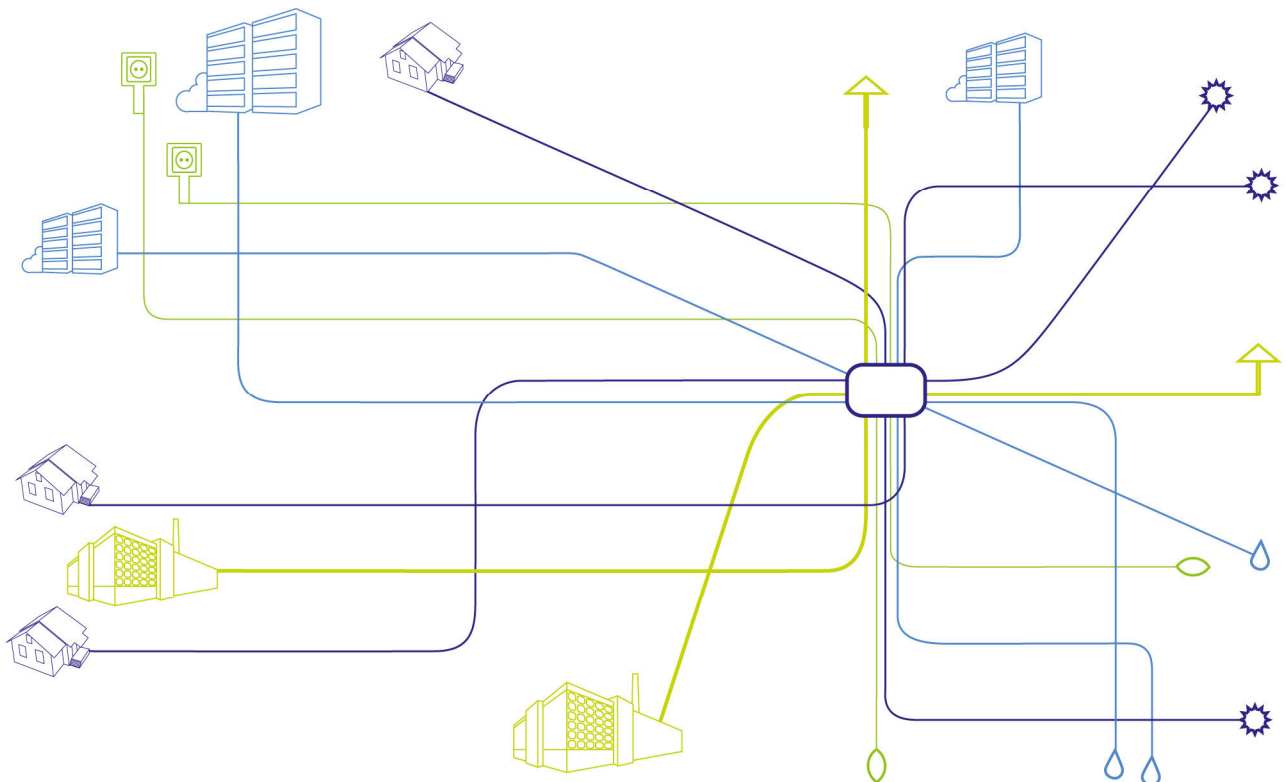




Konzeption des SimTech Labors zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

1	EINLEITUNG	2
1.1	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	5
1.2	Zielsetzungen des Projektes	6
1.3	Innovationsgehalt des Projektes SimTech Concept	6
1.4	Beitrag des Projektes zu den Programmzielen	7
1.5	Aufbau der Arbeit und verwendete Methoden	8
2	INHALTLICHE DARSTELLUNG UND ERGEBNISSE	11
2.1	Vorstudie	11
2.1.1	Recherche internationaler Laboreinrichtungen für Verteilte Energieerzeugung und Simulation von Verteilnetzen (Power System Laboratories)	11
2.1.2	Forschungsthemen zur Konzeptentwicklung	21
2.1.3	Befragung von Österreichischen Verteilnetzbetreibern	34
2.2	Laborkonzept	41
2.2.1	Konzeption einer Entwicklungsumgebung für Netzsimulationen	43
2.2.2	Erstellung eines Konzeptes zur Kombination von Simulation und der realen Hardwareumgebung	48
2.2.3	Parallele Einbindung von kleinen dezentralen Anlagen in Strom-, Wärme und Kältenetze	65
2.2.4	Konzept Steuer- und Messtechnik	69
2.2.5	Konzept Schutztechnik	95
2.3	Testszenarien	101
2.3.1	Einsatz unterschiedlicher Technologien (Technologieportfolio)	101
2.3.2	Evaluierung von Betriebs- und Testszenarien	111
2.4	Ausbaustufen	117
2.4.1	Modell für Ausbaustufen und Raumplan	117
2.4.2	Wirtschaftliche Umsetzungsstrategie (Grobkostenschätzung)	119
2.5	Umsetzungskonzept	121
2.5.1	Organisatorisches und Wirtschaftliches Umsetzungskonzept (Businessplan)	121
2.5.2	Technisches Umsetzungskonzept	125
3	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	126
3.1	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	126
3.1	Ausblick	128
4	LITERATURVERZEICHNIS	130
5	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	131
6	TABELLENVERZEICHNIS	133
7	GLOSSAR	134

Kurzfassung

Anzahl und Anteil dezentraler Stromerzeugungsanlagen stiegen in den letzten Jahren kontinuierlich an. Dieser Trend wird auch in den nächsten Jahren aufgrund der bestehenden Rahmenbedingungen (Förderungen von Ökostromanlagen, Technologieentwicklung) anhalten. Mit zunehmender Dichte an dezentraler Erzeugung treten grundlegende Systemfragen wie Kapazitätsplanung, Stabilität, Schutzstrategien, Versorgungsqualität etc. erneut in den Vordergrund.

Mit Aufbau und Betrieb einer experimentellen Laborumgebung zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten (SimTech Labor) wird Österreich zu einem der europäischen Vorreiter und Know-how-Träger, wenn es um Fragestellungen zur reibungslosen und kostengünstigen Einbindung dezentraler Stromerzeuger in bestehende Verteilnetze geht.

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines Konzepts für ein in ein EU-Labornetzwerk eingebettetes Forschungs- und Simulationslabor, welches die Möglichkeit bietet, Vorteile, Auswirkungen, aktuelle und zukünftige Herausforderungen untersuchen zu können, die sich aus dem Zusammenspiel von einer Vielzahl von dezentralen Erzeugungsanlagen ergeben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen in diesem Labor sollen einerseits auf komplexere Problemstellungen anwendbar sein, andererseits sollen Simulationsergebnisse genaue Vorhersagen – auch für zukünftige Anwendungen – liefern. Simulationsergebnisse können unmittelbar mit Hardwaretests verglichen und validiert werden.

Zu diesem Zweck wurden unter anderem die folgenden Fragestellungen formuliert:

- Welchen Anforderungen muss eine Laborinfrastruktur gerecht werden, um weit reichende und umfassende Antworten auf aktuelle Forschungsfragen im Verteilnetzbetrieb liefern zu können?
- Wie muss eine experimentelle Versuchseinrichtung zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten (SimTech Labor) gestaltet und strukturiert sein, um gegenwärtige und zukünftige Fragestellungen von potentiellen Kunden zu diesem Themenbereich beantworten zu können?

Erreichte Projektergebnisse:

Anforderungskatalog als Basis für die Planung und Umsetzung des SimTech Labors:

- Konzept zur Kombination von Simulation und realer Hardwareumgebung (Hardware-in-the-loop)
- Konzept einer Systemkonfiguration zur parallelen Einbindung von kleinen dezentralen Anlagen in Strom- und Wärmenetze (KWK)
- Struktur einer komplexen Entwicklungsumgebung für Netzsimulationen
- Ermittlung des State-of-the-art der internationalen Forschungsinfrastruktur im Bereich dezentrale Energietechnologien auf Basis einer ausführlichen Sammlung und Gegenüberstellung unterschiedlicher Forschungs- und Testlabors im Bereich dezentraler Energietechnologien und intelligenter Verteilnetze.
- Bedarfserhebung in Bezug auf Forschung in Verteilnetzen und Smart Grids und Identifikation weiterführender Forschungsthemen im Bereich Power Hardware-in-the-loop.
- Power Hardware-in-the-loop (Proof of Concept): Beschreibung und Inbetriebnahme der Schnittstelle zwischen dem leistungsfähigen Echtzeitsimulationssystem (Software) und dezentralen Erzeugungsanlagen.

Mit der Umsetzung des SimTech Labors erhalten Netzbetreiber umfassende Antworten auf Systemfragen in Bezug auf Schutzfunktionen, Netzmanagement, Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität. Anlagenhersteller und -betreiber profitieren von Verhaltensbeschreibungen von Komponenten sowie von der Entwicklungsbegleitung, Regulierungsbehörde und Gesetzgeber werden in der Entscheidungsfindung für innovative Tarifmodelle und Förderstrukturen unterstützt.

Abstract

The share of distributed generators (DG) in the electricity system has been growing continuously in recent years. Given the current technology developments and the strong government encouragement for using renewable energy resources, this development will continue. With the rising density of DG, design questions for future energy systems about capacity, stability, safety and availability have to be revisited.

By setting up a national laboratory for experimental real-time simulation of electricity grids and their components (SimTech laboratory) Austria will: be at the cutting edge of innovative grid technologies; and become a strong carrier of know-how in the area of cost-effective integration of distributed energy resources in existing electricity grids. Because of this project, the national research and development competences in the area of ecologic and distributed energy supply will be strongly promoted and Austria's position in this future market will be strengthened.

This project aims to develop a concept for the research and simulation laboratory SimTech, which examines the advantages, impacts and current and future challenges of a large number of interacting DG units in the grid. On the one hand, the results of examinations in this laboratory shall be applicable to more complex problem areas. On the other hand, the simulation results will reveal more precise predictions for future applications.

