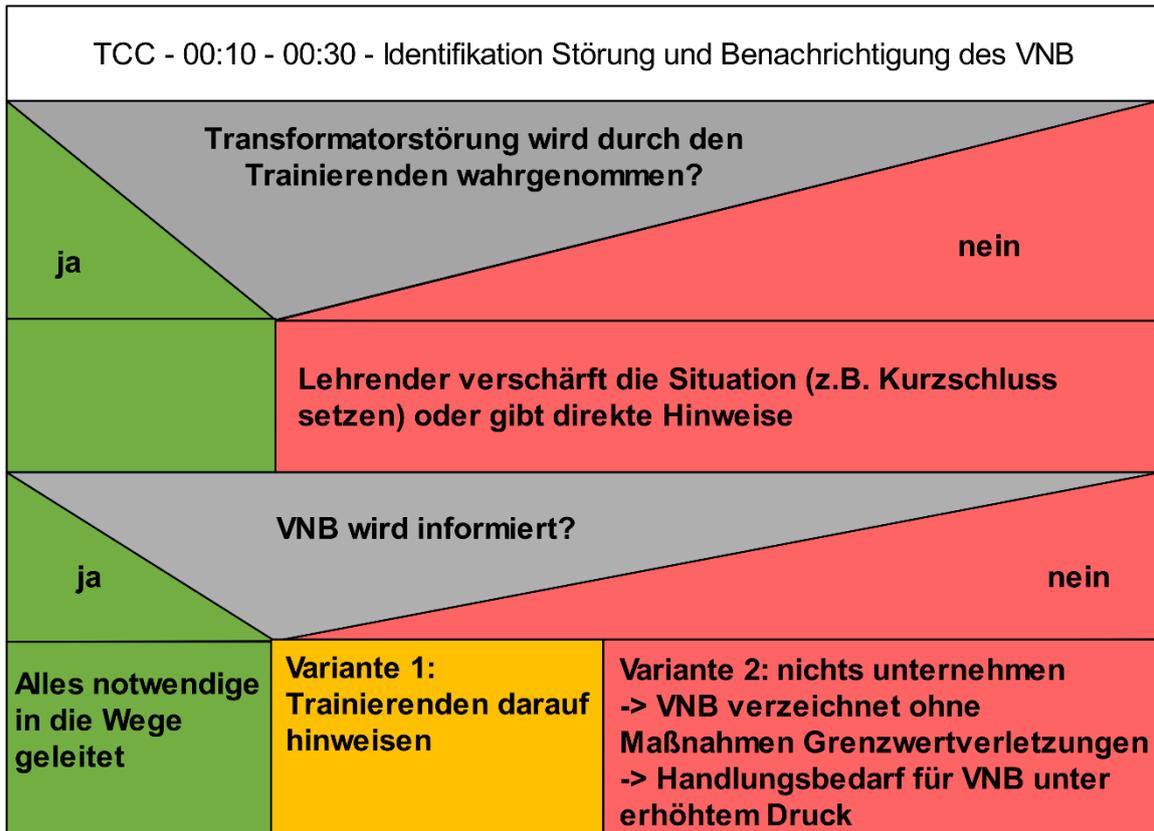


Abbildung 38: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC Transformatorstörung

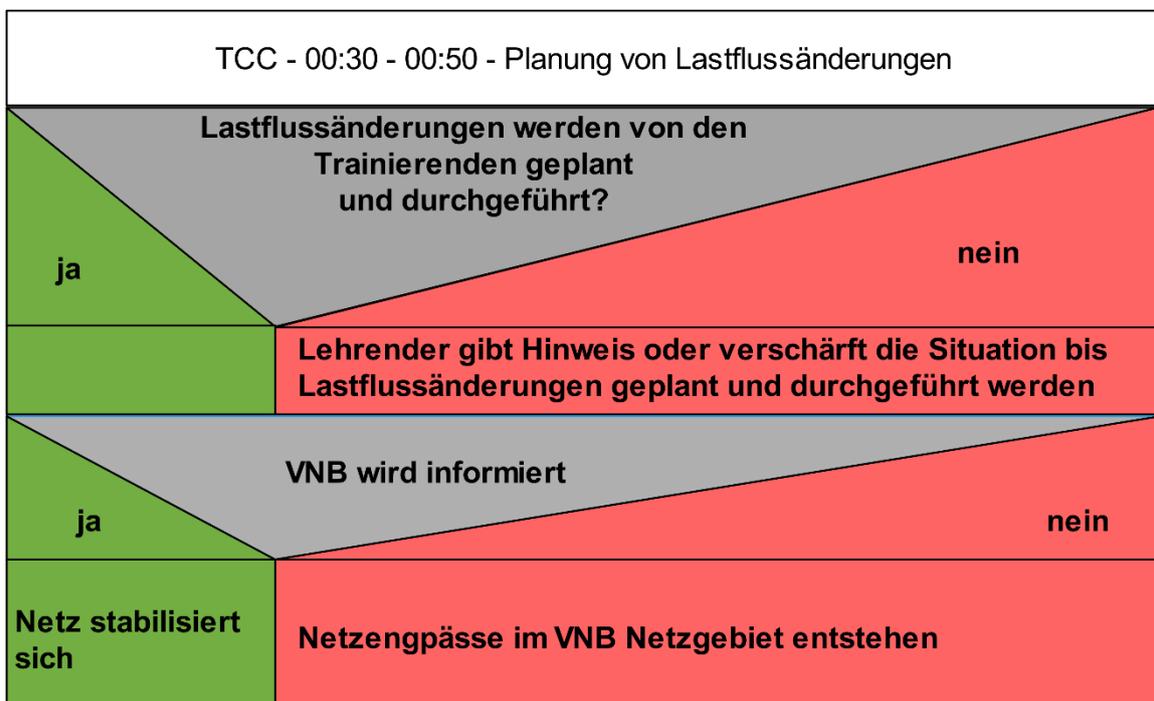


Abbildung 39: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC Lastflussänderungen

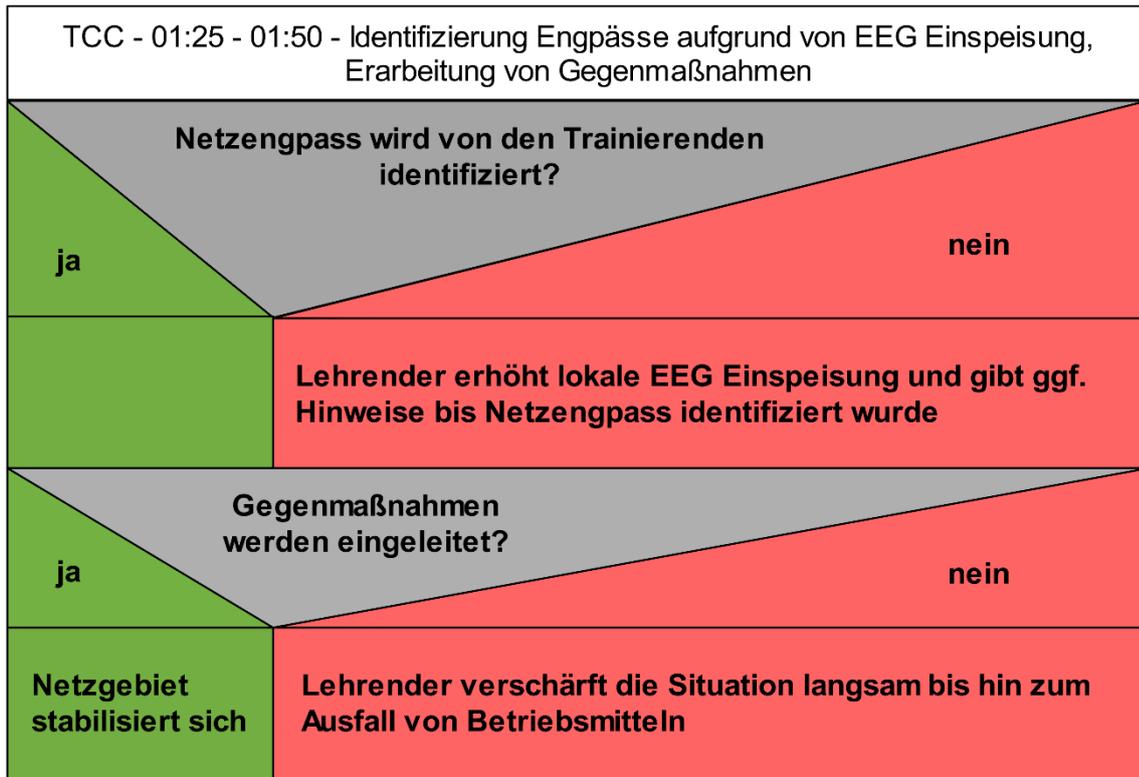


Abbildung 40: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - TCC EEG Netzengpass

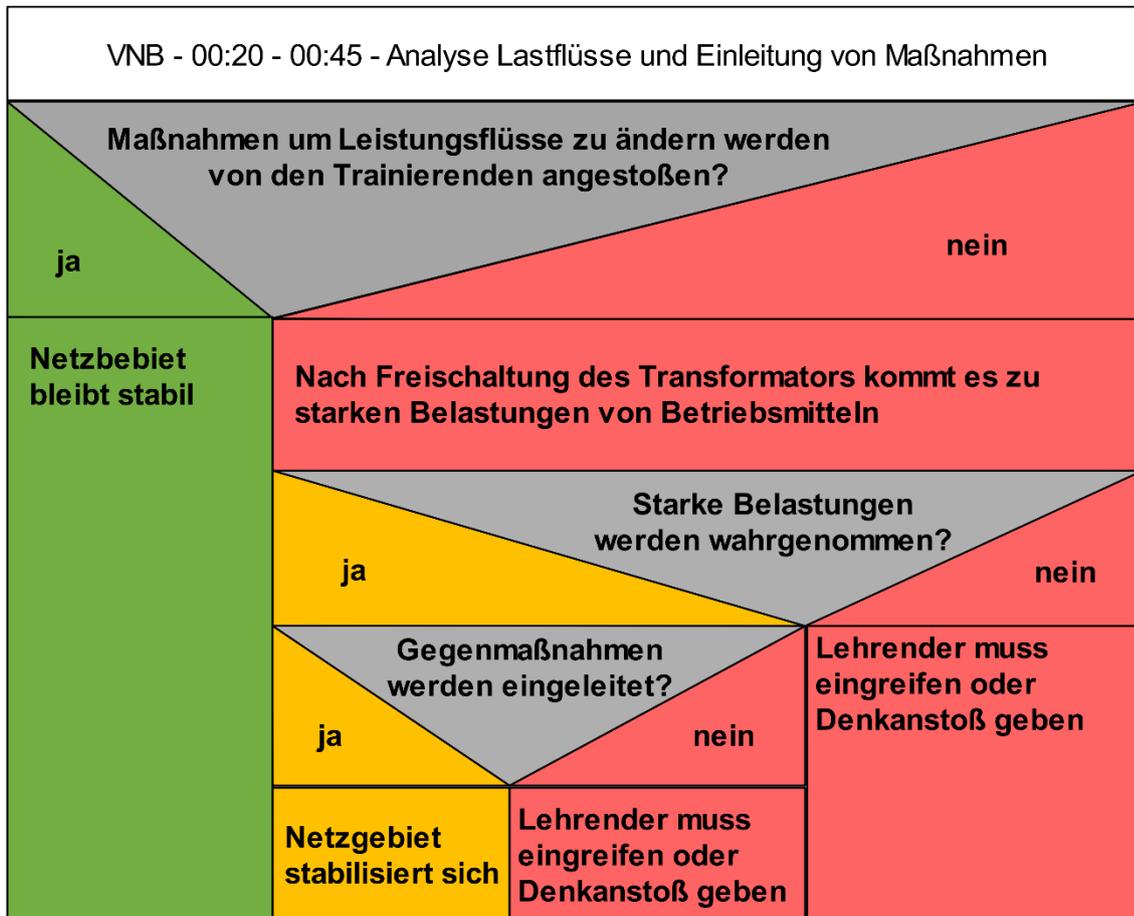


Abbildung 41: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - VNB Trafo Leistungsflussänderungen

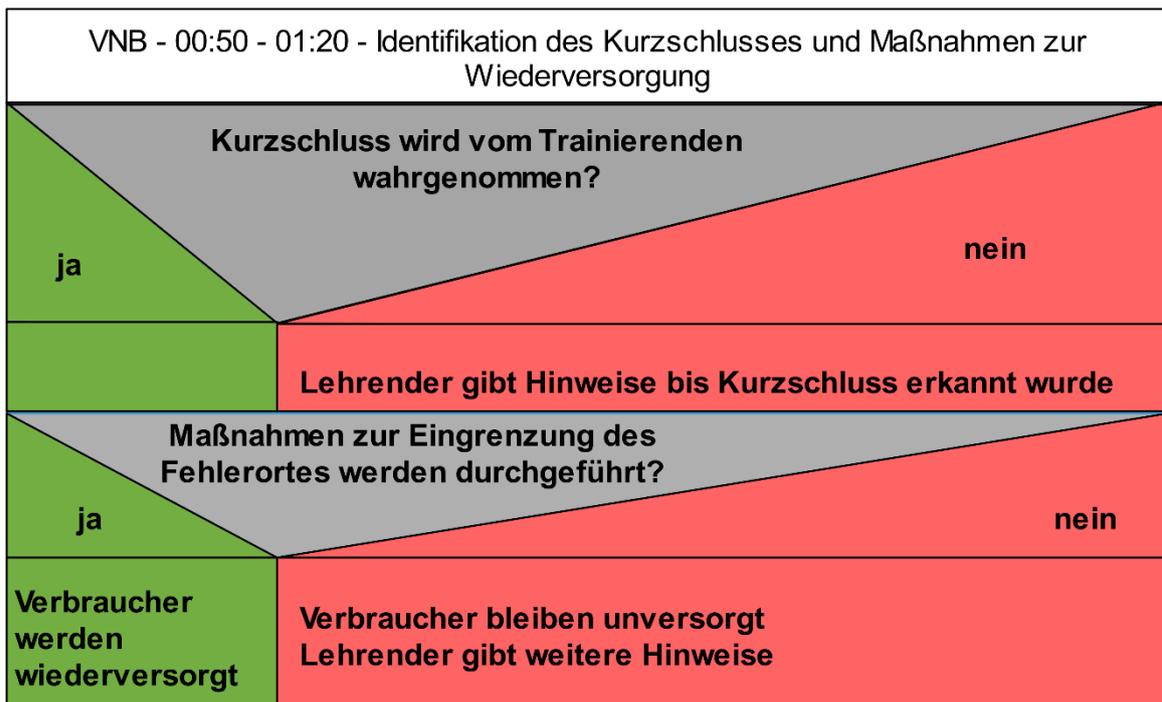


Abbildung 42: Struktogramm Gefährdeter Zustand Szenario - VNB Kabelring Kurzschluss

Diese Struktogramme können allerdings nicht sämtliche Entscheidungsmöglichkeiten der Trainierenden abdecken, weshalb sie nicht zu detailliert beschrieben sind. Sie geben allerdings Anhaltspunkte, wann es nötig ist, dass der Lehrende in das Szenario eingreift und wann er die Situation weiter eskalieren lassen kann bzw. stabilisierende eingreift, um den Lernprozess und die Lernziele zu gewährleisten bzw. sogar zu verstärken.

6.2.8. Notzustand

Szenarioinhalt: Die Ausgangssituation bei diesem Szenario ist eine Schwachlast mit starker Windkrafteinspeisung und eine Einspeisung der konventionellen Kraftwerke nahe am technischen Minimum. Die Trainierenden können hierbei fünf Rollen einnehmen: Transmission Control Center (TCC), Kraftwerkseinsatzplanung (KEP), Kraftwerksbetreiber (KB), Regionalzentrum (RZ) und Beobachter. Im Laufe des Szenarios wird die EE Einspeisung erhöht sowie Leitungen stark belastet.

Netzmodell: komplexes Netzmodell.

Ausgangszustand: Für das ganze Netz wird ein betriebsrealistischer Normalschaltzustand gewählt.

Ganglinien: Variable Ganglinien für alle Einspeiser und Verbraucher wobei die Frequenzschwankungen im Netzgebiet ohne äußere Einflüsse nicht mehr als $\Delta f=0,02$ Hz betragen sollten.

Ablaufplan: Nach dem Start der Simulation gibt es zunächst eine kurze Phase, in der sich das Netz im Normalzustand befindet. Nach 5 Minuten startet der Lehrende ein 10-minütiges Szenario, in dem sich aufgrund einer Wetterfront die EE Einspeisung erhöht. Das TCC muss darauf reagieren und die KEP um eine Absenkung der Kraftwerkseinspeisung bitten. Die KEP prüft die Vorgaben und gibt Anweisungen an die KB, welche diese umsetzen. Nachdem diese erste Notsituation bewältigt wurde, erhöht der Lehrende erneut in einem 10-minütigen Szenario die EE Einspeisung. Da die konventionellen Kraftwerke nun an ihrem technischen Minimum angelangt sind, muss das TCC Netzsicherheitsmaßnahmen mit Hilfe des System-sicherheitsmanagements vornehmen, um EE Anlagen einzusenken. Wurde dies umgesetzt, befindet sich das Netz wieder in einem stabilen Zustand. Der Lehrende erhöht nun lokal die EE Einspeisung und Last, um eine Leitung zu überlasten. Das TCC muss diese identifizieren und Gegenmaßnahmen einleiten. Zum einen kann es die Aufforderung zu Redispatch Maßnahmen an die KEP stellen und zum anderen durch Verteilung der Lastflüsse dazu beitragen, dass die kritische Leitung entlastet wird. Dazu führt das TCC ein Schaltgespräch mit dem RZ. Mit der Bewältigung dieser Notsituation endet die Simulation. Abbildung 43 zeigt den Ablauf dieses Szenarios.

Wie bei dem Szenario „gefährdeter Zustand“ stellt dieser Ablaufplan das ideale Szenario dar, wenn alle Trainierenden richtig handeln und somit die kritische Netzsituation beherrschen. Dies ist keinesfalls gewährleistet, sodass auch hier aufgrund ausbleibender oder falscher Maßnahmen durch die Trainierenden, netzstützende Maßnahmen eingeleitet werden können. Aus diesem Grund stehen dem Lehrenden äquivalent Struktogramme mit Entscheidungsbäumen zur Verfügung, welche gewährleisten, dass das Szenario auch beim Ausbleiben der richtigen Maßnahmen durch die Trainierenden, gemäß dem Ablaufplan durchgeführt werden kann. Diese sind in Abbildung 44 bis Abbildung 46 ersichtlich.