Hardware tests can immediately be compared and validated against simulation results. To achieve this, the "SimTech Concept" project partners dealt with the following questions:

- What is required to enable the laboratory infrastructure to give comprehensive answers to current research questions for the distribution grid operation?
- How must a laboratory infrastructure (SimTech laboratory) be designed and structured in order to answer current and future requirements of potential customers in the area of grid operation with a high share of DG?

The results of the "SimTech Concept" project are:

- detailed requirements analysis serving as basis for planning and implementation of the SimTech laboratory
- concept for close coupling of simulation and real hardware (hardware-in-the-loop)
- concept for a system configuration enabling parallel operation of smaller CHP units in large numbers
- structure of a complex integrated development environment for grid simulation
- state-of-the-art evaluation of international research infrastructure based on a comprehensive collection and comparison of various research and test laboratories in the field for decentralized energy resources and smart distribution networks.

Other areas which require examination include: analysis of research needs in distribution networks and smart grids; identification of further research issues in the field of power hardware-in-the-loop; and more power hardware-in-the-loop work: proof of concept, specification and commissioning of the interface between powerful real-time simulation system (software) and dispersed generators.

The implementation of the SimTech laboratory will allow the grid operators to gain comprehensive answers on system questions about safety functions, grid management, security of supply and quality of supply. Plant supplier and operators profit from more precise component behavior descriptions and better support of component developments. Regulatory authorities and legislators are supported in the decision to find more innovative tariff models and funding frameworks.

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Die vielfältigen Herausforderungen, denen sich elektrische Netze gegenübersehen (Stichworte: Liberalisierung, Erneuerung der Infrastrukturen, Integration dezentraler Stromerzeuger etc.), erfordern grundlegende Veränderungen in der Betriebsweise und Weiterentwicklung von Erzeugungs-, Schutz- und Managementtechnologien. Die Rahmenbedingungen der elektrischen Stromversorgung haben sich grundlegend verändert. Liberalisierte Energiemärkte und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind dafür hauptverantwortlich. Verteilte Stromerzeugung und komplexere „intelligente“ Stromnetze sind die zentralen Antworten auf diese Herausforderung. Grundlegende Systemfragen wie Qualität der Stromversorgung, Netzmanagement, Stabilität, Kapazitätsplanung und Schutztechnik bedürfen einer fundamentalen Anpassung.

Die Anzahl dezentraler Erzeugungsanlagen an der Stromerzeugung stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an. Dieser Trend wird auch in den nächsten Jahren aufgrund der bestehenden Rahmenbedingungen (Förderungen von Ökostromanlagen, Technologieentwicklung) anhalten. Bei größer werdender Zahl an dezentralen Kraftwerken in den Verteilnetzen auf Nieder- oder Mittelspannungsebene muss die Betriebsweise dieser Netze angepasst werden. Verteilnetze, die bisher vor allem Strom von Großkraftwerken und aus den Hochspannungsnetzen zu den Verbrauchern durchgeleitet haben, wurden dafür als ein weitgehend passives Ende einer hierarchischen Struktur entwickelt. Mit zunehmendem Anteil kann dezentrale Erzeugung aber nicht mehr als Ausnahmefall behandelt werden, während das Gesamtsystem unverändert bleibt. Vielmehr müssen die dezentralen Anlagen in diesem Fall auch – ihren individuellen Möglichkeiten entsprechend – in die Netze und Märkte integriert und die Netze an die neuen Anforderungen angepasst werden.

Bei einer solchen Entwicklung gewinnen vor allem die Verteilnetzbetreiber an Bedeutung, da insbesondere in der Niederspannungsebene ein innovatives Netzmanagement erforderlich ist. Unter anderem setzt die Systemintegration dezentraler Erzeugung eine intensive Kooperation zwischen Verteilnetzbetreiber und Erzeugungsanlagenbetreiber/-hersteller voraus.

Die Wechselwirkung vieler unterschiedlicher DEA, welche an einen Niederspannungszweig angeschlossen sind, ist nicht weitgehend vorhersehbar, u.a. weil es noch keine ausreichende Erfahrung mit diesen Betriebszuständen gibt. Besonders Netzbetreiber planen für lange Zeiträume und müssen für eine hohe Zuverlässigkeit garantieren. Deshalb stehen diese kritisch dem Einsatz „unerprobter“ Technologien im Netzbetrieb gegenüber. Diese Unsicherheit trägt auch zur geringen Akzeptanz von dezentralen Erzeugungsanlagen bei Netzbetreibern bei.

Viele dieser technischen Fragen können nur in einer Laborumgebung untersucht werden, da im täglichen Netzbetrieb keine experimentellen Störungen geduldet werden können. Nicht nur Simulationen sondern auch die Kombination von realen Komponenten der dezentralen Stromerzeugung mit Simulationen der elektrischen Netze - ein so genanntes „hardware-in-the-loop“ Konzept - ist dafür die entsprechende Antwort. Dafür gibt es derzeit noch kein geeignetes Labor in Österreich.

1.2 Zielsetzungen des Projektes

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Konzeptes für ein in ein EU-Labornetzwerk eingebettetes Forschungs- und Simulationslabor, welches die Möglichkeit bietet, Vorteile, Auswirkungen, optimale Anschlussbedingungen, aktuelle und zukünftige Herausforderungen, welche sich aus dem Zusammenspiel von einer Vielzahl von dezentralen Energieanlagen (DEA) mit dem Verteilnetz ergeben, untersuchen zu können. Basierend auf intensiven Vorstudien wird eine leistungsfähige Laborinfrastruktur konzipiert. Dabei werden Aspekte sowohl von Software wie auch Hardware eingehend berücksichtigt. Es gibt Forschungsbedarf in Hinsicht auf Anschluss von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) und Schnittstellen zum Verteilnetz oder der Einrichtung des Kunden. Um einen möglichst hohen Nutzen von Verteilter Stromerzeugung zu erzielen, Sicherheit und Zuverlässigkeit von Kleinerzeugern über lange Zeit zu gewährleisten, ist ein interaktiver Betrieb notwendig. Ein weitreichendes Verständnis der Verhaltensweisen von DEA auf Systemebene (u.a. mithilfe von Demonstrationstest und umfassenden Untersuchungen in einer geeigneten Laborumgebung) kann auch die Akzeptanz bei Netzbetreibern und Endkunden positiv beeinflussen.

In dieser Testumgebung werden die Wechselwirkungen von dezentralen Erzeugungsanlagen im Leistungsbereich von einigen hundert Kilowatt und dem Verteilnetz gemessen. Die Resultate dieser Untersuchungen sollen auch Gesetzgebern und Regulierungsbehörden bei der Entwicklung und Umsetzung von strategischen Entscheidungen dienen, mit dem Ziel, Gesetze, regulatorische Maßnahmen, Normen, die Komponenten und Systemtechnologien zu verbessern.

Mit Aufbau und Betrieb einer experimentellen Laborumgebung zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten (SimTech Labor) wird Österreich zu einem der europäischen Vorreiter und Know-how-Träger, wenn es um Fragestellungen zur reibungslosen und kostengünstigen Einbindung dezentraler Stromerzeuger in bestehende Verteilnetze geht. Die Konzeption der experimentellen Versuchseinrichtung für elektrische Netze und dezentralen Erzeugungsanlagen im Zuge dieses Projektes bildet die Grundlage für dessen Planung, Umsetzung und Inbetriebnahme.

1.3 Innovationsgehalt des Projektes SimTech Concept

Die grundlegende Innovation liegt in der Struktur, Topologie und Betriebsweise bei der Konzeption einer integrierten Einrichtung für detaillierte und umfassende Untersuchungen von dezentralen Energieerzeugungs- und Energiespeichertechnologien (SimTech Labor). In seiner Art einzigartig ist der integrale Ansatz einer Kombination aus dieser Systemkonfiguration mit einer leistungsstarken Simulationsumgebung elektrischer Netze, um die Wechselwirkungen zwischen Anlagen und übergeordneter Netzebenen zu analysieren. Dies ist das erste Labor in Österreich dieser Art und im Kontext des europäischen Labors „DERlab“ ein integraler Teil eines gesamteuropäischen Labor-Netzwerkes.

Teil dieser Versuchseinrichtung soll eine Simulationsumgebung für leistungsfähige Netzberechnungen zukünftiger Netzstrukturen sein. Mit einer derartigen Simulationsumgebung können die Auswirkungen vom Anschluss dezentraler Stromerzeuger oder Lasten in verschiedenen Netzabschnitten bestimmt werden, womit es zu einer Optimierung des Einsatzes und zur raschen Abschätzung eventueller erforderlicher Maßnahmen im Netz kommen kann.

1.4 Beitrag des Projektes zu den Programmzielen

Das Projekt „SimTech Concept“ bildet die Grundlage für das SimTech Labor, in welchem intensive Forschung und Entwicklung zur einfachen und sicheren Integration dezentraler Energietechnologien, Optimierung der Schutztechnologien usw. betrieben wird. Dies führt langfristig zu weniger Ausfällen dezentraler Stromerzeuger, vermehrter Einspeisung bei gleich bleibendem Dargebot an Primärenergieträgern und geringeren Ausbaurkosten von Netzen und Kraftwerken.

Der vermehrte Einsatz von dezentralen Kraftwerken auf Basis erneuerbarer Energietechnologien spielt in einem zukunftsfähigen europäischen Energiesystem eine wichtige Rolle, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren und gleichzeitig die Klimawirkungen des Energiesystems zu verringern.