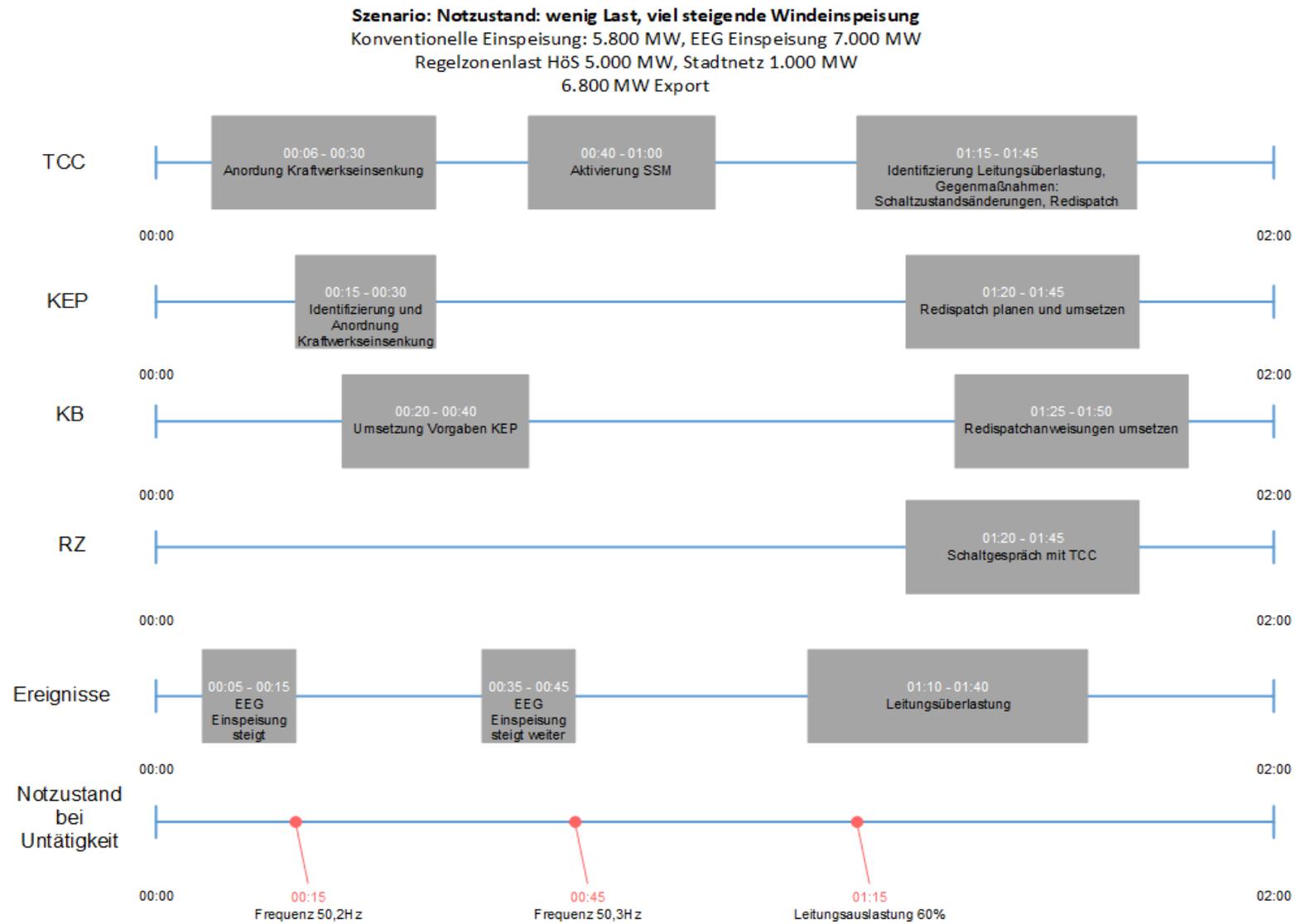


Abbildung 43: Ablaufplan Szenario Notzustand

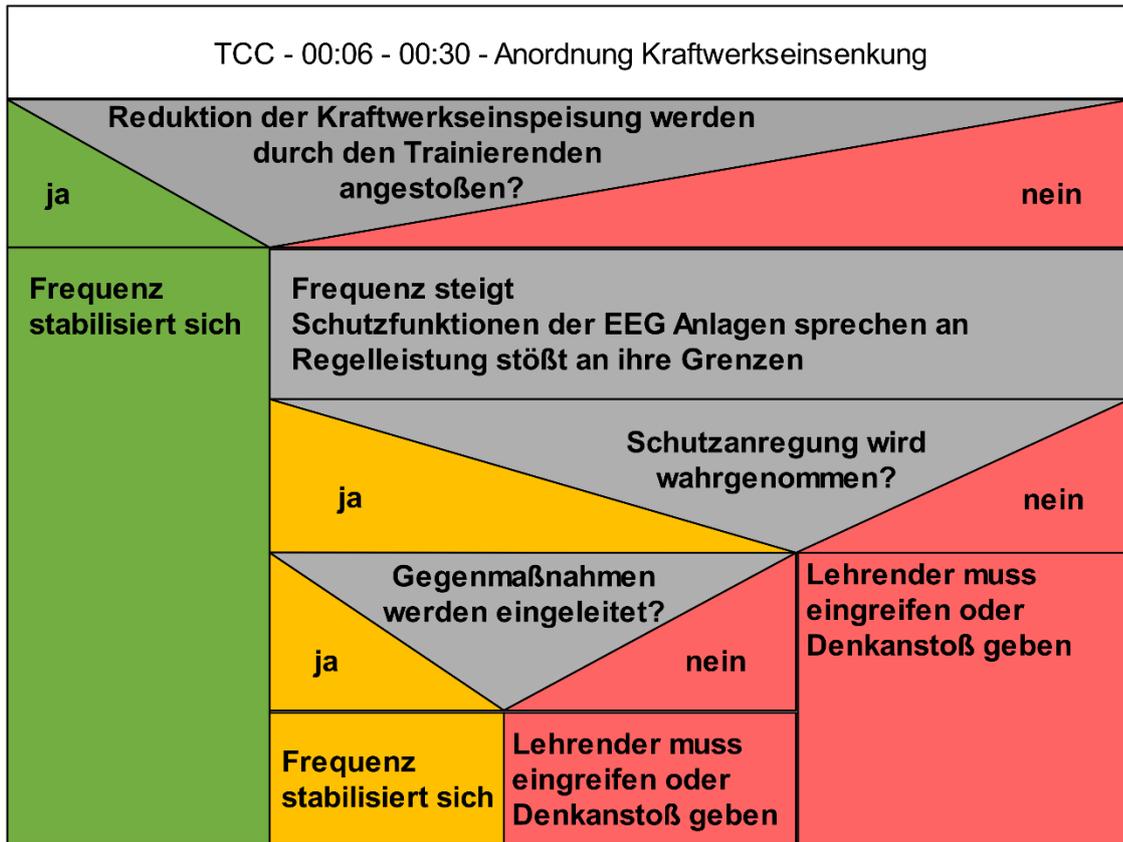


Abbildung 44: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC Kraftwerkseinsenkung

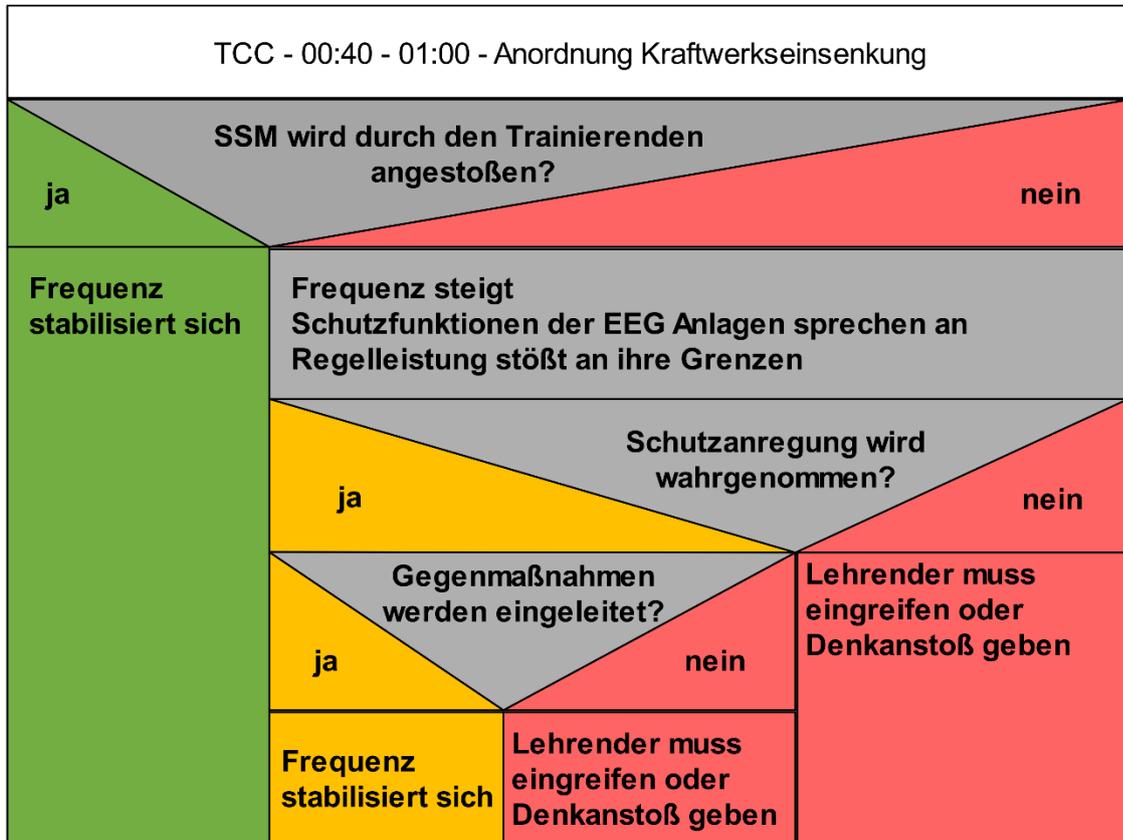


Abbildung 45: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC SSM

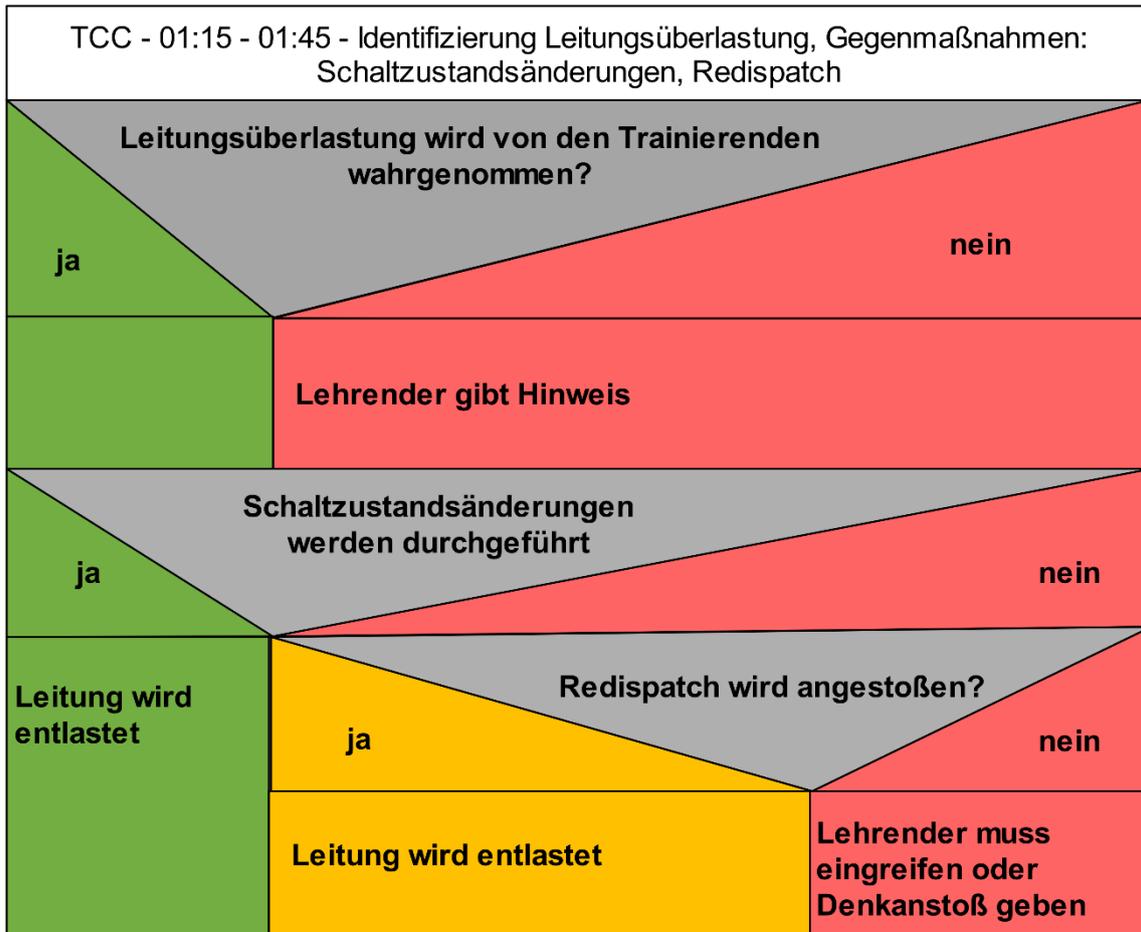


Abbildung 46: Struktogramm Notzustand Szenario - TCC Leitungsüberlastung

Die dabei beschriebenen Denkanstöße des Lehrenden wären z.B. Anrufe beim TCC mit der Meldung, dass besorgte Bürger eine sehr tief hängende Leitung über der Autobahn gemeldet haben. Dadurch bekommen die Trainierenden lediglich einen Hinweis auf eine stark belastete Leitung, anstatt ihnen direkt die Lösung zu nennen.

6.2.9. Netzwiederaufbau

Szenarioinhalt: Bei diesem Szenario ist das komplette Netz aufgrund einer Großstörung spannungslos. Lediglich ein Kraftwerksblock hat sich in der Insel gefangen, mit dessen Hilfe der Netzwiederaufbau vollzogen werden soll. Die Trainierenden können hierbei vier Rollen einnehmen: Transmission Control Center (TCC), Kraftwerksbetreiber (KB), Verteilnetzbetreiber (VNB) und Beobachter. Unter der Führung des TCC wird in enger Absprache mit VNB und KB das Netz wieder mit Spannung versorgt. Dazu werden nach und nach kleine Teilzuschaltungen von Verbrauchern vorgenommen.

Netzmodell: komplexes Netzmodell.

Ausgangszustand: Das Übertragungsnetz wird vom Randnetz getrennt und ist komplett spannungslos. Das Kraftwerk Jänschwalde Block A befindet sich im Inselbetrieb. Das Verteilnetz ist spannungslos.

Ganglinien: irrelevant, da das ganze Netz spannungslos ist.

Ablaufplan: Nach dem Start der Simulation gibt es zunächst eine Phase, in der die Trainierenden Gruppen ihr jeweiliges Netzgebiet bzw. Kraftwerke analysieren und diese Informationen zusammentragen. Danach werden zunächst alle Netz- und Kuppeltransformatoren ober- und unterspannungsseitig ausgeschaltet. Sämtliche Leistungsschalter im Übertragungsnetz werden ausgeschaltet, einschließlich und insbesondere von Drosseln und Kondensatorbänken. Die Sekundärregelung des in der Insel befindlichen Generators wird deaktiviert. Weiterhin wird das Kraftwerk in Drehzahlregelung gefahren. Alle EE Anlagen werden vom Netz getrennt. Nun wird zunächst eine Sammelschiene in Preilack unter Spannung gesetzt. Daraufhin wird ein 380-kV/110-kV-Transformator in Betrieb genommen. Daraufhin kann in Absprache mit dem VNB eine erste Last zugeschaltet werden. Dazu wird im Kraftwerksblock zunächst die Drehzahl erhöht, sodass die Netzfrequenz ca. 50,5Hz beträgt. Nachfolgend kann eine Last von etwa 15MW zugeschaltet werden. Es werden so lange Lasten hinzugeschaltet, bis der Kraftwerksblock seine technische Mindestlast erreicht hat. Dabei ist auch stets auf eine Spannung im Bereich von 0,85 bis 1,1 Un zu achten. Deshalb wird im Vorfeld einer Lastzuschaltung die Spannung etwas erhöht und im Anschluss an eine Leitungszuschaltung etwas verringert. Unter sukzessiver Zuschaltung von Verbrauchern, sind die nachfolgenden Schritte für den Netzwiederaufbau die Einschaltung einer Leitung nach Graustein, um dort ein Kraftwerksblock von Schwarze Pumpe in Betrieb zu nehmen, sowie mit Einschaltung des 380-kV/110-kV-Transformators das unterlagerte Verteilnetz unter Spannung zu setzen. Analog dazu wird das Dreibein Preilack-Neuenhagen-Eisenhüttenstatt eingeschaltet, um mit dem Netzwiederaufbau fortzufahren. Abbildung 47 zeigt das Struktogramm des Szenarios.

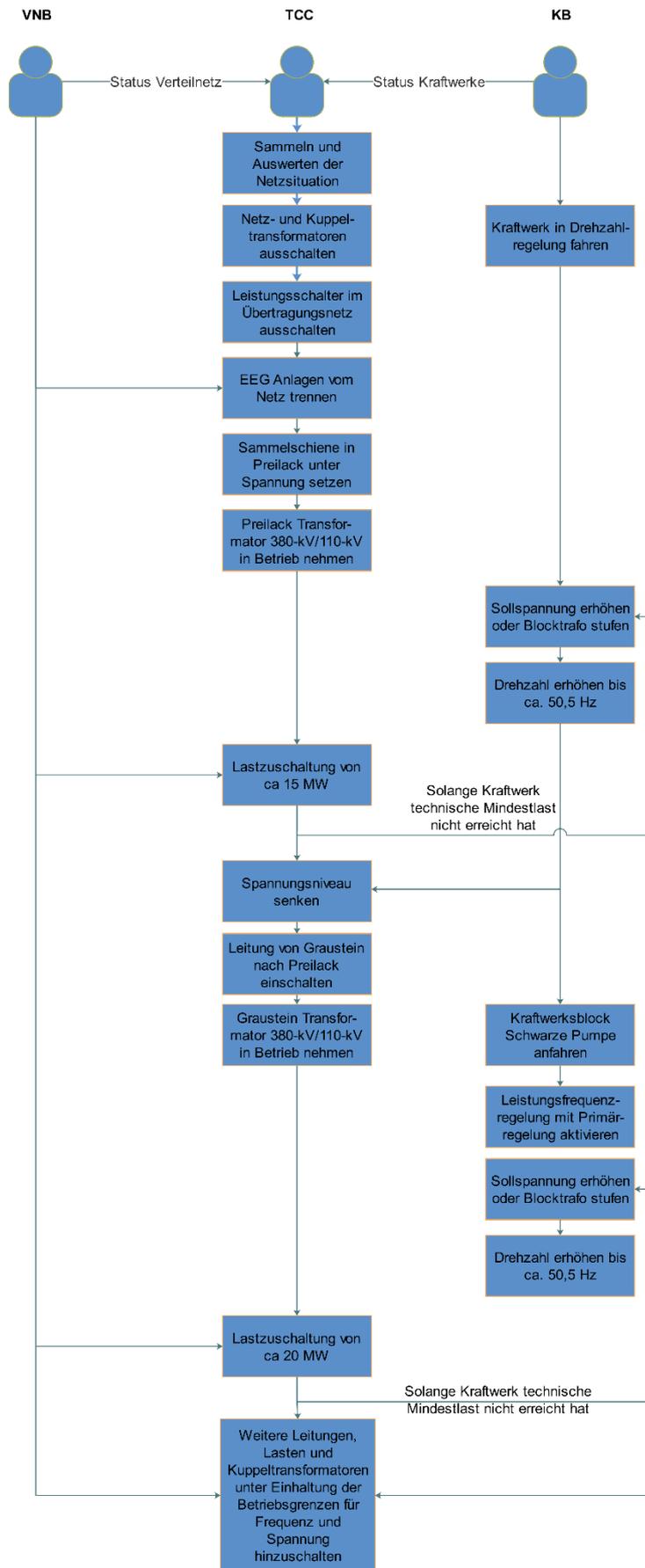


Abbildung 47: Struktogramm Szenario Netzwiederaufbau

Da bei dem Netzwiederaufbau das Netz sehr volatil ist, führen selbst die kleinsten Fehler zu einer Schutzauslösung und somit zum erneuten Blackout. Demzufolge muss der Lehrende jeden Schritt der Trainierenden überwachen und ggf. sofort eingreifen, damit das Szenario durchgeführt werden kann.

6.3. Praktische Durchführung

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die inhaltlichen Aspekte und Schulungsszenarien theoretisch beschrieben wurden, gilt es diese nun am Simulationssystem praktisch durchzuführen. Dazu müssen zunächst die Szenarien für die Simulation initialisiert werden. Während einer Schulung müssen der Lehrende bzw. idealerweise mehrere Lehrende verschiedene Aufgaben übernehmen. Dazu zählt auch die Auswertung und Nachbereitung am Ende eines jeden Szenarios, um den Lernfortschritt zu bewerten und ggf. besonders problematische Sachverhalte zu vertiefen. Am Ende dieses Kapitels erfolgt eine Evaluation der ersten Schulungsdurchläufe

6.3.1. Vorbereitung von Szenarien

Bei der Vorbereitung eines Szenarios, lässt sich unterscheiden zwischen Aufgaben, die nur ein Mal durchgeführt werden müssen und Aufgaben, die vor jedem Szenario aufs Neue erledigt werden müssen. Zu den Ersteren gehören das Anlegen von Schaltsequenzen, die es dem Lehrenden während der Simulation erlauben, per Knopfdruck Störereignisse zu erzeugen. Abbildung 48 zeigt den Anwahl Dialog mit den vorbereiteten Szenarien.

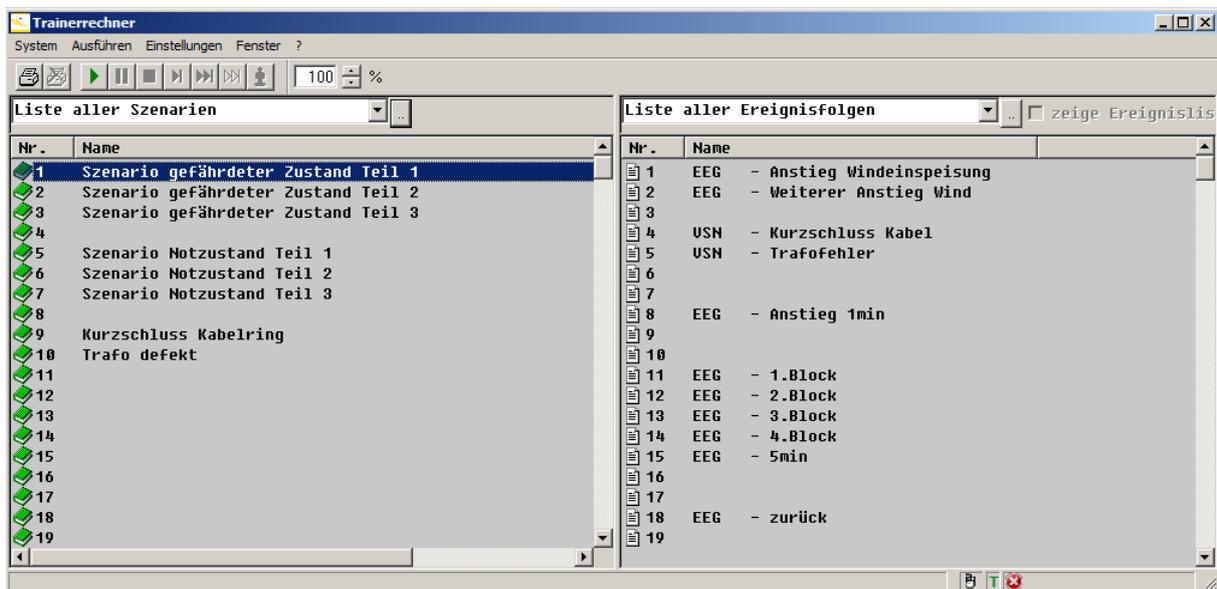


Abbildung 48: Anwahl Dialog Szenarien

Zu den links dargestellten Szenarien, können die rechts vorbereiteten Ereignisfolgen, wie sie bereits in Kapitel 5.1.1 beschrieben wurden, hinzugefügt werden. Per Mausklick kann der Lehrende nun solch ein Ereignis starten und sich so auf die Reaktionen der einzelnen Trainierenden Gruppen konzentrieren. Dadurch ist es möglich, bereits im Vorfeld der Durchführung eines Szenarios, zusätzliche Ereignisse zu konzipieren, die die Herausforderungen, denen die Trainierenden im Laufe des Szenarios ausgesetzt sind, verschärfen bzw. entschärfen. Somit kann flexibel auf die Fähigkeiten der jeweiligen Trainierenden eingegangen werden.

Die zweite Aufgabe, die einmalig zur Vorbereitung eines Szenarios durchgeführt werden muss, ist die Spezifikation aller Ganglinien der für das jeweilige Szenario beteiligten Erzeuger und Verbraucher. Die Bedienoberfläche des eigens für die Ganglinienverwaltung entwickelten Tools ist in Kapitel 5.4.1 beschrieben.

Wie in diesem Kapitel bereits erwähnt wurde, können für Verbraucher 10 unterschiedliche Lastprofile und für Erzeugungsanlagen vier verschiedene Erzeugerprofile gespeichert werden. Diese lassen sich beim Start einer Simulation beliebig miteinander verknüpfen, sodass theoretisch 40 unterschiedliche Szenarien abgespeichert werden können. Abbildung 49 zeigt dieses Zusammenspiel von Ganglinien, Ausgangsschaltzuständen und der Simulation eines Szenarios mit den darin aktivierbaren Ereignissen.

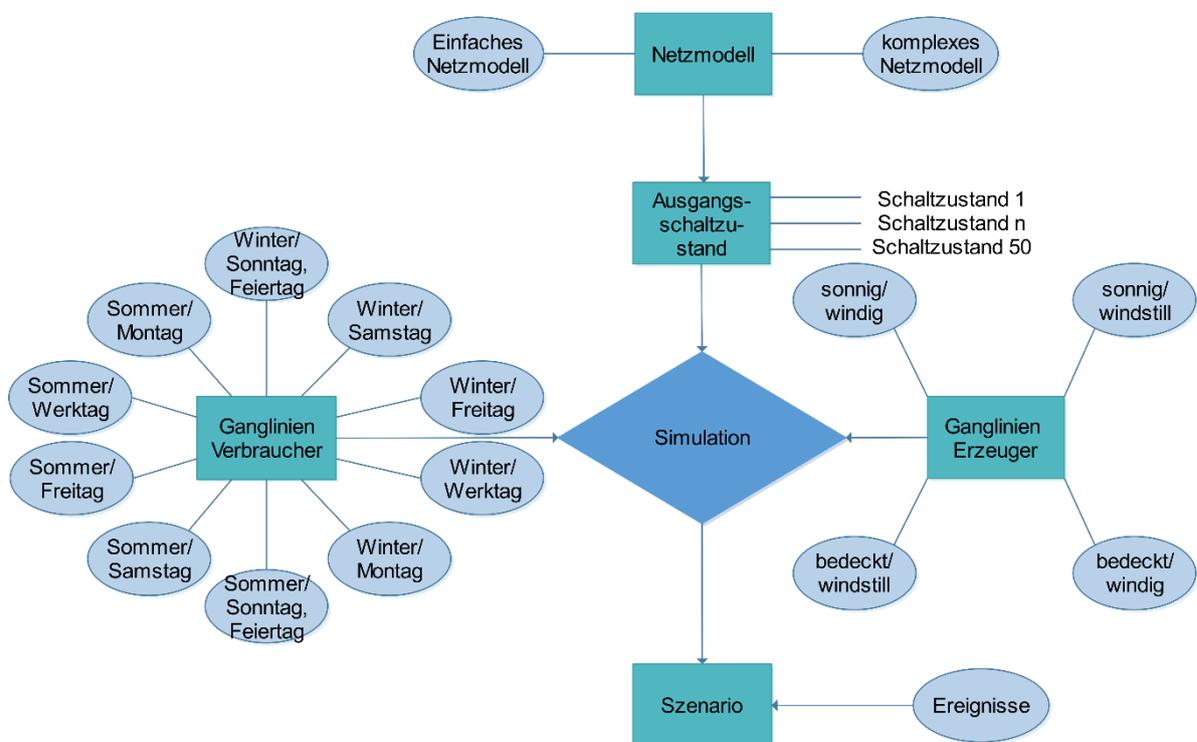


Abbildung 49: Schematische Darstellung zum Start einer Simulation

Sind all diese Vorbereitungen getroffen, die einmalig für jedes Szenario durchgeführt werden müssen und auf die der Lehrende dann immer wieder zurückgreifen kann, gibt es Aufgaben, die für jede Schulung aufs Neue vollzogen werden müssen. Neben organisatorischen Aufgaben, wie das Einrichten der Arbeitsplätze mit dem der Rolle entsprechenden Login und Aktivierung des benötigten Netzmodells, gehört die Einteilung der Trainierenden Gruppen und das Vertraut machen mit dem Szenario zu diesen Aufgaben. Bei den drei komplexen Szenarien „gefährdeter Zustand“, „Notzustand“ und „Netzwiederaufbau“ sollten die erfahrenen Netzbetriebsführer die Rolle des TCC übernehmen, da dies zumeist die Schlüsselrolle zur Bewältigung der Situation darstellt. Je nach Trainierenden Gruppe müssen die bevorstehenden Herausforderungen, die sie zu bewältigen haben, mal mehr und mal weniger detailliert beschrieben werden. Techniker und Studierende erfordern eine ausführlichere Einweisung als im Unternehmen tätige Betriebsführeranwärter. Abbildung 50 zeigt zusammenfassend die Szenario vorbereitenden Aufgaben der Lehrenden.

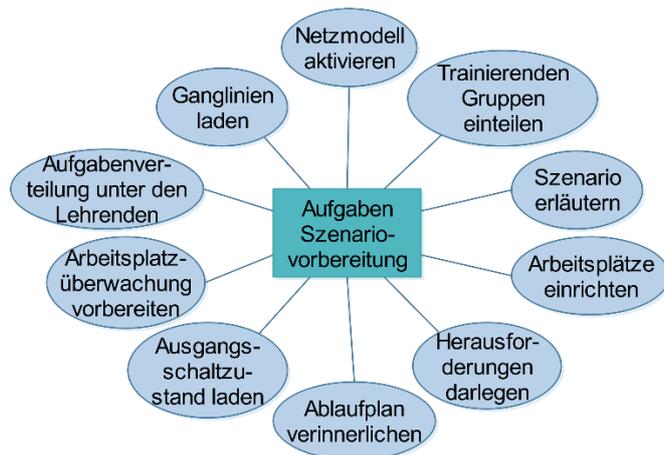


Abbildung 50: Aufgaben des Lehrenden vor dem Simulationsstart

6.3.2. Aufgaben der Lehrenden während einer Simulation

Im vorherigen Kapitel und insbesondere in Abbildung 50 wurden bereits Aufgaben der Lehrenden zur Vorbereitung einer Simulation und eines konkreten Szenarios erläutert. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Aufgaben, die die Lehrenden während eines Planspiels erledigen müssen. Diese werden im Folgenden erläutert:

- Überwachen der Trainierenden Arbeitsplätze

Eine der primären Aufgaben ist die Überwachung der Trainierenden, um den Verlauf des jeweiligen Szenarios einschätzen und am Ende eines Trainings Feedback geben zu können. Dabei ist es sinnvoll, Schlüsselereignisse oder Verhaltensweisen der Trainierenden, die sofort auffallen, zu dokumentieren. Das wichtigste Tool für diese Aufgabe ist die in Kapitel 5.4.2

beschriebene Master Solution Software. Je nach Teilnehmeranzahl und Anzahl der Lehrenden ist auch ein direktes ‚über die Schulter gucken‘ möglich. Aber auch das Leittechniksoftware interne Tagebuch dokumentiert alle Schalthandlungen, die im System durchgeführt werden.

- Aktivierung von Ereignissen

In den vorherigen Kapiteln wurde ein Ablaufplan mit konkreter Zeitschiene erarbeitet, in denen Ereignisse spezifiziert wurden, die zu kritischen Situation für die Betriebsführer führen. Der Lehrende muss nun diese Ereignisse aktivieren. Dabei muss er in Echtzeit den bisherigen Verlauf eines Szenarios einschätzen können, um dann zum richtigen Zeitpunkt das entsprechende Ereignis zu starten. Dazu zählt insbesondere auch das Einspielen von zusätzlichen Ereignissen, die darauf abzielen, die Trainierenden, je nach den individuellen Fähigkeiten, vor eine herausfordernde Situation zu stellen, ohne sie zu überfordern.

- Eingreifen In das Planspiel

Idealerweise verläuft ein Planspiel so, dass der Lehrende nicht in das Szenario eingreifen muss, ausgenommen dem o.g. aktivieren der Ereignisse. Allerdings kann es passieren, dass die Trainierenden unzureichend oder falsch auf ein Störereignis reagieren, sodass das ganze Szenario Gefahr läuft, zu eskalieren. Dies kann durchaus zu einem Lerneffekt führen und der Lehrende kann dies bewusst herbeiführen. Andernfalls muss der Lehrende helfend in das Szenario eingreifen, wie die Struktogramme in Kapitel 6.2.7 bis 6.2.9 nahelegen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten: in besonders kritischen Situationen kann der Lehrende direkt Schalthandlungen vornehmen oder den jeweiligen Trainierenden konkret erläutern, was sie tun müssen, um das Netz zu stabilisieren. Der Lerneffekt wird hierbei am geringsten ausfallen. Eine bessere Alternative ist das Geben von Hinweisen, die sich idealerweise natürlich in das Szenario einfügen lassen. Beispielsweise bietet sich bei einer unbenutzt überlasteten Leitung ein Telefonat an, bei dem der Lehrende einen besorgten Bürger imitiert, der eine sehr tief hängende Leitung meldet. Somit ergibt sich eine weitere Aufgabe für den Lehrenden:

- Einnehmen verschiedener Rollen

Bei manchen Szenarios ist es notwendig, dass der Lehrende selbst eine Rolle einnimmt. Dies ist beispielsweise bei dem Szenario „gefährdeter Zustand“ der Fall, bei dem der Lehrende die Rolle des Technikers, der für die Störungsbeseitigung im Kabelring zuständig ist, übernimmt, um den Trainierenden bei der Identifikation des Kurzschlusses zu unterstützen. Des Weiteren ist das o.g. außerplanmäßige Einnehmen von Rollen nötig, um einen größtmöglichen Lerneffekt bei den Trainierenden zu gewährleisten.

Durch diese Aufgabenbeschreibung wird deutlich, dass ein Lehrender nicht alle Aufgaben mit voller Aufmerksamkeit durchführen kann. Ein Mindestmaß an zwei Lehrenden muss sich die Aufgaben teilen, um die komplexen Planspiele sachgemäß durchführen und pädagogisch begleiten zu können. Abbildung 51 zeigt eine sinnvolle Aufgabenverteilung von der Vorbereitung bis zu der Durchführung der Planspiele. Dabei wird ersichtlich, dass bei der Vorbereitung die Lehrenden unabhängig voneinander arbeiten können. Je näher es an die Durchführung des Planspiels geht, desto mehr arbeiten die Lehrenden zusammen und müssen sich bei den Aufgaben „Eingreifen in das Planspiel“ und „Aktivierung von Ereignissen“ auch direkt miteinander absprechen, damit ein Ereignis oder ein Eingreifen nicht vorweggenommen wird. Je mehr Trainierende an dem Planspiel beteiligt sind, desto eher wird ein weiterer Lehrender nötig, der sich ausschließlich mit der Überwachung der Trainierenden befasst.

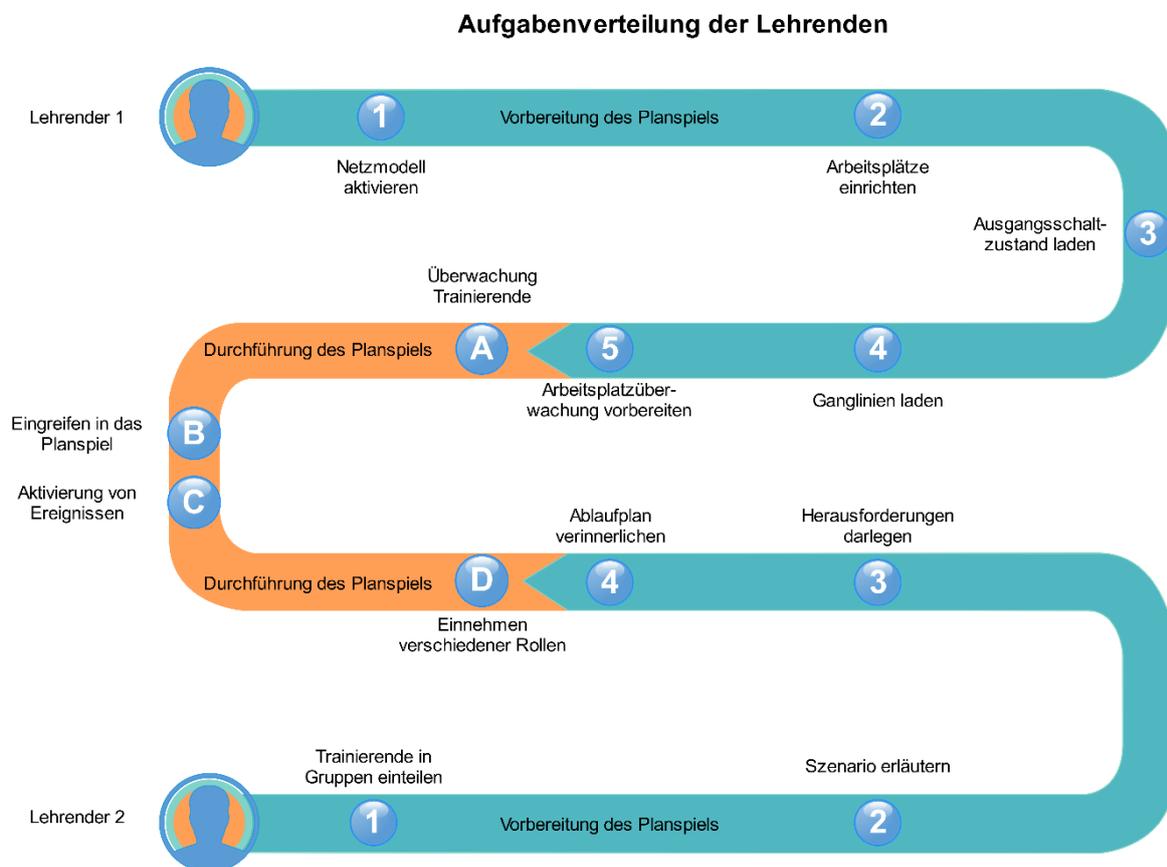


Abbildung 51: Aufgaben der Lehrenden zur Vorbereitung und Durchführung eines Planspiels

6.3.3. Auswertung und Nachbereitung der Planspiele

Nachdem ein Planspiel absolviert wurde, gilt es für die Lehrenden dies auszuwerten und den Trainierenden Feedback zu geben. Dabei lässt sich unterscheiden zwischen dem kurzfristigen, direkt im Anschluss an das Planspiel zu gebendem Feedback und dem, was nach einer tiefergreifenden Analyse des Planspiels durch den Lehrenden gegeben wird.

Bei dem kurzfristigen Feedback werden die Trainierenden miteinbezogen. Sie reflektieren ihre Reaktionen und Schalthandlungen selbst und erläutern, wo sie Schwierigkeiten bekommen haben oder was ihnen allgemein aufgefallen ist. Dabei schildert auch die Gruppe der Beobachter was ihnen als Außenstehende aufgefallen ist. Die Lehrenden gehen auf diese Rückmeldung ein und können ein vorzeitiges Fazit ziehen. Die Aussagen werden dabei allgemeiner sein und eine grundlegende Einschätzung zu den Reaktionen der einzelnen Trainierenden beinhalten, ohne auf konkrete Schalthandlungen einzugehen.