Durch die Einbindung von innovativen Kommunikations- und Steuersystemen von Generatoren, Lasten und Speicher wird die Entwicklung zu aktiven Verteilnetzen und optimierten Netzmanagement vorangetrieben. Dies führt mittel- und langfristig zur Optimierung des gesamten Energiesystems. Das SimTech Labor wird die erste experimentelle Entwicklungsumgebung für intelligente Netzkomponenten darstellen.

Mit der Konzeption, Aufbau und Betrieb Analyse eines Labors für aktiven Netzbetrieb mit einer hohen Dichte an dezentraler Stromeinspeisung, wird Österreich zu einem der europäischen Vorreiter und Know-how-Träger, wenn es um Fragestellungen der Einbindung dezentraler Stromerzeuger in bestehende Netze und der damit verbundenen Adaption des Betriebes der Verteilnetze geht. Damit wird auch eine Technologie-Vorreiterschaft für Österreichische Firmen und eine damit verbundene nationalen Wertschöpfung ermöglicht.

Dieses Labor ist Teil eines europäischen Labornetzwerkes (DER-Lab, EU „Network of Excellence“, gegründet 2005) womit nicht nur sichergestellt ist, dass es keine Doppelgleisigkeiten bei Forschungsaktivitäten in Europa gibt, sondern auch durch den Anspruch des EU-DER-Labs als internationales Spitzenforschungslabor eine sehr reale Chance besteht, Österreichs Forschung in diesem Teilbereich weltweit führend zu positionieren.

Die Umsetzung und Betrieb des Labors sichert nicht nur eine Reihe von Arbeitsplätzen, sondern führt auch zu einer Forcierung der Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft. Die Stärkung und Bündelung der gemeinsamen Forschungsaktivität im Bereich Verteilte Energieerzeugung, Netzmanagement, Schutzsysteme, Netzsimulationen ermöglicht außerdem den Ausbau der internationalen Führungsrolle. Zudem erlaubt es der Industrie einen leichten Zugang zu Forschungsergebnissen und zukünftigen Forschungspartnern.

Dezentrale Energieerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energieträger mit hoher Betriebszuverlässigkeit und ein innovatives Netzmanagement tragen wesentlich zur Nachhaltigkeit des gesamten Energiesystems bei. Durch vermehrte effiziente Integration von dezentralen Energiesystemen vor allem auf Basis Erneuerbarer Energietechnologien wird ein wesentlicher Beitrag zur Bewusstseinsbildung der Konsumenten, Reduktion des Strombedarfs und dadurch auch eine verminderten Bedarf an fossilen Energieträgern, usw. geleistet. Das Labor wirkt unterstützend für die Integrierbarkeit von Erneuerbaren Energiequellen in die elektrischen Netze.

1.5 Aufbau der Arbeit und verwendete Methoden

Die fünf Projektphasen des *SimTech Concept* sind in Abbildung 1 dargestellt:

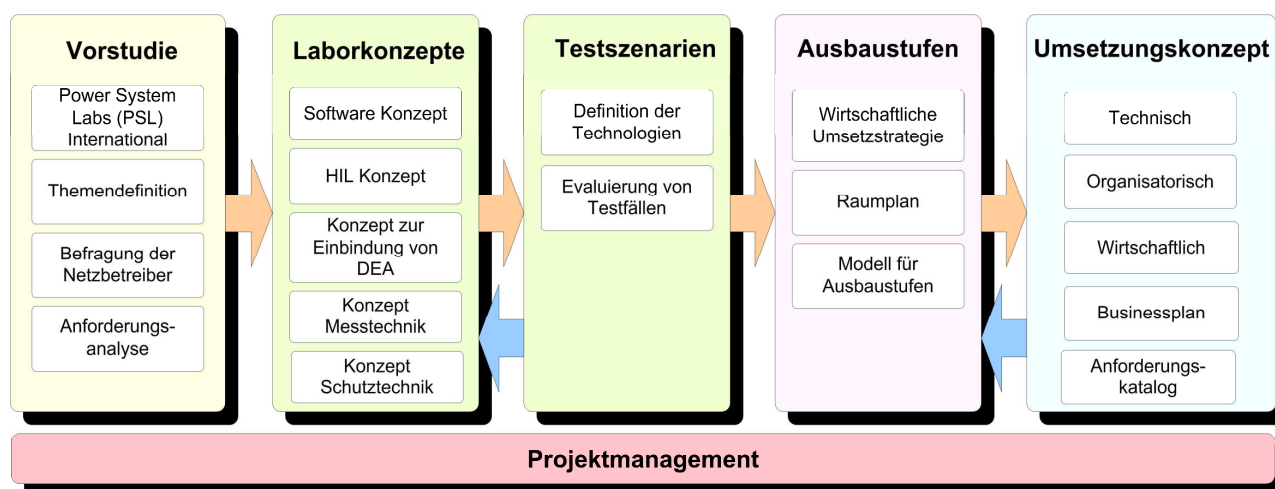


Abbildung 1: *SimTech Concept* Projektphasen

Vorstudie

Ein umfassendes Konzept für das SimTech Labor wird in mehreren Phasen durchgeführt. Beginnend mit einer Vorstudie werden vergleichbare Labors international positionierter Institute analysiert und Stärken/Schwächen der Laborinfrastruktur gegenübergestellt. Eine intensive Diskussion der österreichischen Verteilnetzbetreiber und Industrie wird weitere wertvolle Anregungen für die abschließende Anforderungsanalyse geben.

Power System Laboratories

Eine Vielzahl von europäischen und internationalen Forschungsinstituten beschäftigt sich bereits mit dezentraler Energieerzeugung und deren Betrieb im Verteilnetz. Deshalb wurde im Zuge der Vorstudie zu Beginn dieses Projektes eine Internet-Recherche internationaler Laboreinrichtungen für Verteilte Energieerzeugung und Simulation von Verteilnetzen durchgeführt, um eine Evaluierung bereits bestehender Lösungen von Laboreinrichtungen für Verteilte Energieerzeugung zu ermöglichen. Dafür werden Vergleichskriterien definiert, um die für die Vorstudie relevanten sogenannten Key Facts gegenüberzustellen. Diese Untersuchung wird beginnend mit einer Online-Recherche, anschließend durch persönlichen Kontakt mit den Laborverantwortlichen (Email, Telefon, Konferenzen) und letztlich mit einem vor-Ort Besuch der Einrichtung durchgeführt. Als Teil des europäischen Labornetzwerkes DERLab („Network of excellence“) soll das SimTech Labor auch das Portfolio des EU-Netzwerkes synergetisch erweitern.

Normen- und Vorschriften-Struktur

In einem weiteren Punkt wird die Energieforschung in Österreich beleuchtet, um die Konzeption und die technische Umsetzung eines Labors für DER und Smart Grids auch im Kontext der nationalen Smart Grid Technologieplattform einzubetten und den aktuellen und zukünftigen Forschungsthemen (u.a. der nationalen Forschungsrahmenprogramme) gerecht zu werden.

Im Zuge der Konzeption des SimTech Labors wird die grundsätzliche Normen- und Vorschriftenstruktur der ÖVE-Bestimmungen für die Elektrotechnik für Planung, Errichtung, Betrieb und Überprüfung von Smart Grids in einer Übersicht zusammenfassend dargestellt und ihr wechselseitiger Zusammenhang erläutert.

Im Sinne des *pyramidenförmigen* Aufbaus der österreichischen Rechtsordnung werden zuerst die ÖVE-Bestimmungen für die Errichtung von Niederspannungs- und Hochspannungsanlagen angeführt. Anschließend werden einschlägige ÖVE-Bestimmungen und Vorschriften für elektroenergietechnische Betriebsmittel und elektrische Maschinen zusammengefasst. Berücksichtigungswerte Normen im Zusammenhang mit der Niederspannungsrichtlinie (Richtlinien werden in Österreich durch Verordnungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) in nationales Recht umgesetzt), der EMV-Richtlinie, die Arbeitnehmerschutzrichtlinie und der für die Anlagensicherheit erforderlichen Schutzanordnungen bilden den Abschluss dieser Übersicht.

Bedarfserhebung

Ziel der Bedarfserhebung war es, die Entwicklungen und Strukturänderungen in den elektrischen Netzen insbesondere verursacht durch vermehrte dezentrale Erzeugungsanlagen (inklusive Schutz und IT) zu erarbeiten, um

- den begleitenden Forschungsbedarf sowie
- die erforderliche Forschungsinfrastruktur
- in Koordination mit den Experten für elektrische Netze

sinnvoll abstimmen zu können. Dabei werden Aspekte der Trends dieser Entwicklungen und Strukturänderungen im Mittel- und Niederspannungsnetz, ihre Gewichtungen und ihre Horizonte eingehend berücksichtigt. Der Beitrag der Netzbetreiber, Vertreter der österreichischen Energiewirtschaft und Industrie wird in Form eines Fragebogens erarbeitet.

- Wie kann das geplante SimTech Labor die heutigen und zukünftigen Fragestellungen beim Netzbetrieb beantworten?
- Welche Probleme sind nicht gelöst, welche werden erwartet (in Bezug auf die unten genannten Stichpunkte)?
- Welchen Anforderungen soll ein Labor genügen, damit Untersuchungen in diesem Zusammenhang durchgeführt werden können?
- Welcher Funktionsumfang muss unbedingt gewährleistet sein (z. B. in Hinblick auf elektrische Leistung oder Flexibilität), um die angegebenen Problemstellungen lösen zu können?
- Wie ist die persönliche/fachliche Sichtweise der Experten zu den einzelnen Themen?

Die wertvollen Anregungen werden für die abschließende Anforderungsanalyse und bei der Konzeption des Labors mitberücksichtigt. Der Fragebogen steht auch online unter <http://energyit.ict.tuwien.ac.at/SimTech> zur Verfügung und kann dort online bearbeitet werden.