Eine detaillierte Rückmeldung ist dann erst durch eine tiefergreifende Analyse durch die Lehrenden möglich. Diese erfolgt außerhalb der eigentlichen Schulung in der Nachbereitung. Das wichtigste Tool, welches den Lehrenden dabei zur Verfügung steht, ist die in Kapitel 5.4.3 beschriebene Aufnahme-Funktion. Je nachdem, wie das Planspiel im Allgemeinen verlief, können hierbei Optimierungen in der Systemführung der einzelnen Trainierenden erarbeitet werden oder im Falle einer unplanmäßigen Eskalation des Netzzustandes, welche bis hin zu einem Blackout resultiert, können die Ursachen ermittelt werden, um den Trainierenden die konkreten Schalthandlungen aufzuzeigen, welche zu dieser Eskalation geführt haben. Um den Trainierenden diese Optimierungen, alternative Schalthandlungen oder auch die Maßnahmen, die eine Eskalation verhindert hätten aufzuzeigen, kann die Simulation mit Hilfe der Aufnahme Funktion zu dem jeweiligen Zeitpunkt neu gestartet und die Verbesserungsvorschläge direkt aufgezeigt werden. Alternativ können die Trainierenden eigenständig alternative Lösungsansätze erarbeiten, die sie dann in diesem neu aufgesetzten Startzeitpunkt erproben können. Abbildung 52 stellt die Zusammenhänge zwischen unmittelbaren sowie nachbereiteten Feedback mit den jeweiligen Akteuren und ihrem Beitrag zur Auswertung dar.

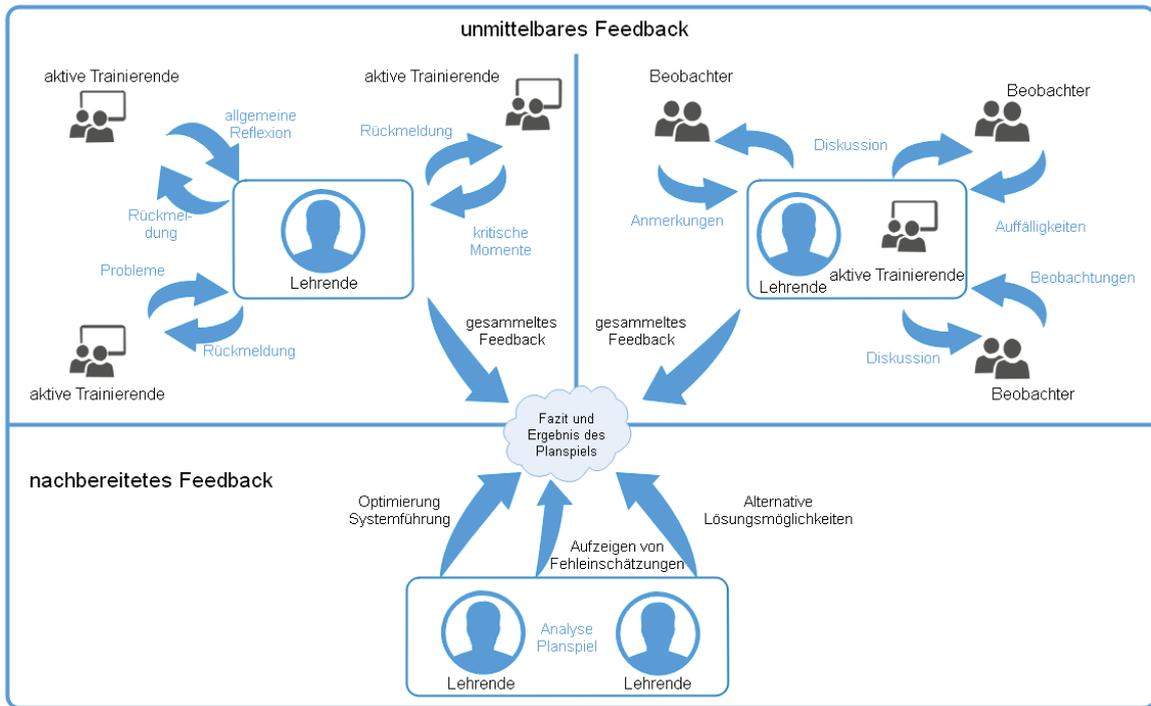


Abbildung 52: Auswertung eines Planspiels

6.3.4. Auswertung der ersten Schulungsdurchläufe

Da das Simulationssystem an der BTU Cottbus-Senftenberg aufgebaut und installiert wurde, bot es sich an, für den ersten Schulungsdurchlauf Studierende im Rahmen eines Lehrmoduls „Power System Operation“ zu schulen. Die Teilnehmerzahl betrug 18 Studierende, die sich im Master Studium befanden und einen unterschiedlichen internationalen Hintergrund, sowohl fachlich als auch kulturell, hatten.

Der theoretische Teil wurde, wie in dem Lehrkonzept beschrieben, durchgeführt. Aufgrund der fachlichen teils großen Unterschiede zwischen den Studierenden, erwies sich dieser Teil des Seminars als sehr hilfreich und auch notwendig, um alle Teilnehmer auf eine ähnliche Wissensstufe zu bringen. Dabei dienten bereits die Szenarien aus Kapitel 6.2.1 bis 6.2.3 als ergänzender praktischer Exkurs, um den sonst stark theoretisch gehalten Teil zu veranschaulichen. Die fünfte Woche konnte nicht für die Exkursion genutzt werden, da es den jeweiligen Anlagenbetreibern nicht möglich war, an diesem Termin eine Führung durchzuführen. Stattdessen fand ein Besuch des Umspannwerkes Preilack und einer anschließenden Besichtigung des Kraftwerks Jänschwalde in der 9. Woche statt.

Somit begann der Teil der praktischen Übungen in der fünften Woche. Bereits bei den einfachen Schaltaufgaben wurde deutlich, dass den Studierenden die Darstellung des Versorgungsnetzes als einphasiges Ersatzschaltbild Probleme bereitet. Bei der Anwendung der Schaltsprache kam es oft zur falschen Benennung einzelner Schaltgeräte. Den Studierenden die Fähigkeit, einfache Schaltaufgaben eigenständig zu lösen, zu vermitteln, dauerte somit länger als im Schulungskonzept angenommen. Diese Schwierigkeiten setzten sich bei den komplexen Schaltaufgaben fort, sodass auch für die Bewältigung dieser Aufgaben mehr Zeit in Anspruch genommen werden musste. Dies führte dann schließlich zu der Entscheidung, dass durch das Fehlen der Gruppe der Netzbetriebsführer, welche als erfahrenes Schaltpersonal eine zentrale Rolle bei der Bewältigung der komplexen Szenarien einnehmen sollen, der dritten Teil des Seminars, die Simulation des Netzbetriebes, zu Gunsten einer Festigung der korrekten Ausführung von Schalthandlungen, zu streichen. Das korrekte Ausführen von Schalthandlungen unter Beachtung der Verriegelungsbedingungen und das Anwenden der fünf Sicherheitsregeln muss verinnerlicht worden sein, um Material- und vor allem Personenschaden zu vermeiden. Erst danach macht es Sinn, den Netzbetrieb zu schulen.

Folgende Tabelle zeigt die Unterschiede zwischen dem in Kapitel 4 erarbeiteten Lehrkonzept und des im Rahmen des ersten Durchlaufs mit Studierenden durchgeführten Seminars. Die farbliche Indikation zeigt dabei die planmäßige Vermittlung von Wissen (grün), eine Verschiebung von Themengebieten innerhalb der Schulung (blau) sowie eine Ersetzung von Lehrinhalten durch alternative Inhalte (rot) an.

Tabelle 13: Unterschiede Lehrkonzept und erster praktischer Durchführung

Woche	Lehrkonzept	Praktische Durchführung
1-4	Theorie	Theorie
5.	Exkursion in ein Umspannwerk, Kraftwerk und/oder EE Anlage	Bedienung Leittechniksoftware PRINS
6.	Bedienung Leittechniksoftware PRINS	Triviale Schaltaufgaben
7.	Triviale Schaltaufgaben	Triviale Schaltaufgaben
8.	Komplexere Schaltaufgaben	Komplexe Schaltaufgaben
9.	Komplexere Schaltaufgaben mit Versorgungswiederaufbau, Exkurs in Netzstruktur der Verteilnetzbetreiber	Exkursion Umspannwerk und Kraftwerk
10.	Szenario Normalzustand und Gefährdeter Zustand	Komplexe Schaltaufgaben
11.	Szenario Notzustand	Komplexe Schaltaufgaben mit Exkurs in Netzstruktur der Verteilnetzbetreiber
12.	Szenario Netzwiederaufbauzustand	Komplexe Schaltaufgaben mit Versorgungswiederaufbau
13.	Prüfung	Prüfung

Im Anschluss an das Seminar wurde ein Evaluationsbogen an die Studierenden ausgegeben, um zu erfahren, wie diese das Seminar empfunden haben, vor allem im Hinblick auf Arbeitstempo, Anspruch und Inhalte. In Anlage 4 ist die Auswertung von einigen ausgewählten Fragen zu finden. Das Ergebnis dieser Auswertung ist, dass die Studierenden das Arbeitstempo als genau richtig mit leichter Tendenz eines zu schnellen Arbeitstempos empfanden. Ein gemischtes Bild ergibt sich bei der Frage nach Wiederholung von inhaltlichen, bereits bekannten Aspekten. Während die Hälfte der Befragten dem nicht zustimmte, gaben 28% an, dass es für sie viele Überschneidungen gaben. Dies bestätigt die These, dass die Studierenden ein unterschiedliches fachliches Vorwissen hatten und der theoretische Teil somit sinnvoll ist, um alle Teilnehmer auf einen Wissensstand zu bringen. Dass die Studierenden am Ende des Seminars einen wesentlichen Wissenszuwachs hatten, bestätigten 79% der Befragten. Nur 21% waren geteilter Meinung bzw. waren der Meinung nicht beson-

ders viel gelernt zu haben. Bei der Anzahl der Schaltübungen ergibt sich ein widersprüchliches Bild. Zwar fanden die Studierenden, dass ein wenig zu viele Schaltübungen durchgeführt wurden, allerdings gab die Mehrzahl an, dass weitere Schaltaufgabe als Hausaufgabe ihrem Grundverständnis für die Thematik zuträglich wäre.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass bei der Schulung mit ausschließlich Studierenden als Teilnehmergruppe, entweder das Arbeitstempo, welches durch das ursprüngliche Schulungskonzept vorgegeben ist, verlangsamt werden muss, oder alternativ der theoretische Teil und die praktischen Übungen teilweise in das Selbststudium verlagert werden, sodass mit der gewonnenen Zeit die Planspiele mit der Simulation des Netzbetriebes gemäß dem Lehrkonzept durchgeführt werden können. Dabei kann die Rolle des TCC, welche für die ausgebildeten Betriebsführer angedacht ist, von den Lehrenden übernommen werden, um die Studierenden durch das Szenario zu führen. Dies erfordert allerdings einen erhöhten Personalaufwand auf Seiten der Lehrenden, um ein angemessenes fachliches Feedback geben zu können.

7. Erweiterung des Anwendungsgebietes in Forschung und Lehre

Bereits die ersten Erfahrungen mit der Schulung von ausschließlich Studierenden haben gezeigt, dass je nach Teilnehmergruppe eine Anpassung des in Kapitel 4 erarbeiteten Schulkonzepts sinnvoll ist. Demzufolge sind auch weitere, auf die jeweilige Zielgruppe zugeschnittene Lehrinhalte denkbar, um den Einsatz des Simulationssystems um weitere Anwendungsgebiete zu erweitern. Die Themen können dabei vielfältig sein: von der Einbeziehung in die Forschung über die Ausbildung zur Schaltberechtigung bis hin zu Veranstaltungen für Laien, denen das Energieversorgungssystem verständlich gemacht wird. Diese zukünftigen Einsatzgebiete sollen im Folgenden skizziert werden.

7.1. Weiterführende Forschung und Schulung unter Einbeziehung des Simulationssystems

Ein wesentlicher Vorteil des Simulationssystems ist die freie Gestaltung der Netzmodelle und die Möglichkeit Szenarien unter Einbeziehung verschiedener Akteure des Energieversorgungsnetzes zu simulieren. Daraus ergeben sich vielfältige Anwendungsgebiete für weitere Schulungen und Forschung, wie Abbildung 53 zeigt.

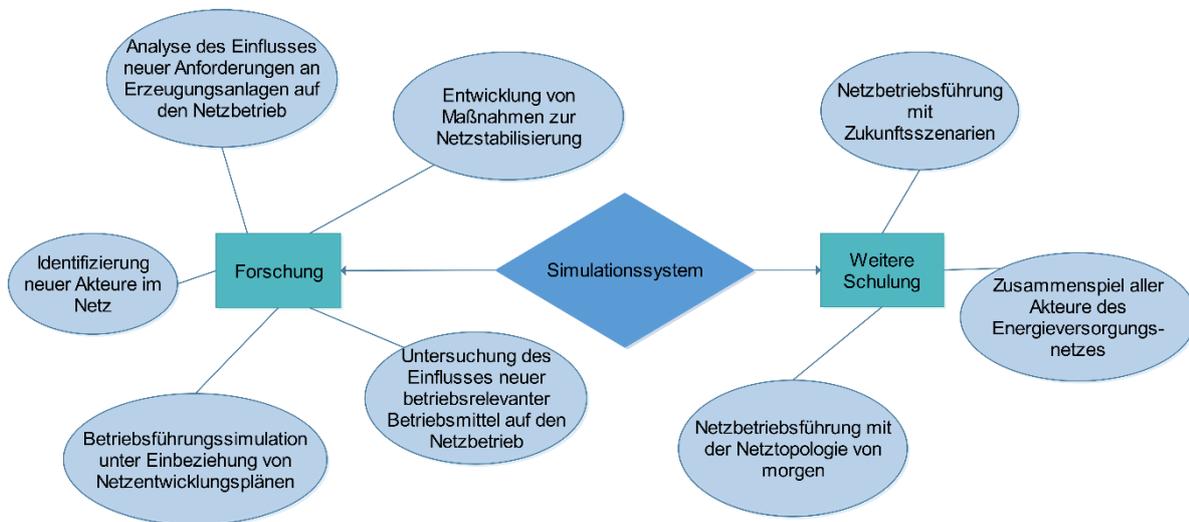


Abbildung 53: Weitere Forschung und Lehre mit dem Simulationssystem

Netzbetriebsführung mit Zukunftsszenarien: Durch die Energiewende und der damit einhergehenden Veränderungen der politischen und strukturellen Rahmenbedingungen ist das Energieversorgungsnetz stärker denn je in Wandlung. Dadurch ergeben sich zunehmend Extremszenarien mit einer starken Einspeisung von ungesicherter Energie durch erneuerba-

ren Energieanlagen und immer weniger gesicherter Kraftwerkseinspeisung durch konventionelle Kraftwerke. Diese neuen Szenarien können simuliert und erforderliche Betriebsführungsmaßnahmen geschult werden.

Netzbetriebsführung mit der Netztopologie von morgen: Das Energieversorgungsnetz befindet sich ständig im Wandel, um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden. Neben den normalen Umbaumaßnahmen in Umspannwerken und dem Netzausbau gibt es auch Eingriffe in die Netztopologie, welchen einen erheblichen Einfluss auf die Netzbetriebsführung haben. Jüngstes Beispiel ist die Installation von Phasenschiebertransformatoren an den Kuppelleitungen der Übertragungsnetze. Diese ermöglichen nicht nur eine Leistungsverchiebung über die jeweilige Leitung, sondern sogar eine Umkehr der Leistungsflussrichtung. Es ist wichtig, den Netzbetrieb mit solchen neuen Betriebsmitteln und den damit verbundenen neuen Stellgliedern in der Netzbetriebsführung zu trainieren.

Zusammenspiel aller Akteure des Energieversorgungsnetzes: Mit der Dezentralisierung und Digitalisierung des Energieversorgungssystems ergeben sich auch neue Rollenverständnisse der einzelnen Akteure. Dabei ist eine „noch engere Zusammenarbeit aller Netzbetreiber und die Entwicklung gemeinsamer, in ganz Deutschland anwendbarer Lösungen“ [51] nötig. Für den Netzbetrieb ergeben sich dadurch eine engere Abstimmung und gegenseitige Hilfe bei der Erbringung von Systemdienstleistungen. Diese intensiveren Abstimmungs- und Kommunikationswege können hervorragend mit dem Simulationssystem trainiert werden.

Entwicklung von Sonderschaltzuständen zur Netzstabilisierung: Mit zunehmender Installation von ungesicherter, fluktuierender Netzeinspeisungen, nehmen die „Netz in Gefahr“ Situationen zu, bei denen nach §13 EnWG Maßnahmen zur Netzstabilisierung getroffen werden müssen. Eine der ersten Maßnahmen ist dabei die Veränderung von Schaltzuständen um Lastflüsse zu verschieben und Engpässe zu beseitigen. Diese Sonderschaltzustände gehen auf Kosten der Redundanz bzw. des (n-1) Kriteriums und optimalen Lastverteilung, sind aber notwendig, um kritischen Netzsituationen ohne Eingriff in das Einspeisemanagement für einen begrenzten Zeitraum entgegenzuwirken. Diese Sonderschaltzustände, auch mit zukünftiger Netztopologie, gilt es zu erschließen und zu validieren.

Einfluss neuer betriebsrelevanter Betriebsmittel auf den Netzbetrieb: Der technologische Fortschritt in Verbindung mit dem Netzausbau bedingen ein sich ständig wandelndes Netzabbild und neue Anforderungen an die Topologie und der Betriebsmittel, um einen sicheren Netzbetrieb zu gewährleisten. Zu diesen neuen Technologien zählen beispielsweise Hochtemperaturleiterseile und thyristorgesteuerte Serienkompensation. Wo diese Betriebs-

mittel installiert und welche Anforderungen an diese gestellt werden müssen, um die Versorgungssicherheit im realen Netzbetrieb zu garantieren, kann mit dem Simulationssystem identifiziert und erprobt werden.

Betriebsführungssimulation unter Einbeziehung von Netzentwicklungsplänen: Alle zwei Jahre entwickeln die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber (50Hertz Transmission, Amprion, TenneT und TransnetBW) einen Netzentwicklungsplan, der Ausbauszenarien der Erzeugerlandschaft in Deutschland mit einem Zeithorizont von ca. 15 Jahren enthält und zeigen auf, wie die Integration erneuerbarer Energien mit dem damit einhergehenden Um- und Ausbaubedarf gelingen kann. Diese Zukunftsszenarien können mit realen Schaltzuständen simuliert und im Rahmen einer Betriebsführungssimulation auf ihre Auswirkungen auf den Netzbetrieb untersucht werden.

Identifizierung neuer Akteure im Energieversorgungssystem: Durch die Dezentralisierung des Energieversorgungssystems treten auch zunehmend kleine Akteure in das System, welche Systemdienstleistung anbieten. Diese neuen Akteure gilt es zum einen zu identifizieren und die dabei entstehenden neuen Hierarchien unter verschiedenen Szenarien wie Netzwiederaufbau und „Netz in Gefahr“ Situation zu definieren. Dabei können neue Kommunikationswege entworfen werden oder die neuen Akteure in die bestehenden Kommunikationswege integriert werden.