Laborkonzepte

In der zweiten Phase wird ein Konzept für eine experimentelle Simulations- und Versuchsumgebung entwickelt, die den in Phase 1 erarbeiteten Anforderungen gerecht wird. Außerdem werden unterschiedliche Betriebsweisen analysiert, um die durchzuführenden Testfälle abzudecken.

Simulation und PHIL

Auf Basis von Funktionalität, Kompatibilität aber auch Verbreitung in der Industrie wurden relevante Simulationstools identifiziert. Es wurden Daten- und Modellstandards recherchiert und festgestellt, dass es sehr viele Formate in diesem Bereich gibt. Zur Identifikation relevanter Themenkreise im Bereich Hardware-in-the-loop (HIL) bzw. Power HIL konnte durch Internetrecherche und das Zurückgreifen auf wissenschaftliche Arbeiten wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden. Zum Erstellen eines Kriterienkataloges für ein Echtzeitsystem wurden die Eigenschaften aller für diese Zwecke relevanten Echtzeitsysteme aufgelistet. Zusätzlich ergaben sich Kriterien aus den Anforderungen der PHIL Simu-

lation nach Geschwindigkeit und Genauigkeit. Die „Proof of concept“ Versuche wurden nach energie-technischen und schaltungstechnischen Überlegungen aufgesetzt. Zur Abschätzung der Stabilität wurden systemtheoretische Methoden angewandt.

Technisches Konzept für Verschaltung, Mess-, Kommunikations- und Schutztechnik

Ein Einlinien-Ersatzschaltbild der Labor-Verschaltungsstruktur wurde erstellt, welches sich aus den Anforderungen der Komponententests und Systemanalysen ergab. Es wurde eine geeignete Signalisierungsinfrastruktur (auf Grundlage von z.B. IEEE 488, Industrial Ethernet, etc.) konzipiert, die den hohen Anforderungen (in elektromagnetisch harscher Umgebung müssen hochpräzise Messdaten in hoher Frequenz mit geringer Verzögerung übertragen werden) gerecht wird. Außerdem wurde analysiert, inwieweit die derzeitige Schutzphilosophie in Niederspannungsnetzen an die neuen Anforderungen, die sich mit der Einführung von Smart Grids ergeben, angepasst werden müssen.

Technologie- und Testszenarien

Bei der Konzeption zur Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) in das Verteilnetz wird auf möglichst reale Betriebsbedingungen geachtet. Es wurde hierbei versucht eine breit gefächerte Auswahl an unterschiedlichen Erzeugungstechnologien zu analysieren und auszuwählen, aber dennoch so zu bestimmen, dass eine realistische Analyse der gegenseitigen elektrischen- und thermischen Systemauswirkungen und Interaktionen ermöglicht wird. Anforderungen, Spezifikationen, Eigenschaften, Einsatz und Kombinationsmöglichkeiten von DEA und die daraus resultierenden Anforderungen an das Verschaltungskonzept des Labors wurden hierbei eingehend untersucht. Mit der Erfassung und Analyse der gewünschten Testfälle und Prüfbedingungen, welche im Labor durchführbar sein sollen, wird sichergestellt, dass bereits bei der Konzeption sowohl die Verschaltungsmöglichkeiten, Messtechnik, Raumbedarf und Hardwarespezifikationen aufeinander abgestimmt sind.

Ausbaustufen und Raumplan

In enger Abhängigkeit von wirtschaftlichen Umsetzungskonzepten und der verfügbaren Installationsfläche, werden in der dritten Projektphase eine Reihe möglicher Ausbaustufen des SimTech Labors gegenübergestellt.

Als Grundlage für die spätere Planungsgrundlage wurden unterschiedliche Ausbaustufen in Betracht gezogen, welche in iterativer Form analysiert werden. Hier kommen unterschiedliche Kriterien zur Geltung, welche in optimaler Weise erfüllt werden sollen: Raumangebot - technischer Entwurf - Finanzierung.

Der erste Schritt dabei war die Ermittlung der räumlichen und örtlichen Rahmenbedingungen und die Auswahl der Installationsfläche. Das Technische Konzept für Simulation, elektrischer Verschaltung, Messtechnik, Technologieportfolio wurde entworfen. In unmittelbarer Abhängigkeit zur ersten Grobkostenschätzung und der zur Verfügung stehenden Fläche (Raumplan) wurden eine Reihe von weiteren möglichen Ausbaustufen (Skalierung von Hardware und Funktionalität in Abhängigkeit vom Finanzierungsplan) diskutiert. Für die bestgeeignete Ausbauvariante wird ein zugehöriges Raum Funktionsdiagramm erstellt, um den Platzbedarf frühzeitig und möglichst genau abschätzen zu können. Dabei werden die Arbeitsabläufe durchgespielt und eventuelle Barrieren entschärft. Abschließend wird die Grobkostenschätzung für die Endvariante dargestellt.

Umsetzungskonzept / Businessplan

Der technische Anforderungskatalog für Planungsarbeiten setzt sich aus den Deliverables der vorangehenden Phasen zusammen. Auf Basis dieser Projektergebnisse können detaillierte Planungsarbeiten aufgenommen und direkt in Ausschreibungsunterlagen für die Ausführung eingebracht werden. Abschließend wurde ein organisatorisches und wirtschaftliches Umsetzungskonzept in Form eines Businessplans erarbeitet.

2 INHALTLICHE DARSTELLUNG UND ERGEBNISSE

Der Konzeptentwurf „SimTech Concept“ beschäftigte sich mit der Frage: Wie muss eine experimentelle Versuchseinrichtung zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten (SimTech Labor) gestaltet und strukturiert sein, um gegenwärtige und zukünftige Forschungsfragen zu aktiven Verteilnetzen und dezentralen Energietechnologien beantworten zu können?

2.1 Vorstudie

Die erste Projektphase beinhaltet die grundlegende Vorstudie und einen resultierenden Anforderungskatalog an Funktionalität der simulationstechnischen und experimentellen Versuchsumgebung für dezentrale Erzeugungstechnologien und Smart Grids (SimTech Labor) sowie einen Zwischenbericht über das ausgearbeitete Simulationskonzept. Dieses Arbeitspaket behandelt die Fragestellung: Wie muss das SimTech Labor gestaltet werden, um den vielfältigen Anforderungen hinsichtlich

- Untersuchung von Fragestellungen seitens österreichischer Industrie und E-Wirtschaft
- Sicherheits- und Betriebsnormen
- synergetische Erweiterung des Leistungsspektrums des EU-DERLabs

gerecht zu werden?

2.1.1 Recherche internationaler Laboreinrichtungen für Verteilte Energieerzeugung und Simulation von Verteilnetzen (Power System Laboratories)

Eine Vielzahl von europäischen und internationalen Forschungsinstituten beschäftigt sich bereits mit dezentraler Energieerzeugung und deren Betrieb im Verteilnetz. Deshalb wurde im Zuge der Vorstudie zu Beginn dieses Projektes eine Internet-Recherche internationaler Laboreinrichtungen für verteilte Energieerzeugung und Simulation von Verteilnetzen durchgeführt, um eine Evaluierung bereits bestehender Lösungen von Laboreinrichtungen für verteilte Energieerzeugung zu ermöglichen. Als Teil des europäischen Labornetzwerkes DERLab („Network of excellence“) soll das SimTech Labor auch das Portfolio des EU-Netzwerkes synergetisch erweitern.

Im internationalen Umfeld gibt es unterschiedliche Bezeichnungen für derartige Test- und Experimentierumgebungen, z. B. Power System Laboratory, DG Centre, Laboratory for distributed generation u. ä. Zunächst wurde ermittelt, welche Institute und Unternehmen sich mit dem Aufbau und Betrieb von Testzentren für dezentrale Stromerzeugung und den entsprechenden Technologien im Verteilnetz beschäftigen, d. h. auch Laboreinrichtungen für verteilte Energieerzeugung und Simulation von Verteilnetzen. Diese wurden in einer Liste zusammengefasst und anhand ausgewählter Kriterien näher analysiert. Die entsprechenden Kriterien zur Analyse von Struktur, Ausrichtung und Spezifikationen dieser Forschungslabors wurden so bestimmt, dass eine leichte Gegenüberstellung der Labors möglich ist, auch in Hinblick auf den Umfang und Leistungsfähigkeit des SimTech Labors.

Die Informationen der Labors gemäß den definierten Vergleichskriterien wurden einerseits mit Hilfe einer Internet-Recherche eingeholt, andererseits über persönliche Gespräche vor Ort und im Zuge diverser Netzwerk-Veranstaltungen. Die Online-Dokumentation ist selten umfangreich und in Bezug auf die hier bestimmten Vergleichskriterien auch nicht vollständig. Deshalb ist es wichtig diese Daten direkt beim Betreiber der Labors einzuheben. Da manche Forschungs- und Prüflabors bereits nach der ersten Onlinerecherche für weitere Betrachtungen nicht in Frage kamen, wurde für eine genauere Erhebung nur eine ausgewählte Anzahl von entsprechenden Laboreinrichtungen bestimmt. Dies beinhaltet einen Lokalausweis und persönliche Gespräche mit den Laborbetreibern bzw. Laborverantwortlichen.

Diese Vorgehensweise führt zur Minimierung oder Ausschluss von Risiken, da die Fehler, Schwierigkeiten oder Probleme, welche beim Aufbau oder während des Betriebes der analysierten Laborumgebungen aufgetreten sind, bereits bei der Konzeption des SimTech Labors berücksichtigt und damit vermieden werden können.

2.1.1.1 Vergleichskriterien

Die erste Sammlung von technischen Parameter für die konzeptionelle Ausführung der Versuchsumgebung beinhaltet laut den angeführten Punkten die Anzahl der unabhängig verschaltbaren Teilnetze und die Möglichkeit diese in einem bestimmten Ausmaß flexibel zu konfigurieren, um möglichst viele typische Niederspannungsnetzstrukturen realisieren zu können. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die maximale Übertragungsleistung der Versuchsnetze, der daran angeschlossenen Geräte und der gleichzeitige Betrieb dieser (Gleichzeitigkeitsfaktor). Ferner ist es wichtig zu beachten, welche Anforderungen sich ergeben, wenn die Versuchsnetze bei Spannungen und Frequenzen außerhalb der gesetzlich vorgegebenen Grenzen betrieben werden. Unabdingbar ist die vertraglich vereinbarte Bezugsleistung und Rückspeisemöglichkeit am Anschlusspunkt zum öffentlichen Versorgungsnetz mit dem lokalen Netzbetreiber.

Wie aus diesen Betrachtungen ersichtlich, gibt es eine Vielzahl von Ausführungsvarianten und einen Bedarf an grundlegender Flexibilität, mehrere Szenarien in experimenteller Umgebung abbilden zu können. Viele bereits bestehende Laboreinrichtungen wurden gezielt für bestimmte Anwendungen geplant und errichtet. Die entsprechenden Kriterien zur Analyse von Struktur, Ausrichtung und Spezifikationen dieser Forschungslabors wurden so bestimmt, dass eine leichte Gegenüberstellung der Labors möglich ist, auch in Hinblick auf den Umfang und Leistungsfähigkeit des zukünftigen SimTech Labors. Die erarbeiteten Vergleichskriterien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleichskriterien für Smart Grids Forschungslabors

Versorgung	Kurzschlussleistung des/r Trafos am Anschluss zum Mittelspannungsnetz
Spezifizierte Leistung der Versuchsumgebung	Übertragungsleistung des Versuchsnetzes
Betriebsspannung des Versuchsnetzes	Verkettete Spannung des 3-Phasen-Betriebsnetzes
Layout des Versuchsnetzes	Graphik der Verschaltungsstruktur, Veranschaulichung möglicher Versuchsszenarien, virtuelle Tour etc. Vereinfachte Darstellung des Konzeptes anhand eines abstrakten Einliniendiagramms
Plug&Play Microgrid	Ist das Labor für einen regelmäßigen Wechsel/Austausch von angeschlossenen Komponenten ausgelegt? (im Gegensatz zu Microgrids mit fixer Installation der Komponenten). (z.B. Prüfboxen für Kunden, etc.)
Echtzeitsimulation	Leistungsfähige Simulationen (u. a. Hardware-in-the-loop-Simulationen in Kombination mit angeschlossenen DEA), Real-Time Simulatoren mit I/Os
Messtechnik	Wie wird die Messtechnik realisiert (Zentral, dezentral, Sampling-rate etc.)
Forschungsthemen und Aktivitäten	Welche Tätigkeiten finden im Labor tatsächlich statt (entgegen dem Aufmacher „wir machen alles“)
Finanzierung und Kundenfeld	Forschungsförderung, Auftragsprojekte, Universitätsinstitut etc...
Besonderheiten Labors	Angabe, wodurch sich das betrachtete Labor besonders auszeichnet, welche Eigenschaft, welche Betriebsmittel sind ungewöhnlich und heben damit die Versuchsumgebung von vergleichbaren Labors deutlich ab
Weitere Aspekte des Labors	alternative Lösungsansätze für SimTech im Vergleich zum bestehenden Labor
Dokumentation (online)	Angabe der URL und weiterführender Quellen

2.1.1.2 Labors im Vergleich

Ende 2005 wurde eine Initiative gestartet, welche zum Ziel hat ein EU-Labornetzwerk („Network of Excellence“) aufzubauen: DERlab (European Laboratory for distributed energy resources). arsenal research ist seit 2005 der österreichische Knotenpunkt eines von der EU-Kommission initiierten und geförderten Europäischen „Network of Excellence“ im Bereich dezentraler Stromerzeugung (DERlab). An diesem Netzwerk nehmen hochrangige, akkreditierte, neutrale und unabhängige sowie bereits im dezentralen Energiebereich tätige Laboratorien aus 11 Ländern teil.

Das SimTech Labor soll integraler Bestandteil des europäischen Labornetzwerkes DERLab sein. Deshalb werden in einem ersten Schritt die Labors der DERLab Partner hinsichtlich der im vorigen Abschnitt definierten Kriterien untersucht und die erhaltenen Informationen entsprechend aufbereitet um bereits im Europäischen Umfeld Synergien und noch nicht besetzte Nischen aufzuzeigen.

Die wichtigsten experimentellen Laboreinrichtungen der DERLab-Partner sind in der Tabelle 2 aufgelistet:

Tabelle 2: DERLab Partner

Institut (DERLab-Partner)	Labor	Land	Ort
ISET (IWES)	DeMoTec	DE	Kassel
Labein Tecnalia	Microgrid	ES	Bilbao
KEMA	Flex Power Grid Lab FPGL	NL	Arnhem
RISØ /DTU	SYSLAB	DK	Roskilde
ERSE	DGLab	IT	Mailand
NTUA /University of Athens	NTUA - ICCS Microgrid	GR	Athen
CEA	PRISMES	FR	Le Bourget Du Lac
UMIST / Strathclyde Energy Lab	D-NAP	UK	Manchester / Strathclyde
TU Sofia	-	BG	Sofia
TU Lodz	-	PL	Lodz

Nähere Informationen mit Kurzbeschreibungen sind auf <http://www.derlab.net/> bzw. <http://www.der-ri.net/> zu finden.

Auch auf internationaler Ebene wurde eine Recherche zu bereits bestehenden Laboreinrichtungen für alternative und verteilte Energieerzeugung durchgeführt. Dabei konnten im Zuge einer Online-Recherche die in Tabelle 3 aufgelisteten Institute und Labors gefunden werden:

Tabelle 3: Laboreinrichtungen für DG und Smart Grids international

Institut	Labor	Land	Ort
TU Delft	DENLAB	NL	Delft
VTT	Multipower	FI	Espoo
Clausthaler Umwelttechnik-Institut	DRESY	DE	Clausthal
NaREC	EnergyLINK	UK	Blyth
Florida State University	CAPS	US	Tallahassee, FL
Colorado State University, Spira	InteGrid	US	Fort Collins, CO
DUTI NREL		US	Livermore, CA
EPRI	PEAC Lab	US	Knoxville, TN
American Electric Power (AEP)	CERTS Microgrid	US	Columbus, OH
Sandia National Laboratories	DETL	US	Albuquerque, New Mexico
WISPERC, NREL		US	Colorado
NREL	DER Test Facility	US	Boulder
DECC		US	OakRidge, Tennessee
Akagi Testing Centre, Gunma Prefecture, CRIEPI		JP	Gunma, Japan
Rise Test Centre	RESLAB	AU	Perth
NEXT Energy Centre	Microgrid Power Generation Pavilion	US	Detroit
Agency for Science, Technology and Research (A*STAR)	Experimental Power Grid Centre EPGC	SG	Singapor

Eine Online-Recherche hat ergeben, dass einige der hier gelisteten Labors besondere technische und betriebliche Eigenschaften aufweisen, d. h. die Struktur und Installation dieser Labors greift die im Zuge dieses Projektes entstandenen Vorstellungen am ehesten auf, deshalb werden diese Einrichtungen einer detaillierten Betrachtung unterzogen, um den Stand der Technik zu beleuchten (State of the art).

- DeMoTec; ISET (IWES);
- Flex Power Grid Lab FPGL; KEMA;
- CAPS; Florida State University;
- Multipower; VTT;
- InteGrid; Colorado State University, Spirae;
- EnergyLINK; NaREC ;
- Microgrid; Labein Tecnalía;
- SYSLAB; RISØ /DTU;

2.1.1.3 Analyse

Im Zuge der beschriebenen Recherche konnten 25 relevante Labors im internationalen Umfeld identifiziert werden, in denen umfangreiche Messungen und Analysen von dezentralen Energietechnologien, intelligenten elektrischen Netzen und der Interaktion beider durchgeführt werden oder möglich sind. Von den ermittelten Labors sind 12 in Europa, 10 in den U.S.A. und 3 in Asien/Pazifik.

Im Allgemeinen werden in diesen eine oder mehrere der folgenden Themen bearbeitet:

- Prüfung von einzelnen Komponenten der elektrischen Energietechnik (Generator, Speicher)
- Inselnetzbetrieb im Niederspannungsnetz
- Untersuchung netztechnischer Fragestellungen mittels Simulationstechniken
- Validierung von Simulationen mittels experimentellen Untersuchungen
- Netzmanagement im Niederspannungsnetz (inklusive IKT)

Forschungs- und Prüflabors vor allem im akademischen Bereich haben nur eine kleine Anschlussleistung und begrenzte Möglichkeiten für unterschiedliche Tests. Diese werden vor allem für den Lehrbetrieb genutzt und werden für die Simulationsmöglichkeiten in Betracht gezogen.

Aus der Vielzahl der existierenden Laboreinrichtungen wurden im vorhergehenden Abschnitt acht Labors ausgewählt, welche möglichst viele Aspekte mit dem zukünftigen SimTech Labor gemeinsam haben und sich gemäß den ausgearbeiteten Kriterien besonders für eine nähere Betrachtung angeboten haben. Die wichtigsten Informationen wurden gemäß den Kriterien in Form von Fact-Sheets dargestellt.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse zu den Vergleichskriterien noch einmal zusammengefasst und analysiert.

Versorgung

Die Kurzschlussleistung des/r Trafos am Anschluss zum (in allen Fällen) Mittelspannungsnetz ist sehr unterschiedlich, da die Labors unter verschiedenen Voraussetzungen errichtet worden sind. Dies ist auch historisch bedingt, wenn z.B die Räumlichkeiten eines Industriebetriebes übernommen worden sind und damit auch die hohen Anschlussleistungen und die entsprechenden Transformatoren. Vielfach werden Transformatoren der Gebäudetechnik mitbenutzt (Anschlussleistung limitiert), manchmal

stehen eigene Prüftransformatoren für die Laborinfrastruktur zu Verfügung, welche entsprechend ausgelegt wurden (Anzahl, Kurzschlussleistung, Sekundärspannung etc.).