Analyse des Einflusses neuer Anforderungen an Erzeugungsanlagen auf den Netzbetrieb: Durch die Dezentralisierung des Energieversorgungssystems und allem voran der dezentralen Einspeisung von erneuerbaren Energien, treten zunehmend lokale Spannungshaltungsprobleme auf. Aus diesem Grund gelten bereits seit 2015 mit der VDE-AR-N 4120 neue Anforderungen vor allem an EE Erzeugungsanlagen. Auch in Zukunft wird es immer neue Anforderungen an Erzeuger und Verbraucher geben, welchen erheblichen Einfluss auf die Netzbetriebsführung haben werden. Diese neuen Charakteristika können in die Modelle des Simulationssystems eingepflegt werden und deren Einfluss auf die Netzbetriebsführung analysiert werden.

7.2. Lehrgang Grundsaltberechtigung

Lehrgänge für die Grundsaltberechtigung gibt es bei einer Vielzahl an Anbietern. Zumeist haben diese einen seminaristischen Charakter bei denen Theorie vermittelt wird und praktische Schaltaufgaben schriftlich gelöst werden. Dabei bekommen die Teilnehmer allerdings keinen Einblick in die tatsächlichen Schaltabläufe bei der Nutzung einer Leittechniksoftware und sammeln keine Praxiserfahrung über die Abläufe ihrer zukünftigen Tätigkeiten. Mit dem

Simulationssystem kann solch ein Lehrgang ergänzt werden. Der Aufbau kann dabei prinzipiell ähnlich gestaltet werden, wie bei dem in Kapitel 4 beschriebenen Schulungskonzept, mit einer Anpassung der theoretischen Abhandlung und einer strukturellen Orientierung an ein Blockseminar. Eine grobe Ausgestaltung zeigt die folgende Abbildung 54.

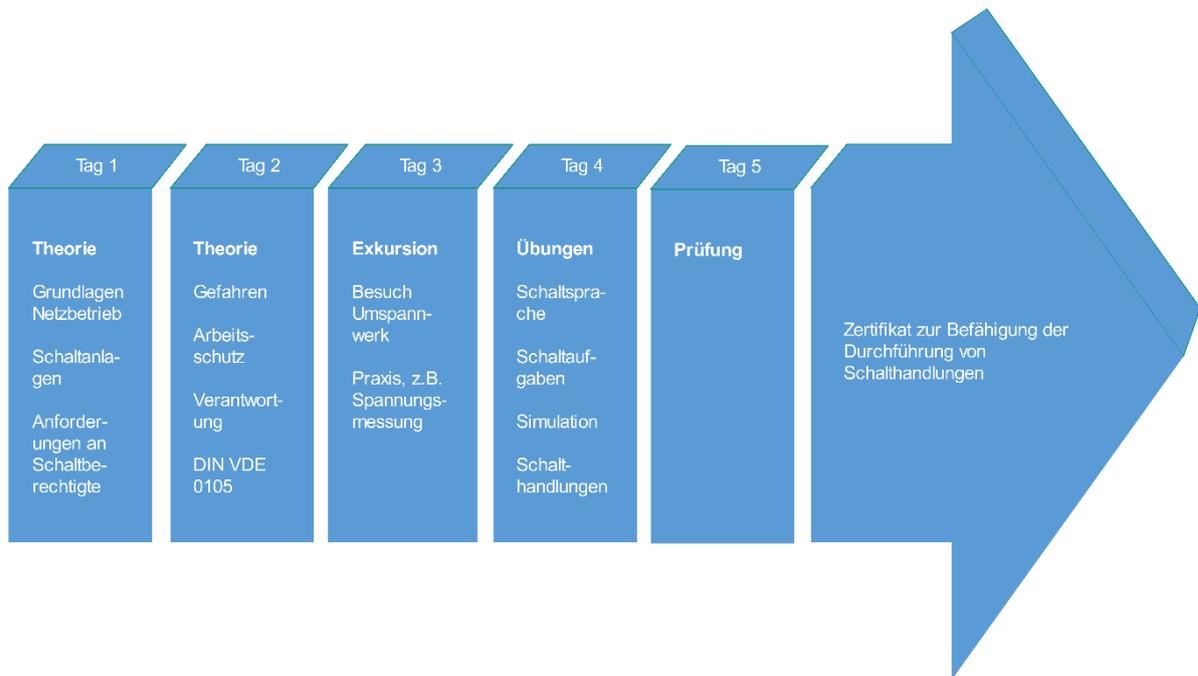


Abbildung 54: Entwurf eines Seminars Grundschaltberechtigung

Dabei wird an dem vierten Tag mit dem Simulationssystem gearbeitet, um Schaltaufgaben zu lösen, wie sie auch in Kapitel 4.3.3 beschrieben sind. Auch für die abschließende Prüfung kann das Simulationssystem genutzt werden.

Ergänzend dazu kann auch das Auffrischungsseminar für die jeweilige Grundschaltberechtigung durchgeführt werden. Dabei handelt es sich meist um ein ein- bis zweitägiges Seminar, bei dem am ersten Tag theoretische Aspekte wiederholt werden und am zweiten Tag praktische Schaltübungen durchgeführt werden.

7.3. Blockveranstaltungen

Für die meisten im Unternehmen tätigen Angestellten, sind Tagesveranstaltungen als Weiterbildung besser geeignet, als wöchentlich stattfindende Seminare, vor allem, wenn ihr Arbeitsplatz geografisch weit entfernt sind. Aber auch für Studierende und Techniker/Meister kann eine solche Veranstaltung interessant sein. Dabei kann beispielsweise eine 8-h-Schicht eines Netzbetriebsführers simuliert werden. Eine Kombination von Trainierenden aus bereits

tätigen Betriebsführern, angehende Betriebsführer und Studierende bzw. Techniker/Meister kann dabei eine Bereicherung für alle sein. Die unerfahrenen profitieren von den Berufserfahrenen und die Berufserfahrenen werden mit einer anderen (distanzierteren) Perspektive auf die Thematik konfrontiert. Damit kann der Betriebsblindheit entgegengewirkt werden.

Weiterhin kann eine Art Assessment Center durchgeführt werden, bei der Betriebsführeranwärter auf ihre Tauglichkeit getestet werden. Dabei können Szenarien aus Kapitel 6.2 herangezogen werden, um die Bewerber unter Stress zu versetzen und ihre Reaktionen und Handlungen zu beurteilen. Die dabei nötigen Tools zur Aufzeichnung und Analyse dieses Tests sind vorhanden und wurden in Kapitel 5.4 beschrieben. Außerdem ist es empfehlenswert für die Begleitung der Simulation und Auswertung des Assessment Center Fachleute im Bereich Verhaltenspsychologie hinzu zu ziehen. Dadurch ist neben der fachlichen Beurteilung bezüglich der Netzbetriebsführung eine qualitativ hochwertige Analyse des Verhaltens unter Stresssituationen gegeben. In diesem Zusammenhang existiert bereits eine Studie, welche sich im Rahmen einer Dissertation von R. Kockrow mit dem Thema „Eye-Tracking Studien in Leitwarten – Evaluation einer ‚Visuellen Komfortzone‘ für Operatortätigkeiten“ mit dem Bedien- und Beobachtungsverhalten von Kraftwerksführern auseinandergesetzt wurde.

7.4. Workshop Betriebsführer

In Kapitel 2 wurde bereits dargelegt, dass Betriebsführer nach ihrer Ausbildung weiterführende Trainingsprogramme sowie kontinuierliche Weiterbildungen absolvieren sollen. Dafür empfiehlt sich ein separater Workshop für Betriebsführer, bei dem weniger die Grundlagen des Energieversorgungssystems im Vordergrund stehen, sondern stark praxisorientierte Aspekte der Betriebsführung. Unter Verwendung des Simulationssystems können vor allem folgende Trainingsaspekte im Vordergrund stehen (siehe [1]):

- Betrieb des Übertragungsnetzes in allen Netzzuständen
- Erkennung außergewöhnlicher Betriebssituationen einschließlich der Reaktion darauf
- Horizontale und vertikale Trainingsszenarios, bei denen die Zusammenarbeit und Koordination zwischen den beteiligten Netzbetreibern im Vordergrund steht
- Handlungskompetenzen unter Stresssituation aufgrund kritischer Netzzustände

Für die meisten Anforderungen an das Training ist das komplexe Netzmodell geeignet. Damit können die oben genannten Aspekte ausreichend geschult werden. Für spezielle Schulungen, wie dem Netzwiederaufbau, ist es empfehlenswert, unter so realen Bedingungen wie

möglich zu trainieren, da diese Szenarien in der Realität sehr selten auftreten und die Betriebsführer demzufolge keine Erfahrungen mit solchen Situationen unter Realbedingungen vorweisen können. Somit ist ein aktuelles Netzabbild des jeweiligen Netzbetreibers nötig. Dies erfordert einen erheblichen Arbeitsaufwand und muss bei einer Planung solch eines Trainings berücksichtigt werden.

Weiterhin kann solch ein Workshop als Erfahrungsaustausch zwischen Betriebsführern unterschiedlicher Netzbetreiber und somit als Kommunikationsplattform dienen. Auch das Kennenlernen untereinander erhöht die zwischenmenschliche Beziehung und kann somit das Arbeitsklima verbessern. Neben fachlichen Aspekten können dabei auch organisatorische Themen, wie die Zusammenarbeit der Netzbetreiber untereinander, besprochen werden.

7.5. Veranstaltung für Laien

Im Zuge der Energiewende ist das Interesse der Bevölkerung an dem Energieversorgungssystem stark gestiegen. Zumeist stehen dabei Themen wie Netzausbau, Abschaltung konventioneller Kraftwerke, Stromversorgung durch EE-Anlagen oder einfach der allgemeine Systembetrieb der Netzbetreiber im Vordergrund. Auch Politiker müssen sich mit dem Energieversorgungssystem auseinandersetzen, da sie am Ende Regularien der Energiewende vorgeben. Oftmals handelt es sich bei diesen Personen um Laien, die ihr Wissen von den Medien oder auch den jeweiligen Lobbyvertretern beziehen und somit voreingenommen sind. Mit dem Simulationssystem an dem Standort der BTU Cottbus-Senftenberg existiert ein unvoreingenommener Standort, bei dem Wissen an Laien vermittelt werden kann. Sowohl das Publikum als auch die Themen können dabei vielfältig sein. Abbildung 55 zeigt einen Überblick über potenzielle Teilnehmer und Themen.

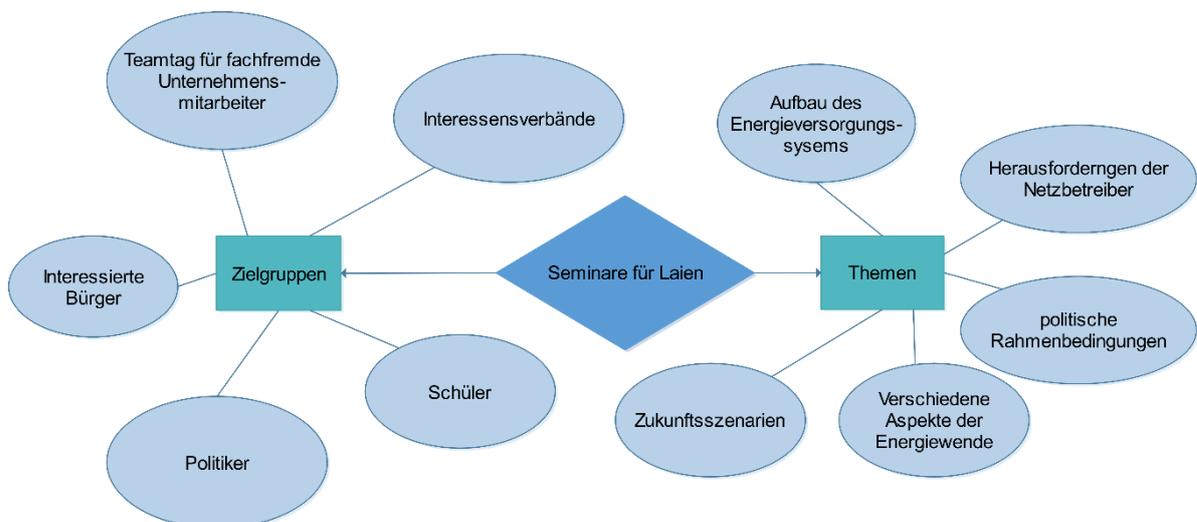


Abbildung 55: Zielgruppe und Themenschwerpunkte für Seminare mit Laien

Für die meisten Themen sind das einfache und komplexe Netzmodell gut geeignet, um die jeweiligen theoretischen Aspekte anschaulich darzulegen. Durch die exemplarische Darstellung eines Kabelrings im Verteilnetz bis zu den Verbrauchern, kann der Aufbau des Energieversorgungssystems detailliert erörtert werden. Auch kann, durch die Implementation eines Stadtnetzes im komplexen Netzmodell, auf die unterschiedlichen Herausforderungen der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber eingegangen werden. Bei Themen, die sich um die Energiewende drehen, kann u.a. das einfache Netzmodell für die Erklärung des unterschiedlichen Betriebsverhaltens von EE-Anlagen und konventionellen Kraftwerken herangezogen und der Einfluss dieser auf die Betriebsführung erläutert werden.

Bei einfachen Zukunftsszenarien, bei denen die EE-Einspeiseleistung erhöht wird, bietet es sich an, mit einer auslastungsgradabhängigen Einfärbung überlastete Leitungen zu identifizieren und auf die Notwendigkeit des Netzausbaus hinzuweisen. Zu beachten ist, dass für solch eine Informationsveranstaltung ein reales, aktuelles Netzmodell nötig ist, damit die derzeitige Netzsituation dargestellt werden kann. Folgende Abbildung zeigt eine solche auslastungsgrad abhängige Einfärbung auf einer geografischen Karte:

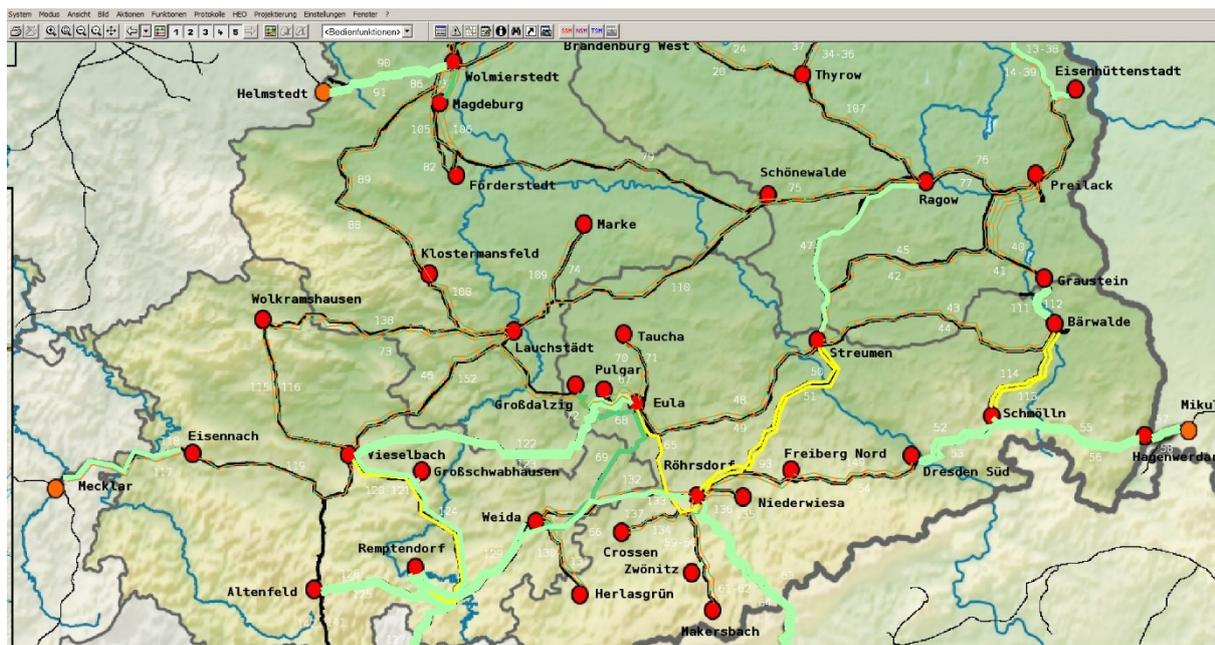


Abbildung 56: Darstellung Szenario Leitungsüberlastung für Laien

Der Vorteil für Laien dabei ist, dass sie das Netzmodell geografisch zuordnen können und das Vorstellungsvermögen somit erhöht wird. Zusätzlich wird durch ein farbliches Ampelsystem, welche die Höhe der jeweiligen Leitungsauslastung darstellt, das Grundverständnis gefördert und vereinfacht so die Vermittlung komplexer Themen wie die Leistungsflussrichtung. Dadurch lässt sich veranschaulichen, wie der Leitungsausbau die Netzsituation verbessern kann.

8. Zusammenfassung

Mit dem Voranschreiten der Energiewende steigen auch die Anforderungen an die Netzbetriebsführer. Dabei ist es zum einen wichtig, kontinuierliche Schulungen und Trainings mit den berufserfahrenen Netzbetriebsführern durchzuführen aber zum anderen auch in der Ausbildung befindlichen Elektrotechniker und Elektroingenieure frühzeitig im Bereich der Netzbetriebsführung zu schulen. Um solch eine Schulung bestmöglich und realitätsnah durchzuführen, bedarf es neben dem Simulationssystem für Energieversorgungsnetze ein Konzept, welches diesen Simulator als zentrales Element einbezieht, um die verschiedensten Aspekte der Netzbetriebsführung zu trainieren.

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein solches Konzept sowohl inhaltlich als auch didaktisch. Dazu wurde zunächst analysiert, wie die derzeitige Ausbildung zum Netzbetriebsführer aussieht. Dabei wurden nicht nur Verordnungen, welche Eckpunkte für die Aus- und Weiterbildung der Netzbetriebsführer thematisieren, identifiziert, sondern auch bereits im Rahmen der Ausbildung von Elektroingenieuren die inhaltlichen Aspekte an den technischen Universitäten Deutschlands untersucht. Mit dieser Vorarbeit war es möglich, zum einen die fachlichen Grundvoraussetzungen der potenziellen Trainierenden zu bestimmen und zum anderen die konkreten Lernziele einer Netzbetriebsführung zu definieren. Der Schulungskonzeptentwicklung der Netzbetriebsführung geht eine intensive theoretische Auseinandersetzung mit der Lehrtheorie und Lehrmodellen voraus. Dadurch war es möglich, besonders geeignete Lernformen und Lehrmethoden zu identifizieren, die die Vermittlung der Lernziele optimieren.

Im Anschluss an diese theoretische Vorbetrachtung wurde der zeitliche Horizont der zu erarbeitenden Konzeptionierung der Netzbetriebsschulung anhand gängiger Weiterbildungsmaßnahmen von Netzbetriebsführern festgelegt. Dieser Zeithorizont wurde sodann in kleinere Lehreinheiten separiert, die jeweils mit konkreten Schulungsinhalten und spezifischen Schulungsmethoden spezifiziert wurden. Am Ende steht ein Konzept, welches die unterschiedlichen Grundvoraussetzungen der Trainierenden, die aufgrund ihres Werdegangs in Bezug auf das fachliche Vorwissen, miteinander vereinbart und eine gemeinsame Schulung ermöglicht.