Normalerweise ist eine hohe Anschlussleistung auf unterschiedlichen Spannungsebenen vorhanden. Meist liegt die Anschlussleistung der Labors unter 500 kVA (KS-Leistung des Trafos), die Übertragungsleistung des sekundären elektrischen Netzes auch noch darunter. Die Versorgung aus der MS Ebene scheint für einen Laborbetrieb im NS Bereich ausreichend (ca. 20kV primär). Die kontinentalen Unterschiede der Spannungsebenen werden bei den konzeptionellen Betrachtungen vernachlässigt. Auch wenn in manchen Labors 400kVA oder 630kVA Trafos eingesetzt werden, so ist doch der Einsatz von 800kVA oder 1MVA Standardtrafos eine optimale Lösung, um im Zusammenspiel mit dem Labornetz auch Reserve KS-Leistung bereitstellen zu können. Nur speziell ausgerüstete Labors für Nischenmärkte (CAPS für navale Versorgungsnetze, FlexPowerGridLab bei KEMA- für Einzelkomponententests) haben größere Anschlussleistungen (z. B. 1-5 MVA).

Die Versorgung der Versuchsnetze und der daran angeschlossenen DEA (auch für Rückspeisung) erfolgt wie beschrieben über einen entsprechenden Transformator. Alternativ dazu wird in einigen Labors ein steuerbarer AC Spannungsverstärker eingesetzt, um die Spannung und Frequenz entsprechend der jeweiligen Spezifikation variieren zu können und so unterschiedliche Netzzustände herstellen zu können, um damit die Auswirkungen auf angeschlossene Geräte zu untersuchen. VTT verwendet einen Dieseldesigner als sogenannten Netzsimulator, ein IGBT Spannungsverstärker unterschiedlicher Leistung bestimmt die Versorgung von FPGL, CAPS (Sonderentwicklungen) und Labein (kommerzielles Produkt). Im DeMoTec kommt ein linearer Spannungsverstärker (mit all seinen Vor- und Nachteilen, siehe 2.2.3) zum Einsatz, welcher aber separat an einem Wechselrichterprüfstand betrieben wird und nicht integraler Bestandteil des elektrischen Schaltverteilers des Labors ist. Die Verfügbarkeit einer qualitativ hochwertigen steuerbaren Spannungsquelle ist das Herzstück eines Smart Grid Labors, wenn umfangreiche Untersuchungen bei dynamischen Netzänderungen durchgeführt werden wollen.

Nur in den seltensten Fällen steht eine steuerbare Gleichstromversorgung mit entsprechender Leistung bereit, um DEA generatorseitig zu versorgen. Die Gleichstromversorgung wird in Labein (40kW, SMPS) und im DeMoTech (90kW, linear) durch entsprechende DC Netzgeräte realisiert, welche am selben AC Netzverteiler wie die AC Stromversorgung angeschlossen sind. CAPS realisiert eine leistungsfähige DC Versorgung mit eigenem Verteilnetz aus dem DC Zwischenkreis des AC Hochleistungsverstärker. Dies erlaubt jedoch keinen gleichzeitigen Betrieb als DC Quelle und steuerbaren AC Quelle.

Nur in wenigen Labors ist eine programmierbare und fernsteuerbare DC Quelle mit hoher Leistung und hoher Dynamik vorhanden, die eine reproduzierbare Simulation von Gleichstromgeneratoren (Photovoltaik, Brennstoffzellen, Batterien etc.) ermöglicht.

Spezifische Leistung

Die eingesetzten Transformatoren in den Labors sind entsprechend der lokalen Netzverhältnisse dimensioniert. Diese Trafos versorgen ein elektrisches Versuchsnetz, welches in den meisten Fällen aus einer Anzahl von einzeln abgesicherten Abgängen zum Anschluss von DEA und konfigurierbaren Lasten besteht. Die Versuchsnetze sind unterschiedlich ausgeführt, wobei die Struktur von einer einfachen Sammelschiene bis hin zu aufwändig konfigurierbaren Kreuzschienenverteilern mit bis zu 3 isolierten parallelen Netzen mit unterschiedlich abgesicherten Abgängen reicht.

In allen Labors (außer CAPS für navale Versorgungsnetze, FlexPowerGridLab bei KEMA- für Einzelkomponententests) verteilt sich die gesamte Anschlussleistung vom Trafo auf die Anzahl der Einzel-

anschlüsse. Die Summe der gleichzeitig in Betrieb befindlichen DEA darf die maximale Anschlussleistung nicht überschreiten. Die spezifische Leistung der Sammelschienen ist ausreichend dimensioniert, es gibt in den meisten Fällen aber keinen Abgang für die volle Leistung. Dies hat zur Folge, dass nur DEA mit der Leistung des leistungsfähigsten Abganges des Schaltverteilers betrieben werden können, nicht aber der vollen Anschlussleistung des Labors. CAPS und FPGL erlauben auch den Betrieb einer einzigen DEA mit der vollen Versorgungsleistung des Labors, dafür ist aber auch die entsprechende Verschaltung mit hoher Strombelastbarkeit erforderlich.

Betriebsspannung der Versuchsnetze

Die Betriebsspannung für das Versuchsnetz beträgt auf der Niederspannungsseite im Normalfall 400V (Europa). Das obere und untere Spannungsband wird nicht spezifiziert, darum ist davon auszugehen, dass die Toleranzgrenzen gemäß EN-51060 eingehalten werden.

Mithilfe der AC Spannungsverstärker kann darüber hinaus auch eine stufenlos einstellbare Spannung bis zur oberen Toleranzgrenze eingestellt und die Frequenz zwischen zwei Schwellwerten variiert werden (Netzsimulator). Die Netzsimulatoren von CAPS und FPGL erlauben auch steuerbare Spannungen bis zu 4kV. SYSLAB betreibt einen Stufentransformator geringer Kurzschlussleistung, welcher zwischen 2 Teilnetze geschaltet werden kann. Auf diese Weise stehen zusätzliche von 400V abweichende Spannungen zu Verfügung.

Viele DEA, vor allem umrichterbasierte DEA, benötigen Generatorseitig eine DC Spannung mit oft hoher Leistung. Zur Erbringung der DC Spannungen sind entsprechende DC Quellen erforderlich. Dies ist eine Komponente, welche in den meisten Labors vernachlässigt wurde, jedoch zur Analyse von modernen DEA (IGBT Umrichter, PV Wechselrichter, Wind Wechselrichter, Laderegler) wesentlicher Bestandteil einer Laborinfrastruktur sein soll. CAPS realisiert die DC Quelle über den DC Zwischenkreis des Netzsimulators mit Spannungen bis zu 1,2kV. Labein und DeMoTec verfügen über den Kreuzschienenverteiler versorgte DC Quellen mit Spannungen bis 900V.

Im SimTech Labor soll auf eine hochwertige DC Versorgung geachtet werden, welche flexibel steuerbar und vielseitig anwendbar sein soll. Z.B. Spannungsbereich bis 1000 V und Leistung bis zur gleichwertigen Anschlussleistung der AC Versorgung, um einzelne DEA und modulare Systeme flexibel betreiben zu können. Die Niederspannung ist bis 1000V definiert, jede Betriebsspannung höher als diese erfordert zusätzliche Schutzmaßnahmen gemäß den Richtlinien der Hochspannung.

Layout der Versuchsnetze

Um einen flexiblen Systembetrieb zu ermöglichen, ist eine mehrfache, parallele Ausführung eines 3-Phasen-Netzes mit Nullleiter für Niederspannung Stand der Technik. Die Verschaltung erfolgt in einem ferngesteuerten Kreuzschienenverteiler. Einfachere Sammelschienen sind nur dann gebräuchlich, wenn es sich um einzelne Testobjekte mit entsprechend hoher Leistung handelt, bzw. wo Systemuntersuchungen (Wechselwirkung von Komponenten) nicht das Ziel der experimentellen Arbeit im Labor sind (EnergyLINK, FPGL, Integrid). Alternativ dazu kann die Sammelschiene in Sektionen geteilt werden, um ein noch höheres Maß an Flexibilität zu erlangen. Auf diese Weise kann die Anzahl der isolierten parallel geführten Netze auf zwei reduziert werden, ohne wesentliche Funktionalität einzubüßen (SYSLAB).

Eine Dokumentation der Verschaltungsstruktur ist nicht immer erhältlich, ein Einlinien-Stromlaufbild konnte aufgrund der unterschiedlichen Komplexität noch nicht von allen der näher beleuchteten Labors in einheitlicher Form wiedergegeben werden. Hier wird auf die Schaltbilder der Betreiber verwiesen.

Üblicherweise verfügen die Labors über eine Vielzahl von bereits installierten Komponenten der dezentralen Energietechnologien (DER). Dieselgenerator, PV-Anlage mit Wechselrichter, Batterie- oder Schwungradspeicher, Mikrogasturbine etc.). Damit kann das Versuchsnetz im Inselbetrieb gefahren werden, bzw. stehen die Geräte für unterschiedliche Systemuntersuchungen zur Verfügung. Die Anlagen haben einen entsprechenden Platzbedarf und müssen regelmäßig gewartet werden, auch wenn diese nicht ständig in Betrieb sind. Diese DER sind fixer Bestandteil des Versuchsfeldes, ein einfacher und regelmäßiger Austausch ist nicht vorgesehen.