Ein zentraler Bestandteil bei dieser Netzbetriebsführung stellt der dynamische Netzsimulator bestehend aus einer Leittechniksoftware, welche über entsprechende Schnittstellen mit einer Netzberechnungssoftware gekoppelt ist, dar. Bei dessen Aufbau und Umsetzung war der Autor maßgeblich beteiligt, sodass auf Tools, die die Lehrenden bei der Durchführung und Auswertung der Schulungsinhalte unterstützen, Fokus gelegt wurde. Diese Tools wurden funktional beschrieben und die Anwendung im Rahmen der Netzbetriebsführung dargestellt.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt bei der Entwicklung und Projektierung von Netzmodellen, die geeignet sind, um die zuvor definierten Lehrinhalte im Rahmen von Planspielen mit spezifischen, zu entwickelnden Szenarien, zu schulen. Als Ergebnis entstanden zwei unabhängige Netzmodelle, welche jeweils für unterschiedliche Aspekte der Netzbetriebsschulung optimiert sind. Auf der einen Seite wurde ein „einfaches“ Netzmodell, mit wenigen Netzknoten und standardisierter Netztopologie entwickelt, welches vor allem für Szenarien geeignet ist, bei dem die Auswirkungen von einzelnen Schalthandlungen bzw. Eingriffen in das Energieversorgungssystem im Fokus stehen. Dieses Netzmodell ist allerdings wenig dafür geeignet Planspiele mit komplexen Szenarien, die mehrere Akteure des Energieversorgungssystems und somit eine Vielzahl an Schalthandlungen beinhalten, zu absolvieren. Aus diesem Grund wurde ein weiteres, „komplexes“ Netzmodell entwickelt, welches im Umfang der detaillierten Nachbildung des Netzgebietes eines Übertragungsnetzbetreibers mit unterlagertem Verteilnetz entspricht. Als Randnetz sind auf horizontaler Ebene aggregierte Lasten und Einspeisungen projiziert, welche in ihren Dimensionen der Nachbildung des ENTSO-E Verbundnetzes entspricht. Dadurch ist es möglich, eine Vielzahl an unterschiedlichen Szenarien zu entwickeln, bei denen auch große Leistungssprünge möglich sind.

Die Entwicklung dieser Szenarien stellt den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit dar. Dazu wurde zunächst ein Schema für die allgemeine Herangehensweise bei der Erstellung von Szenarien mit dem Simulationssystem erläutert. Anhand dieses Grundgerüsts wurden dann die einzelnen Szenarien entwickelt und beschrieben. Mit Hilfe dieser Szenarien können die definierten Schulungsinhalte geschult werden, damit die Trainierenden die Fähigkeiten (weiter)entwickeln, die sie benötigen, um ein Netzgebiet stabil führen zu können. Da die komplexen Szenarien, bei denen die Netzbetriebsführung realitätsnah simuliert wird, sehr umfangreich in Bezug auf Teilnehmeranzahl, Störereignissen und Entscheidungsfindungen sind, wurden hierfür Ablaufschemata entwickelt, die das Szenario mit konkreten Zeitstempeln für die jeweiligen Störereignisse und Reaktionen der Trainierenden Gruppen beschreiben. Da es ungewiss ist, ob die Trainierenden eine kritische Netzsituation mit der korrekten Entscheidungsfindung stabilisieren können, wurden zusätzlich Struktogramme entwickelt, die einen Entscheidungsbaum der Trainierenden mit möglichen Reaktionen der Lehrenden nachbilden. Dies erleichtert den Lehrenden die Durchführung der Planspiele, da sie für verschiedene Reaktionen der Trainierenden auf Störereignisse alternative Ablaufpläne für die jeweilige Situation vorliegen haben und sich somit auf die Beobachtung der Trainierenden konzentrieren können.

Das Schulungskonzept befindet sich derzeit in der Erprobung, sodass bereits eine erste Auswertung von einem Schulungsdurchlauf durchgeführt werden konnte. Dabei stellte sich heraus, dass je nach teilnehmenden Trainierenden eine gewisse Anpassung des Lehrkonzeptes nötig ist, um die Lehrziele zu erreichen. Diese nötigen Anpassungen gelten es mit der Durchführung weiterer Schulungen zu identifizieren und einzuarbeiten, sodass aufbauend auf dem in dieser Arbeit entwickeltem Schulungskonzept, Trainierenden Gruppen spezifische, individuelle Schulungskonzepte entstehen.

Am Ende dieser Arbeit wurden weitere, zukünftige Anwendungsgebiete des Simulationssystems in der Forschung und Lehre erarbeitet. In einem nächsten Schritt müssen Konzepte für die Durchführung entwickelt und in der praktischen Anwendung optimiert werden. Dabei unterliegen sowohl das in dieser Arbeit beschriebene Konzept als auch die neu zu entwickelnden Konzepte, einem stetigen technologischen Wandel sowie sich ändernden regulatorischen Rahmenbedingungen, sodass eine stetige Anpassung und Optimierung der Konzepte nötig sind. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, dass die Qualifizierung zur Netzbetriebsführung zielgerecht durchgeführt und somit auch zukünftig ein sicherer Netzbetrieb durch die Netzbetriebsführer gewährleistet bleibt.

Abkürzungsverzeichnis

DR	-	Dialogrechner
EE	-	Erneuerbare Energien
EEG	-	Erneuerbare-Energie-Gesetz
HEO-Funktion	-	Höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen
KB	-	Kraftwerksbetreiber
KEB	-	Kraftwerkseinsatzplanung
OR	-	Onlinerechner
NSM	-	Netzsicherheitsmanagement
PRINS	-	Prozessinformationssystem
RZ	-	Regionalzentrum
SKADA	-	Supervisory Control And Data Acquisition
SSM	-	Systemsicherheitsmanagement
TSM	-	Trafosicherheitsmanagement
TCC	-	Transmission Control Center
VNB	-	Verteilnetzbetreiber
ÜNB	-	Übertragungsnetzbetreiber

Literaturverzeichnis

- [1] (EU) 2017/1485. (02. 08 2017). *Festlegung einer Leitlinie für den Übertragungsnetzbetrieb*.
- [2] 50Hertz Transmission. (08 2016). Von 50Hertz Transmission:
www.50hertz.com/de/Kennzahlen/Anpassungen-nach-13-EnWG/Archiv-Anpassungen-nach-13-EnWG abgerufen
- [3] *50Hertz Transmission*. (08 2019). Von
<https://www.50hertz.com/de/Transparenz/Kennzahlen/Windenergie> abgerufen
- [4] *50Hertz Transmission*. (08 2019). Von
<http://www.50hertz.com/de/Transparenz/Kennzahlen/Photovoltaik> abgerufen
- [5] Bundesnetzagentur. (2007). *Bericht der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen über die Systemstörung im deutschen und europäischen Verbundsystem am 4. November 2006*. Bonn.
- [6] Cramer, T. (29. 10 2013). *www.studylibde.com*. Von
www.studylibde.com/doc/2034909/fragebogen-zu-konzepten-and-prinzipien-im-word abgerufen
- [7] Cube, F. v. (1968). *Kybernetische Grundlagen des Lernend und Lehrens*. Stuttgart: Ernst Klett.
- [8] *digsilent*. (21. April 2017). Von www.digsilent.de/index.php/de-produkte-powerfactory-powerfactory_schnittstellen.html#bottom abgerufen
- [9] Heimann, P. (1976). *Didaktik als Unterrichtswissenschaft*. Stuttgart: Klett.
- [10] Institut zur Erforschung elektrischer Unfälle. (2016). *www.bgetem.de*. Von
<https://www.bgetem.de/arbeitsicherheit-gesundheitsschutz/institute/institut-zur-erforschung-elektrischer-unfaelle/statistik-der-stromunfaelle> abgerufen
- [11] John Erpenbeck, V. H. (2007). *Die Kompetenzbiographie - Wege der Kompetenzentwicklung 2. Auflage*. Münster: Waxmann Verlag GmbH.
- [12] Katharina Marko, W. H. (2010). *www.erwachsenbildung.at*. Von
https://erwachsenbildung.at/themen/eb_in_oesterreich/eb_in_oesterreich.php abgerufen
- [13] *KIT*. (Energieübertragung und Netzregelung. 08 2019). Von
https://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_euen.php abgerufen

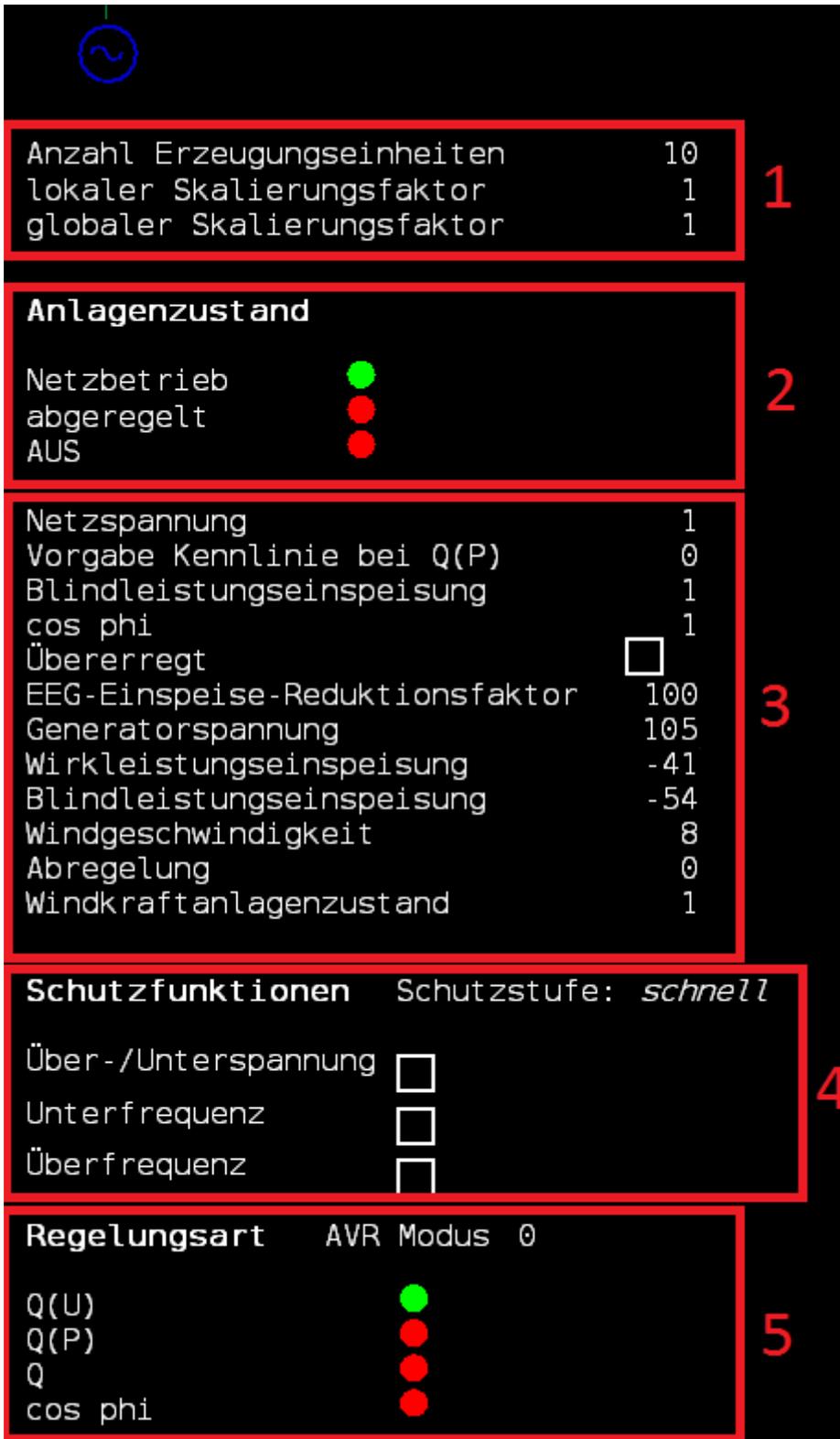
- [14]KIT. (Elektrische Energienetze. 08 2019). Von https://www.ieh.kit.edu/2448_bee.php abgerufen
- [15]Klafki, W. (1964). Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz.
- [16]Klafki, W. (1964). Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz.
- [17]Klafki, W. (1964). Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz.
- [18]Krin, F. W. (2008). Grundwissen Didaktik. In F. W. Krin, *Grundwissen Didaktik* (S. 157). München: Ernst Reinhardt.
- [19]meteoblue. (14. 4 2017). Von <https://content.meteoblue.com/de/ueberpruefte-qualitaet/verifikation/wind> abgerufen
- [20]Metzger, C., & Nüesch, C. (2004). *Fair prüfen: ein Qualitätsleitfaden für Prüfende an Hochschulen*. St. Gallen: IWP-HSG.
- [21]opcfoundation. (21. April 2017). Von <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> abgerufen
- [22]Peterßen, W. H. (1992). *Handbuch Unterrichtsplanung*. München: Ehrenwirth.
- [23]Pfäffli, B. K. (2005). *Lehren an Hochschulen*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag.
- [24]Prenzel, M. (1993). Autonomie und Motivation im Lernen Erwachsener. *Zeitschrift für Pädagogik* 39, S. 240.
- [25]Prof. Dr. Werner Jank, P. D. (2002). *Didaktische Modelle*. Cornelsen.
- [26]Reich, K. (2012). *Methodenpool*. Von <http://methodenpool.uni-koeln.de> abgerufen
- [27]Reusser, K. (2005). Problemorientiertes Lernen. - Tiefen struktur, Gestaltungsformen, Wirkung - In: Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 23.
- [28]Riedl, A. (2004). *Grundlagen der Didaktik*. München: Franz Steiner Verlag.
- [29]Roggatz, C. (2008). *Trainingssimulator für die führung von elektrischen Systemen mit dezentralen Energieeinspeisungen - Trainingsszenarien und Umsetzung*. Magdeburg: Mafo.
- [30]Roth, P. D. (20. 06 2002). www.lfs-bw.de. Von https://www.lfs-bw.de/Fachthemen/Ausbilden/lernenlehren/Documents/Lehren_und_Lernen.pdf abgerufen

-
- [31] *RWTH Aachen*. (08 2019). Von <http://www.campus.rwth-aachen.de/rwth/all/abstractModule.asp?gguid=0x1BF8782B89F40F4DA635FF5D519F2478&tguid=0xBA76F399D1893541BFCF7CBC6BAFE455> abgerufen
- [32] Seth Chaiklin, J. L. (1997). *Understanding practice Perspectives on activity and context*. Cambridge.
- [33] *Siemens*. (04 2014). Von <https://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/energie-und-effizienz/nachhaltige-energieerzeugung-intelligente-prognose-software.html> abgerufen
- [34] (2007). *TransmissionCode 2007*.
- [35] *TU Berlin*. (08 2019). Von <https://moseskonto.tu-berlin.de/moses/modultransfersystem/bolognamodule/beschreibung/anzeigen.html?number=40424&version=5&sprache=2> abgerufen
- [36] *TU Braunschweig*. (Regelung in der elektrischen Energietechnik. 08 2019). Von <https://vorlesungen.tu-bs.de/qisserver/rds?state=verpublish&publishContainer=lectureContainer&publishid=73917> abgerufen
- [37] *TU Braunschweig*. (Elektrische Energieanlagen II. 08 2019). Von https://www.ifr.ing.tu-bs.de/de/lehre/veranstaltungen/vorlesungen_5 abgerufen
- [38] *TU Chemnitz*. (08 2019). Von <https://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/EUEV-Vorlesungsankuendigung%20SS19.pdf> abgerufen
- [39] *TU Clausthal*. (08 2019). Von https://www.tu-clausthal.de/fileadmin/TU_Clausthal/dokumente/Studiengaenge/Modulhandbuecher/MH_B_MSc_Energiesystemtechnik_2016.pdf abgerufen
- [40] *TU Darmstadt*. (08 2019). Von https://www.etit.tu-darmstadt.de/media/etit/01_etit/formulare_studium/ordnungen/modulhandbuecher/msc_modulhandbuecher/MSc_ETiT_-_AUT_2014_-_DE.pdf abgerufen
- [41] *TU Dortmund*. (08 2019). Von Dortmund http://www.e-technik.tu-dortmund.de/cms1/Medienpool/Lehre_Studium/Modulhandbuch_Ma_ETIT.pdf abgerufen
- [42] *TU Dresden*. (08 2019). Von <https://www.verw.tu-dresden.de/AmtBek/PDF-Dateien/2017-16/12soDE27.07.2017.pdf> abgerufen

- [43] *TU Freiberg*. (08 2019). Von https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/innerer-dienst-8539/2017-56-2_mhb_master_energietechnik.pdf abgerufen
- [44] *TU Hamburg*. (Elektrische Energiesysteme III. 08 2019). Von https://intranet.tuhh.de/kvvz/vorlesung.php?Lang=de&sg_s=ETMS&mid=1236&xtype=s&kvz=1 abgerufen
- [45] *TU Hamburg*. (Elektrische Energiesysteme II. 08 2019). Von https://intranet.tuhh.de/kvvz/vorlesung.php?Lang=de&sg_s=ETMS&mid=1250&xtype=s&kvz=1 abgerufen
- [46] *TU Ilmenau*. (Dezentrale und zentrale Elektroenergieversorgung. 08 2019). Von <https://www.tu-ilmenau.de/modultafeln/ElektrotechnikundInformationstechnik/Master/2014/modul/12633/?vertiefung=EET> abgerufen
- [47] *TU Ilmenau*. (Netzleittechnik und Energiemanagementsysteme. 08 2019). Von <https://www.tu-ilmenau.de/modultafeln/ElektrotechnikundInformationstechnik/Master/2014/modul/12629/?vertiefung=EET> abgerufen
- [48] *TU Kaiserslautern*. (08 2019). Von <https://www.eit.uni-kl.de/esem/forschung-entwicklung/labore/trainingssimulator/> abgerufen
- [49] *TU München*. (08 2019). Von https://www.hsa.ei.tum.de/index.php?id=224&tx_tumcourses_pi1%5Bc1886%5D=c950400183 abgerufen
- [50] Weinert, F. E. (2001). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim und Basel: Beltz.
- [51] Winter, D.-I. S. (28. 11 2018). <https://www.bdew.de>. Von https://www.bdew.de/media/documents/20181128_Diskussionspapier_Netzbetrieb_2.0.pdf abgerufen
- [52] Witt, S. (07 2018). *wb-web.de*. Von <https://wb-web.de/wissen/lehren-lernen/selbstgesteuert-lernen.html> abgerufen

Anlagen

Anlage 1: Leittechnikbild Windenergieanlage



The screenshot displays a control interface for a wind turbine, organized into five numbered sections (1-5) highlighted with red boxes. At the top left, there is a blue sine wave icon. Section 1 shows production parameters. Section 2 shows the plant status with three indicator lights. Section 3 shows detailed power and wind speed data. Section 4 shows protection settings. Section 5 shows the control mode and power factor settings.

Section	Parameter	Value / Status
1	Anzahl Erzeugungseinheiten	10
	lokaler Skalierungsfaktor	1
	globaler Skalierungsfaktor	1
2	Anlagenzustand	
	Netzbetrieb	● (green)
	abgeregelt AUS	● (red) ● (red)
3	Netzspannung	1
	Vorgabe Kennlinie bei Q(P)	0
	Blindleistungseinspeisung	1
	cos phi	1
	Übererregt	<input type="checkbox"/>
	EEG-Einspeise-Reduktionsfaktor	100
	Generatorspannung	105
	Wirkleistungseinspeisung	-41
	Blindleistungseinspeisung	-54
	Windgeschwindigkeit	8
	Abregelung	0
Windkraftanlagenzustand	1	
4	Schutzfunktionen	Schutzstufe: <i>schnell</i>
	Über-/Unterspannung	<input type="checkbox"/>
	Unterfrequenz	<input type="checkbox"/>
	Überfrequenz	<input type="checkbox"/>
5	Regelungsart	AVR Modus 0
	Q(U)	● (green)
	Q(P)	● (red)
	Q	● (red)
	cos phi	● (red)

Anlage 2: Leittechnikbild Biomasse Anlage



1

Anzahl Erzeugungseinheiten	10
lokaler Skalierungsfaktor	1
globaler Skalierungsfaktor	1

Anlagenzustand

2

Netzbetrieb	
abgeregelt	
AUS	

3

Netzspannung	1
Vorgabe Kennlinie bei Q(P)	0
Blindleistungseinspeisung	0
cos phi	1
Übererregt	<input type="checkbox"/>
EEG-Einspeise-Reduktionsfaktor	100
Generatorspannung	0
Wirkleistungseinspeisung	-0
Blindleistungseinspeisung	-0
Abregelung	0
Biomassekraftwerkszustand	0

Schutzfunktionen Schutzstufe: *schnell*

4

Über-/Unterspannung	<input type="checkbox"/>
Unterfrequenz	<input type="checkbox"/>
Überfrequenz	<input type="checkbox"/>

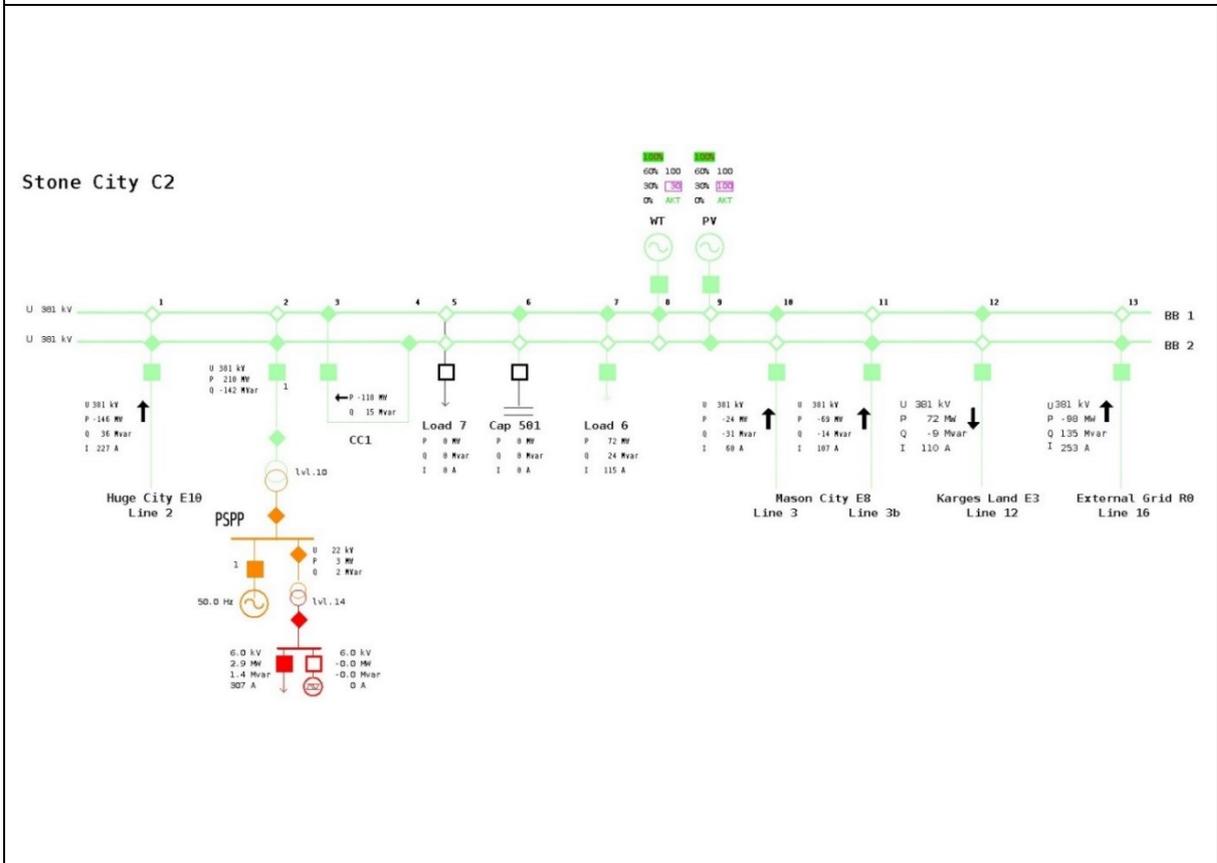
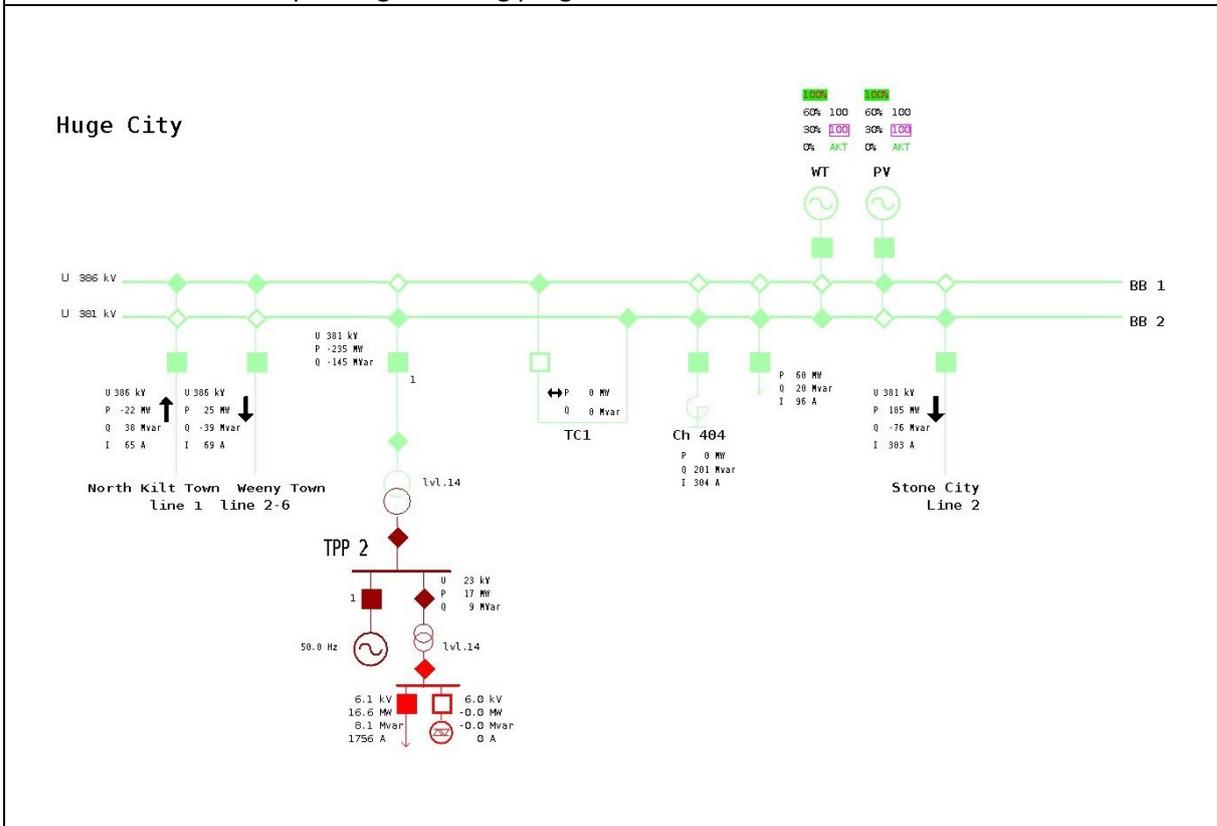
Regelungsart AVR Modus 0

5

Q(U)	
Q(P)	
Q	
cos phi	

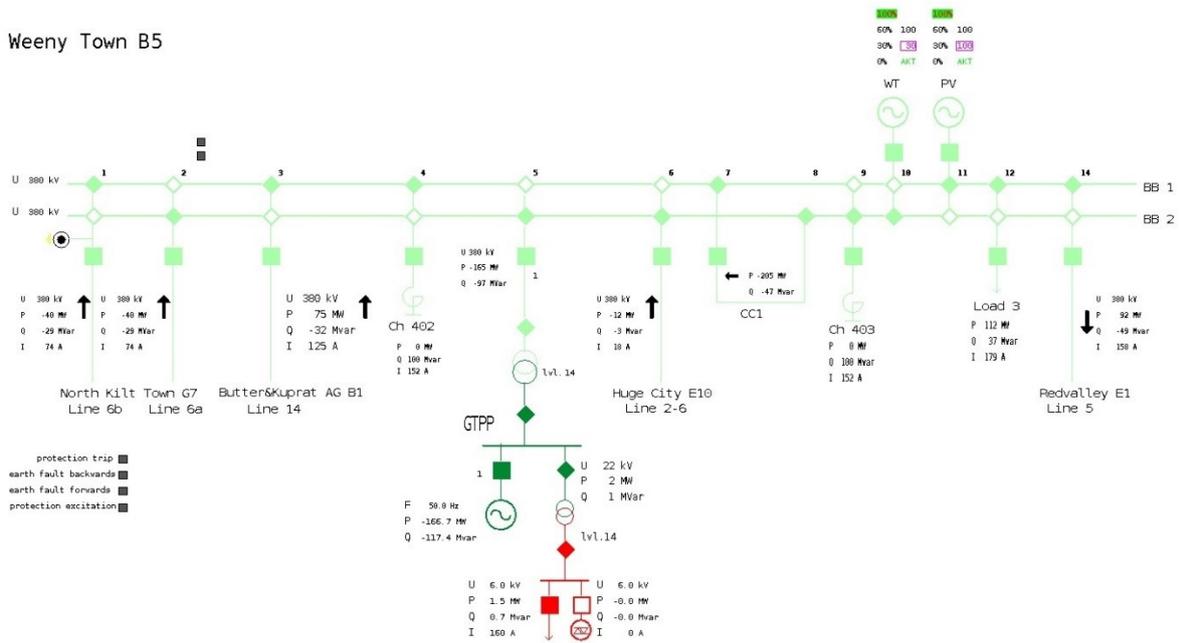
Anlage 3: Portfolio von Schaltaufgaben

Due to maintenance line 2 must be disconnected from mains.
Please write the corresponding switching program.

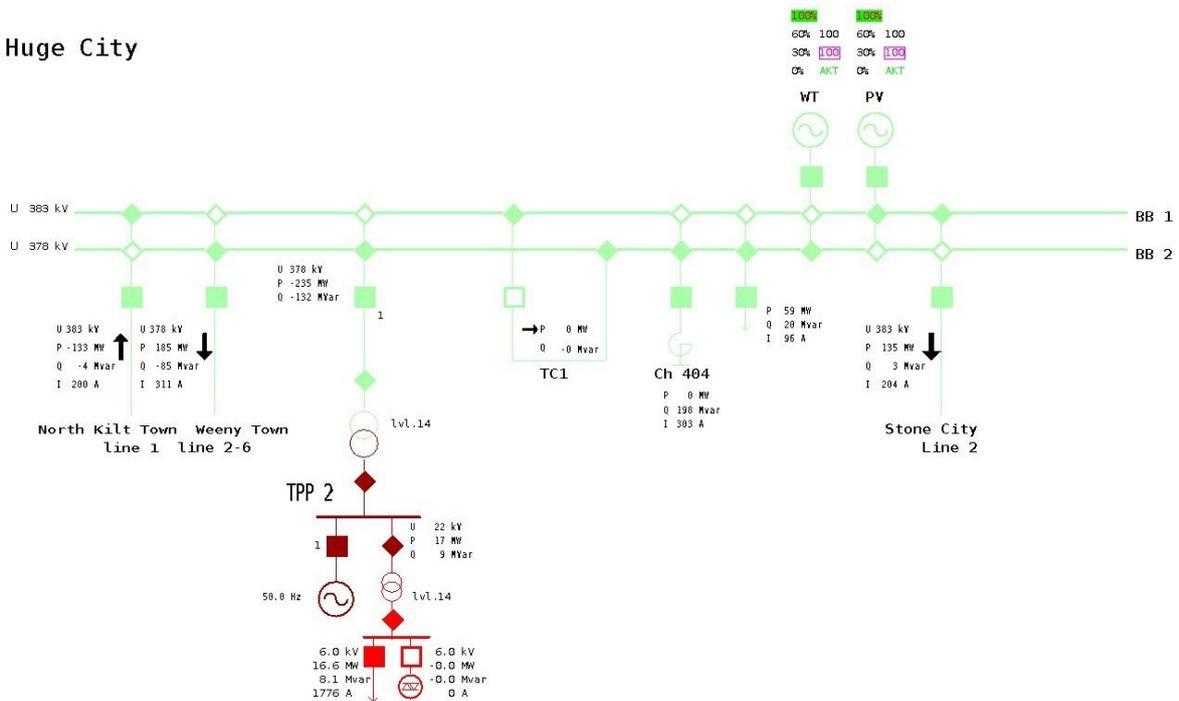


Due to maintenance line 2-6 must be disconnected from mains and a place of work must be prepared for workers. Please write the corresponding switching program.

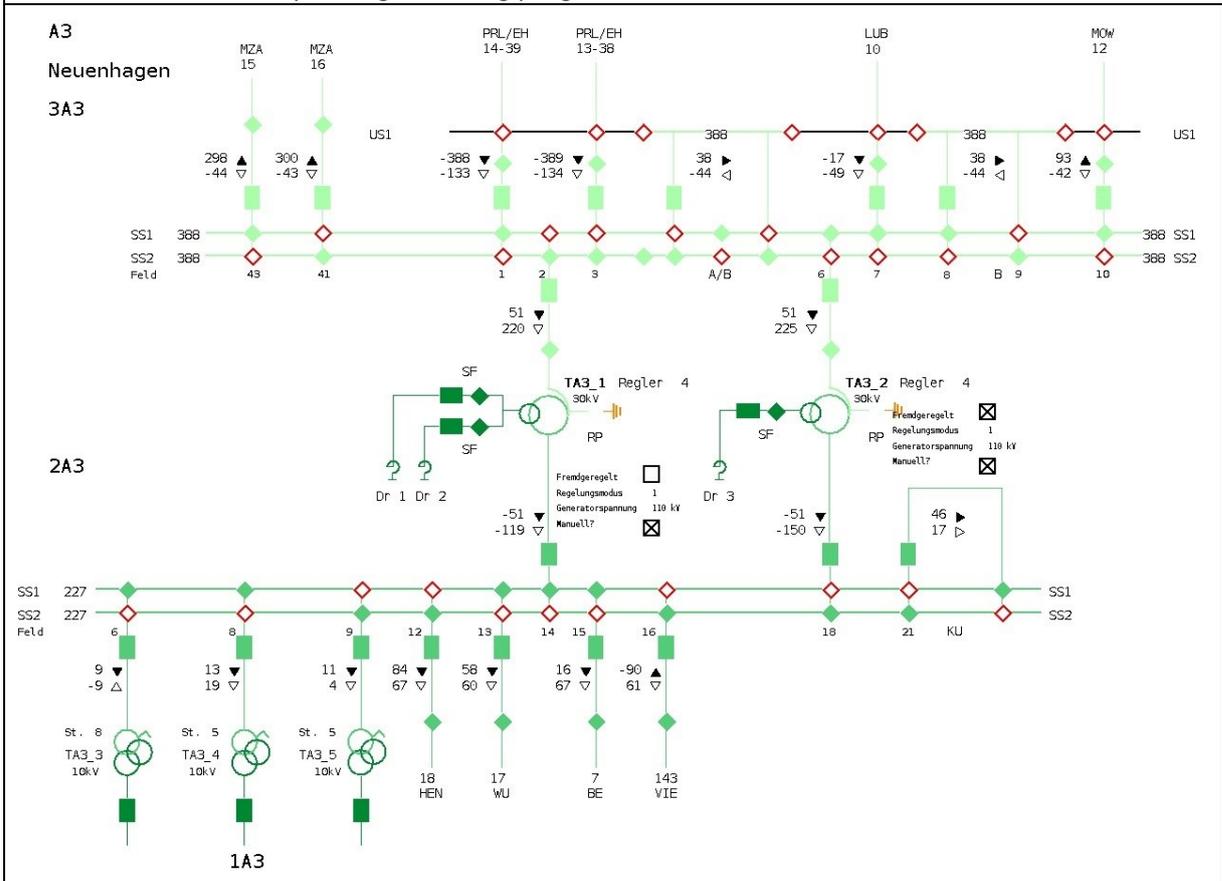
Weeny Town B5



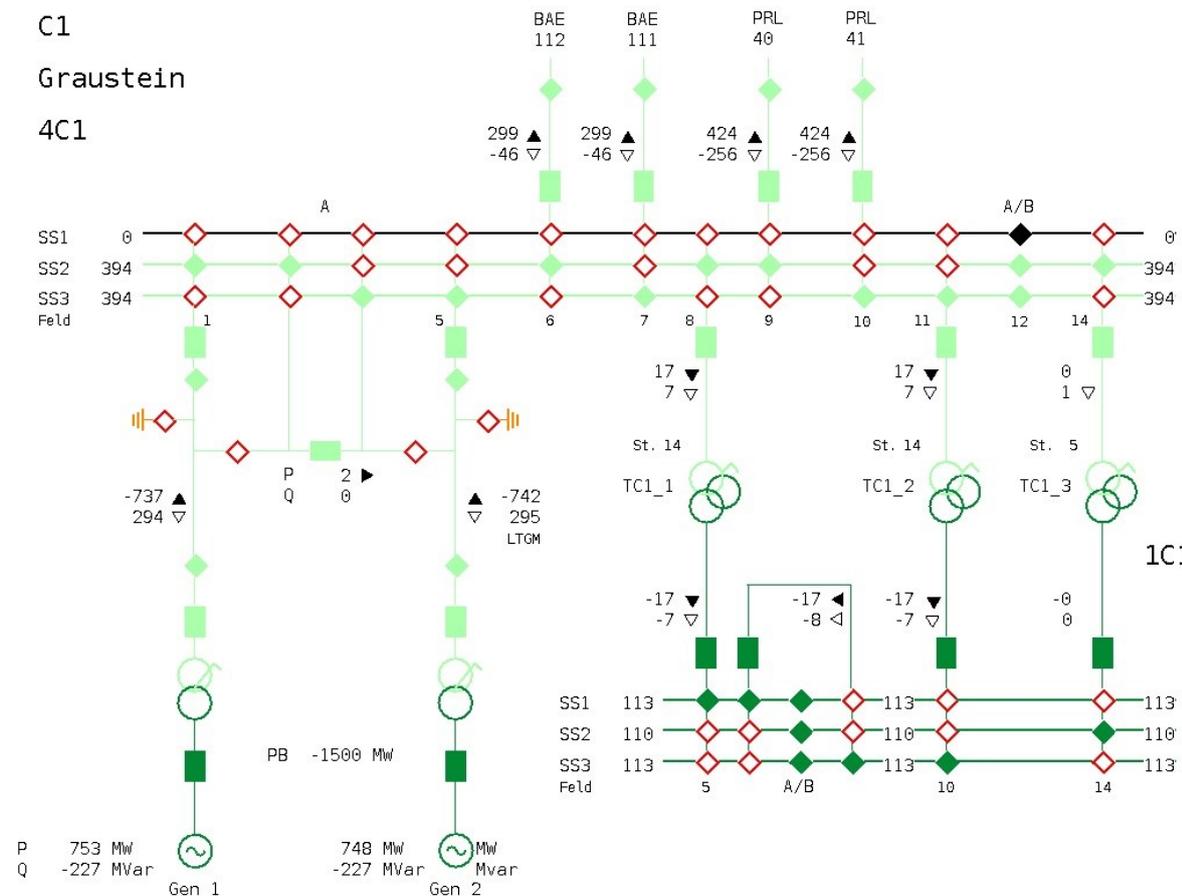
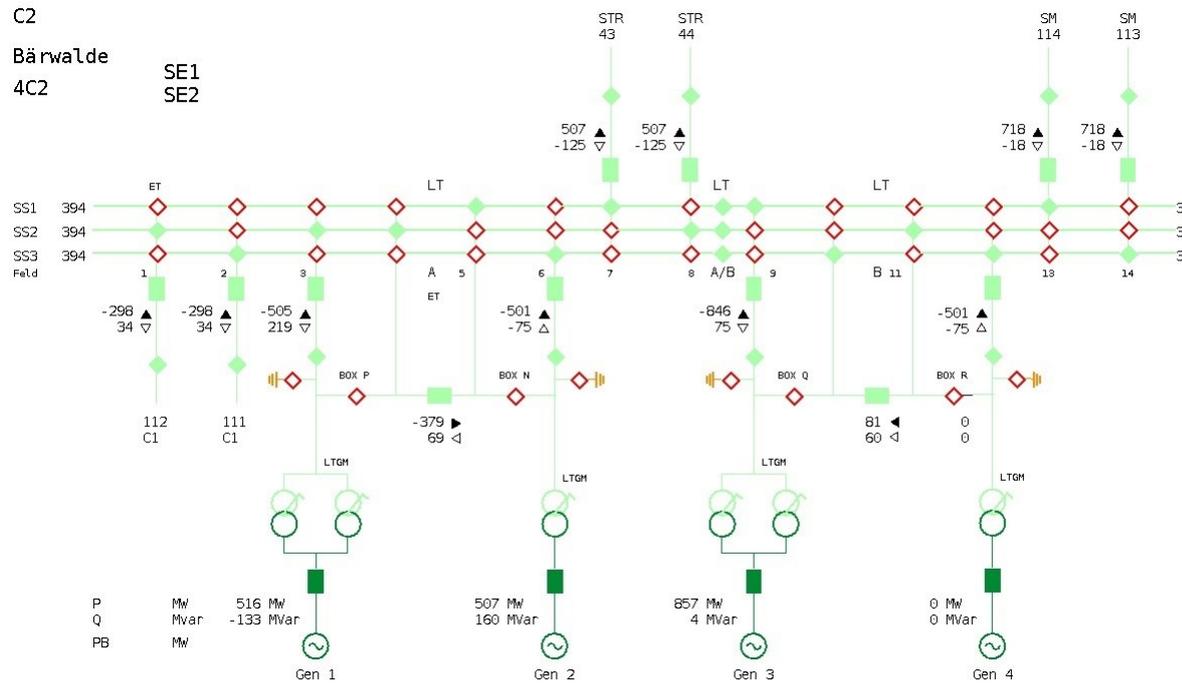
Huge City