Jedes Labor bietet die Möglichkeit, zusätzliche Anlagen für einen temporären Betrieb anzuschließen. Dafür werden elektrische Anschlüsse bereitgestellt und der Kreuzschienenverteiler/Schaltstellung entsprechend konfiguriert. Der Betriebsplatz für zusätzliche Geräte ist aber nicht für Sonderanwendungen ausgestattet (Explosionsschutz, Säureschutz, Abgasanlage, Gasanschluss, etc.). Einzig EnergyLINK bietet einen abgetrennten Betriebsplatz für Kunden, wobei dies hauptsächlich aus Gründen der Vertraulichkeit angeboten wird.

Einstellbare passive Lasten (R, L und C für Wirk- und Blindleistung) sind in jedem Labor verfügbar, entweder mobil auf Rollen, fix installiert, fernsteuerbar, mit Schaltern oder mit Schraubbolzen einstellbar. Der Leistungsbereich der Lasten entspricht nicht dem Leistungsumfang des Versuchsnetzes, dies ist als limitierender Faktor beim Betrieb zu bemerken.

Microgrids mit fix installierten Komponenten sind nicht besonders flexibel und für einen hohen Durchsatz an austauschbaren Komponenten (Prüflingen, DUT) nicht optimiert. Dies resultiert einerseits aus der historischen Tatsache, dass die gemeinsame elektrische Verbindung der Einzelgewerke erst nachträglich stattgefunden hat oder dass der Fokus auf dem Betrieb von Mikronetzen gelegt wird und dadurch ein stets verfügbares Portfolio von DEA zur Verfügung steht, um den Inselbetrieb an sich und die Re-Synchronisierung mit dem übergeordneten Netz untersuchen zu können.

Besonderheiten

Die notwendige Einrichtung zur Prüfung von EMV und transienter Vorgänge auf System- und Komponentenebene ist ein steuerbarer Netzemulator mit entsprechender elektrischer Leistung und Bandbreite. Dieser ermöglicht auch die Nachbildung von verschiedensten Netzzuständen. Dabei sind unterschiedliche Technologien und Leistungsklassen im Einsatz (Tabelle 4).

Tabelle 4: Steuerbare AC Quellen im Einsatz

Leistung	Technologie	Bandbreite	Labor	Hersteller
1 MW	Switched Mode Power supply	3kHz	FPGL, Kema	Siemens
100 kW	Linearverstärker	5kHz	DeMoTec, ISET	Spitzenberger Spiess
60 kW	Switched Mode Power supply	1,5kHz	Labein Microgrid	Pacific Power Source
5 MW	Switched Mode Power supply	Ca. 1 kHz echte Bandbreite	CAPS, FSU	Toshiba
1,5 MW	Dieselgenerator	60Hz	Multipower, VTT	Wärtsilä

Alle anderen Labors arbeiten ohne Netzsimulator und damit über den Versorgungstrafo direkt am öffentlichen Versorgungsnetz. Ein weiterer Vorteil von elektronischen Netzsimulatoren ist die variable Ausgangsspannung, um das normativ vorgegebene Spannungsband aussteuern zu können. Wird eine derartige AC-Quelle in einer geschlossenen Regelschleife eingesetzt (CAPS), so muss auf eine stabile Betriebsweise der Regelstruktur geachtet werden.

Folgende technische Ausführungen sind in den Labors positiv aufgefallen und sollten auch im Sim-Tech Labor umgesetzt werden:

- Fernsteuerbare Schaltverteiler / Sammelschienen
- Wasserkühlung von Betriebsmitteln mit großer Abwärme
- Y-Ausgang des Prüftransformators mit zugänglichem Sternpunkt
- Anzahl von Sammelschienen mit unterschiedlicher Strombelastbarkeit (je nach Bedarf)
- „High definition“ Modellierung mit führenden Simulationsplattformen
- flexibles Kommunikationsnetz für versch. Protokolle geeignet
- "client cell" Boxen, Maschinensatz, Bussysteme, SCADA System
- zusätzlicher Stufentransformator (Tap changer) für unterschiedliche Sekundärspannungen

Neben den technischen Spezifikationen sind in den bisher betrachteten Labors auch zusätzliche Aspekte positiv aufgefallen, welche für einen professionellen Laborbetrieb in Hinblick auf das SimTech Labor von Bedeutung sind:

- Besprechungsraum/Präsentationsraum für Kunden
- Abgeschlossene Leitwarte
- Abgetrennter Lagerraum für vertrauliches Prüfgut
- flexibles Kommunikationsnetz für versch. Übertragungsprotokolle geeignet
- Abgetrennte Arbeitsbereiche für Kunden

Echtzeitsimulation

Viele Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit Netzsimulationen, Modellierung von Komponenten der dezentralen Energietechnologien (Umrichter, Generatoren, Speicher) und Verifizierung dieser z. B. an einem dafür vorgesehenen Prüfstand. Dafür werden unterschiedliche Softwaretools eingesetzt, jedoch nur in wenigen kommen Simulationsumgebungen mit Echtzeitunterstützung (digitaler Echtzeitsimulator) zum Einsatz. Diese Geräte werden zum Testen und Entwickeln von Komponenten mit hoher Anforderung an die Dynamik verwendet (Schutzkomponenten, Schaltstufen von Umrichtern etc.).

Sofern der digitale Echtzeitsimulator in Verwendung ist, wird dieser fast ausschließlich in stand-alone betrieben. Es werden Untersuchungen im Bereich der Übertragungsnetze und Schutzelemente durchgeführt, ohne externe Hardware, rein auf dem leistungsstarken Simulationsrechner. Die Kompetenz liegt meist in sehr speziellen Bereichen der Netzsimulation in kurzen Zeitschritten, um die Interaktion mit Events (vom Benutzer) in Echtzeit durchführen zu können.

CAPS ist derzeit das *einzige* Labor, in welchem eine vollwertige Power Hardware-in-the-loop (PHIL) Struktur mit entsprechenden Leistungsverstärker implementiert ist (PHIL ist in 2.2 näher erläutert). Das Hauptaugenmerk bei CAPS liegt bei navalen Stromversorgungssystemen, wobei das SimTech Labor Niederspannungsnetze zu Land und all seinen Charakteristika untersucht. Dennoch dient CAPS hinsichtlich der Umsetzung einer PHIL im Niederspannungsnetz als Referenz für das SimTech Labor, wobei die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Echtzeitsimulationssystems und die detaillierte Gestaltung der Hardwarekomponenten noch Teil der weiteren Projektaktivitäten ist.

Eine derartige PHIL Struktur im Niederspannungsbereich wurde bisher noch nicht implementiert und zeichnet somit das SimTech Labor in seiner Einzigartigkeit in diesem Bereich aus.

Messtechnik

Die genaue Ausführung der Messtechnik ist nicht Teil der Online-Dokumentation der angegebenen Labors und Prüfeinrichtungen, deshalb konnten diese Informationen nur mittels Vor Ort Besuch geklärt werden. Hierbei lag das Hauptaugenmerk auf der prinzipiellen Umsetzung der Messinfrastruktur.

Grundsätzlich unterscheiden sich die Messkonzepte der untersuchten Labors kaum. Es gibt ein kostengünstiges zentrales Messdaten-Erfassungssystem, um den Systemzustand zu erfassen (z.B. Strangströme und Knotenspannungen des Schaltverteilers/Sammelschiene). Präzise und hochauflösende Messtechnik (transiente Vorgänge, präzise Leistungsmessgeräte, Multikanal, AC und DC) direkt am dezentral angeschlossenen Prüfling ergänzt die Messinfrastruktur zur Analyse der elektrischen Parameter. Die dezentrale Messtechnik ist beispielsweise bei Syslab und FPGL über Kommunikationsleitungen miteinander verbunden, was eine zentrale Datenerfassung aller relevanten Messgrößen im Versuchsnetz mit unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen ermöglicht. Die Systemmesstechnik ist üblicherweise integraler Bestandteil des Schaltverteilers, während die Leistungsmesstechnik von Drittanbietern stammt, wobei nur in den beiden genannten Labors beide Messebenen miteinander verknüpft sind.

Die detaillierte Ausführung des Messdatenerfassungssystems hängt im Wesentlichen von den Prüfszenarien und den damit verbundenen Anforderungen an die Messgenauigkeit ab. Grundsätzlich bietet sich eine abgestuft implementierte Messtechnik auch im SimTech Labor an, die Details können aber erst im Rahmen der noch zu erarbeitenden Anforderungen und Prüfszenarien entwickelt werden.

R&D und Prüfung

Die Forschungsthemen und Forschungsstrategien der untersuchten Labors sind recht unterschiedlich. Diese reichen von Untersuchungen an einzelnen Erzeugungstechnologien, Normprüfungen, Prüfung der Netzinteraktion von Komponenten, bis hin zu Betriebsstrategien von Micronetzen und SCADA Systemen. Die Infrastruktur ist in vielen Labors ähnlich aufgebaut, der Forschungsfokus unterscheidet sich jedoch. Zusammenfassend kann man sagen, dass sich kommerzielle Prüfungen auf Komponenten und Betriebsmittel beschränken, Forschungsvorhaben (co-finanziert) sich hauptsächlich auf systemische Aspekte konzentrieren.

Für die Abwicklung von standardisierten Prüfungen gemäß gültiger und zukünftiger Netzanschlussbedingungen ist es wesentlich die Prüfprozedur und die dafür notwendigen Betriebsmittel zu kennen, um diese schon beim Aufbau der Infrastruktur entsprechend berücksichtigen zu können. Um einige Beispiele für nicht erfolgreiche Implementierung der Infrastruktur zu nennen:

- Inselbildungstest: Leistungsabgleich mithilfe einer lokalen Last -> stufenlose Einstellung auch für die Blindlast -> nur manuell verstellbare Stufen wurden realisiert, welche nicht während des Betriebes verstellt werden können. Damit werden die Prüfbedingungen nicht erfüllt.
- Messung der Leitungsgebundenen EMV (Immunität) -> Frequenzbereich der steuerbaren AC Quelle muss mindestens bis zur 40. Harmonischen reichen -> das Labor bietet zwar EMV Tests an, kann diese aber nicht laut Norm vorgeschriebenen bis zu 2kHz durchführen.