Due to a defect of the Busbar 1 Disconnector (it is not switchable anymore) in substation Neuenhagen line 12, a place of work must be established at this disconnector.
Please write the corresponding switching program

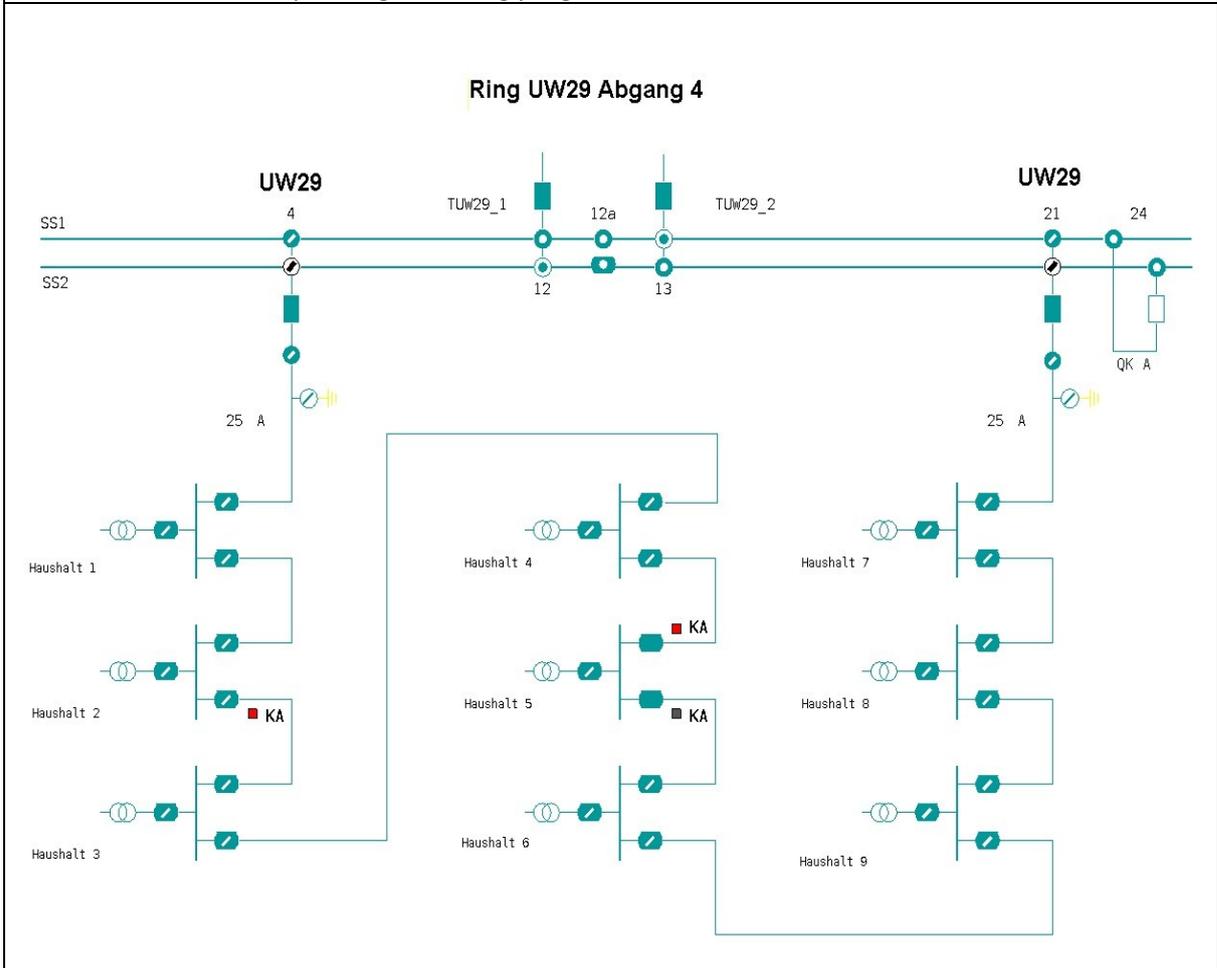


Line 111 must be disconnected from mains.
Please write the corresponding switching program.

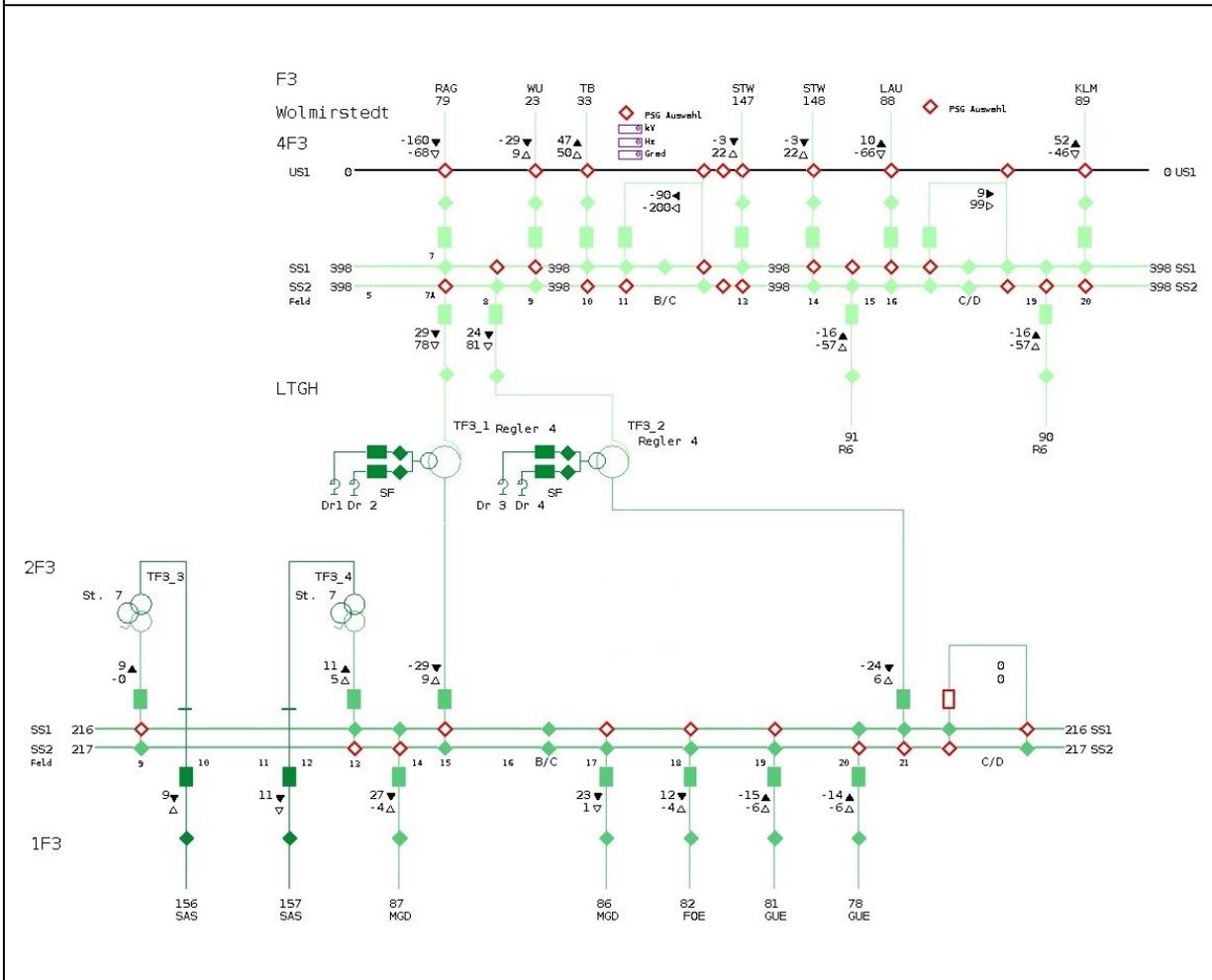


In the following low voltage cable ring, a short circuit has happened. Due to the grid protection the circuit breaker at the beginning and the end of the ring are switched off. The two red KA (=Kurzschlussanzeiger – short circuit detector) signalize, that the cause of the fault must be between them. What would you do in this situation?

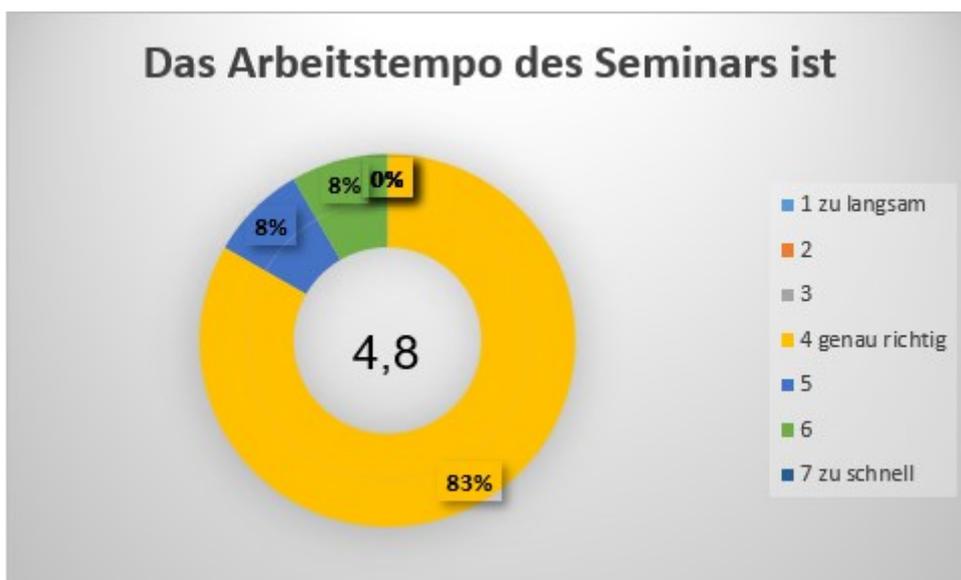
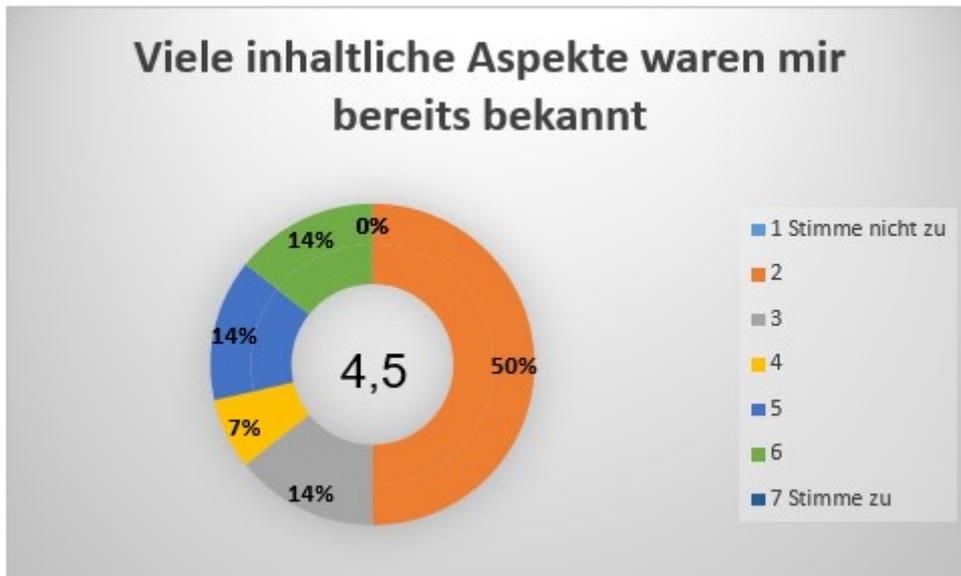
Please write the corresponding switching program.



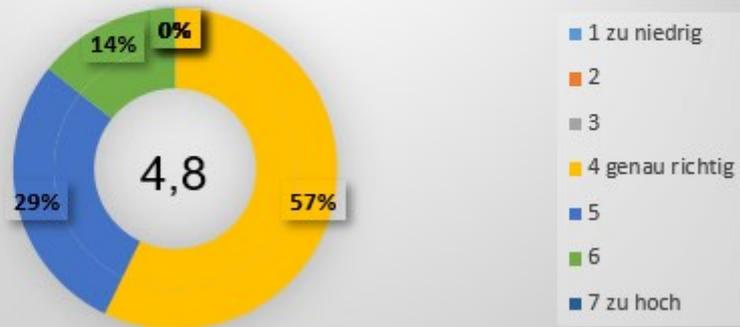
Due to maintenance in Substation Wolmirstedt 380 kV Busbar 2 part C must be deenergized.
Please write the corresponding switching program.



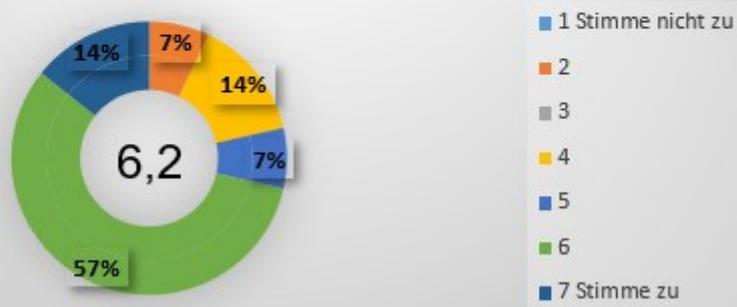
Anlage 4: Evaluationsauswertung



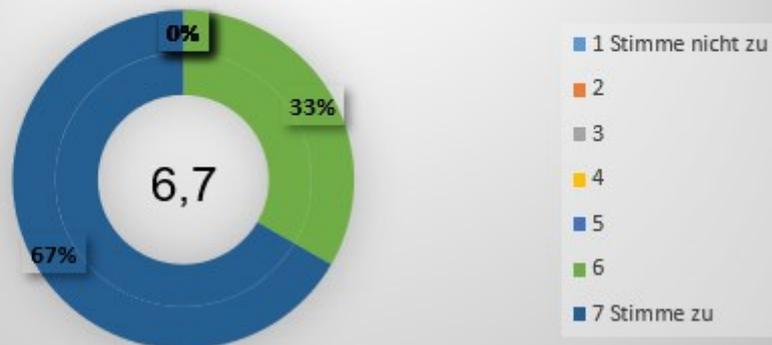
Die Anforderungen an das Seminar sind



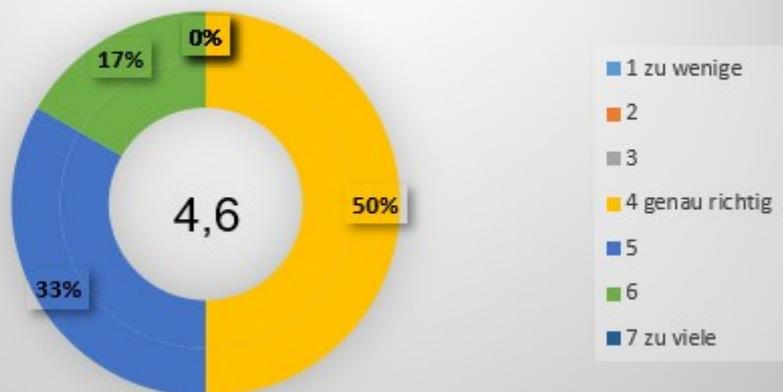
Mein Wissensstand war nach dem Seminar wesentlich höher als vor dem Seminar



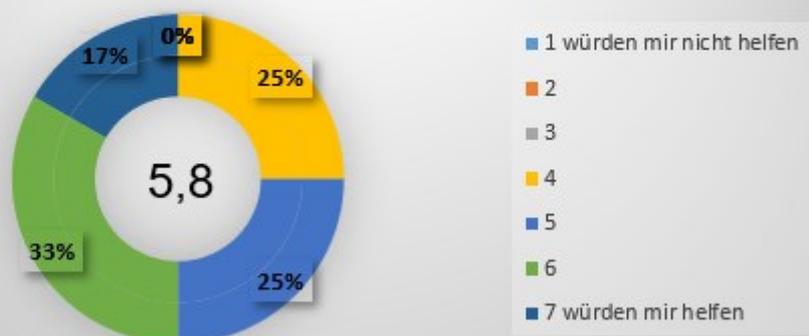
Die Exkursion half mir ein besseres Grundverständnis zu erlangen



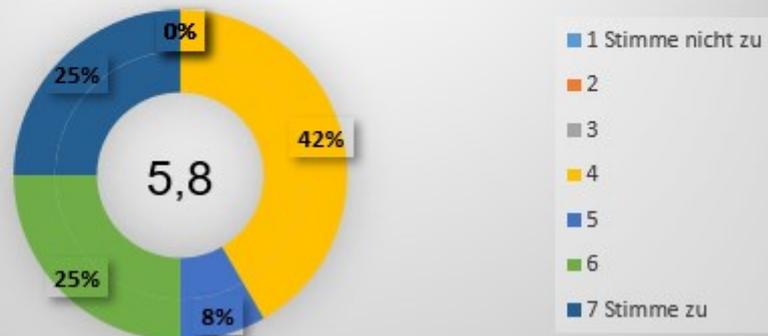
Die Anzahl der Schaltübungen waren



Zusätzliche Schaltübungen als Hausaufgaben



Ich fühle mich dazu in der Lage als Netzbetriebsführer zu arbeiten



Die inhaltliche Struktur ist logisch und umfangreich