Geplante Versuchsaufbauten und Betriebsweisen haben sich in der Vergangenheit als nicht Ziel führend erwiesen:

- Unwirtschaftliche Betriebsmittel (Ein 1,6MW Diesel wird zur Kraftstoffentwicklung verwendet, kann aber auch als AC Netzsimulator gebraucht werden. Ist praktisch nicht der Fall, weil die Treibstoffkosten für einen experimentellen Betrieb zu hoch sind)
- Vorinstallierte DER: die Wartungs- und Betriebskosten der bereits vorinstallierten Betriebsmittel sind hoch, oft sind vor allem diese Komponenten bestens als Simulationsmodelle bekannt und können somit in PHIL Konfiguration in die Simulationsebene verschoben werden.

Komponentenprüfungen (Wechselrichter, Verbrennungsmotoren, Trafostationen, Schiffsantriebe) und Geräteentwicklung (Leistungselektronik für Batterien, Synchronisierungsschalter von Inselnetzen, Reglerbausteine für Verteilnetze etc.) bilden das wirtschaftliche Standbein der meisten Labors. Die Zusammenarbeit mit gewichtigen Industriepartnern spiegelt sich in den technischen Möglichkeiten der jeweiligen Labors wieder.

Untersuchungen auf Systemebene sind zwar in den meisten Labors im bestimmten Maße möglich, wird aber durch Grundlagenforschungsprojekte getragen, welche aber nicht an jedem Institut laufen. Die Bereitstellung der Infrastruktur inklusive Testingenieuren stellt dem Kunden frei, welche Untersuchungen (Komponenten, System) er schlussendlich durchführen möchte.

Einige Installationen und Komponenten sind anlassbezogen aufgebaut worden (auf Basis von Kunden- oder Forschungsprojekten hinsichtlich einzelner Technologien), nach Beendigung des Projektes wird nach weiterer Verwendung gesucht, bzw. werden diese Testaufbauten in das Micronetz integriert.

Finanzierung

Die Finanzierung erfolgt bei fast allen Forschungs- und Prüflabors mindestens teilweise über öffentliche Mittel (Basisfinanzierung, Universitäten), wenige Labors können ihre Tätigkeiten über direkte Auftragsforschung (z. B. Rüstungsindustrie) finanzieren. Die klassische Prüfdienstleistung von Komponenten bildet auch bei vielen der untersuchten Labors die Finanzierungsgrundlage. Sponsoring spielt bei der Finanzierung des Betriebs dieser Labors keine Rolle.

Weitere Aspekte der Laborinfrastruktur

Einige Aspekte sind in den untersuchten Labors als nicht praktikabel aufgefallen aber sind für den Betrieb der Infrastruktur von grundlegender Bedeutung:

- Vermeidung von Kondensat in Kühlsystemen (keine direkte Verbindung ins Freie)
- Sicherheit bei Messtechnik: nur IT-Leitungen in die Leitwarte.
- zentrale Überwachung/Steuerung UND lokale, dezentrale Bedienmöglichkeit
- Einheitliche Kommunikations- und Steuerungstechnik
- vorbereitete Prüfplätze mit allen notwendigen elektrischen Anschlüssen und Interface zur Kommunikations- und Messtechnik, außerdem Versorgung mit Brennstoff bzw. Entsorgung von Abgasen.
- Berücksichtigung der hohen Betriebskosten bei Verbrennungskraftmaschinen
- Lärmentwicklung, bzw. Schalldämmmaßnahmen
- Betriebsorganisation bei mehreren Projektgruppen (System – Komponenten - Netzsimulation)

Dokumentation

Grundsätzlich gibt es für jedes Forschungs- oder Prüfinstitut und die dazugehörige Laboreinrichtung Basisinformationen im Internet zu finden. Nur in seltenen Fällen ist die Dokumentation umfangreich, z.B. ein virtueller Rundgang durch den Netzplan und die einzelnen angeschlossenen Komponenten. Die Links zu den Internetadressen für weiterführende Informationen sind bei der jeweiligen Beschreibung der Labors in den vorangegangenen Kapiteln angegeben. Entsprechendes Bildmaterial zur Visualisierung bestehender Labors wurde nur in den Bestandsprotokollen inkludiert. Außerdem wurde eine umfassende Datenbank mit URLs von internationalen experimentellen Versuchsanlagen im Bereich dezentrale Energietechnologien eingerichtet: <http://delicious.com/simtechconcept>.

Zusammenfassung

Jedes Labor für dezentrale Energietechnologien im internationalen Umfeld ist auf die jeweiligen Anwendungen und Anforderungen zugeschnitten. Die Darstellung dieser Labors dient hierbei als Bestandserhebung (Was gibt es bereits?) und als Beispiel für mögliche technische Ausführungen im Hinblick auf die jeweiligen Anwendungen. Deshalb ist es im Zuge dieses Projektes besonders wichtig einen umfangreichen Anforderungskatalog/ Prüfkatalog, Definitionen von Betriebsweisen und möglichen Untersuchungen im SimTech Labor zu erstellen. Die Kombination eines leistungsfähigen Simulationsrechners mit einem physikalischen Niederspannungsnetz und all seinen Komponenten in einer geschlossenen Regelschleife (Power Hardware-in-the-loop) ist in Europa einzigartig und hebt sich dadurch von den bereits bestehenden Labors ab.

Möglicherweise könnte sich das SimTech Labor auch an ein Finanzierungs- und Betriebsmodell der dargestellten Labors anlehnen oder eine synergetische Partnerschaft eingehen. Das „Network of Excellence DERLab“ ist dafür die geeignete Plattform dafür.

2.1.2 Forschungsthemen zur Konzeptentwicklung

In einem weiteren Punkt wird die Energieforschung in Österreich beleuchtet, um die Konzeption und die technische Umsetzung eines Labors für DER und Smart Grids auch im Kontext der nationalen Smart Grid Technologieplattform einzubetten und den aktuellen und zukünftigen Forschungsthemen (u.a. der nationalen Forschungsrahmenprogramme) gerecht zu werden. Schon in dieser Phase wird für die Konzeption und Planung des Labors die grundsätzliche Normen- und Vorschriftenstruktur der ÖVE-Bestimmungen für die Elektrotechnik für Planung, Errichtung, Betrieb und Überprüfung von Smart Grids in einer Übersicht zusammenfassend dargestellt und ihr wechselseitiger Zusammenhang erläutert.

2.1.2.1 Energieforschung in Österreich

Eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger und die Erhöhung der Energieeffizienz sind zentrale Ziele der europäischen Energiepolitik. Dabei stellen die Technologien der verteilten Stromerzeugung und der intelligenten Netze die Schlüsselaspekte zur Erreichung dieser Ziele dar. Allerdings werden damit an das bestehende Energiesystem völlig neue technologische und organisatorische Anforderungen gestellt. Grundlegende Systemfragen wie Netzmanagement, Kapazitätsplanung, Stabilität, Schutzstrategien und auch die Versorgungsqualität sowie Optimierung von Energieangebot und -verbrauch treten massiv in den Vordergrund. Die Grenzen zwischen Erzeugern und Verbrauchern verschwimmen zunehmend und neue Geschäftsmodelle sind zu entwickeln. Die für eine erfolgreiche Umsetzung des SimTech Labors notwendige Konzepterstellung, baut auf diesen aktuellen und zukünftigen Aufgabenstellungen komplexer Energieversorgungsstrukturen und -systeme auf. Die dazu relevanten Forschungsfragen werden im Zuge der Themendefinition in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

2.1.2.2 Smart-Grids Technologieplattform Österreich

Im Frühjahr 2008 wurde die Smart Grids Technologieplattform Österreich gegründet, an welcher sich Unternehmen aus der Industrie, der Netzbetreiber und Forschungsinstitute gemeinsam den Fragestellungen der Energieversorgungsstruktur heute und in Zukunft widmen. Die wesentlichen Ziele der SG Technologieplattform sind

- Identifikation der F&E Stärken in Österreich

- Sammlung der Projektideen aller Partner
- Bündelung der Projektideen in „neue“ F&E-Bereiche

Die SG Technologieplattform erarbeitet hinsichtlich der elektrischen Energieversorgung die Forschungsfragen von heute, um die Probleme von morgen bewältigen zu können. Um diese Ziele erreichen zu können, werden folgende Maßnahmen gesetzt:

- Vernetzen nationaler Akteure im Bereich intelligenter Stromnetze
- Definition, Abstimmung und Unterstützung von
 - Maßnahmen für die Markteinführung relevanter Lösungen
 - koordinierten und zielorientierten F&E- und Demonstrationsprojekten
 - notwendigen Rahmenbedingungen für die Umsetzung
- SG Technologieplattform als zentrales Kommunikations- und Informationsinstrument

Als wesentliche Basis zur Erarbeitung von Forschungsthemen ist die grundlegende Definition eines intelligenten elektrischen Versorgungsnetzes – des Smart Grid. Im Zuge der Tätigkeiten der SG Technologieplattform wurde dieser Begriff erstmalig konkret definiert:

Smart Grids sind Stromnetze, welche durch ein abgestimmtes Management mittels zeitnaher und bidirektionaler Kommunikation zwischen Netzkomponenten, Erzeugern, Speichern und Verbrauchern einen energie- und kosteneffizienten Systembetrieb für zukünftige Anforderungen unterstützen! [1]

Diese Begriffsbestimmung ist in Abbildung 2 graphisch dargestellt. Die parallele Informationsinfrastruktur ist Teil der elektrischen Energieversorgung.

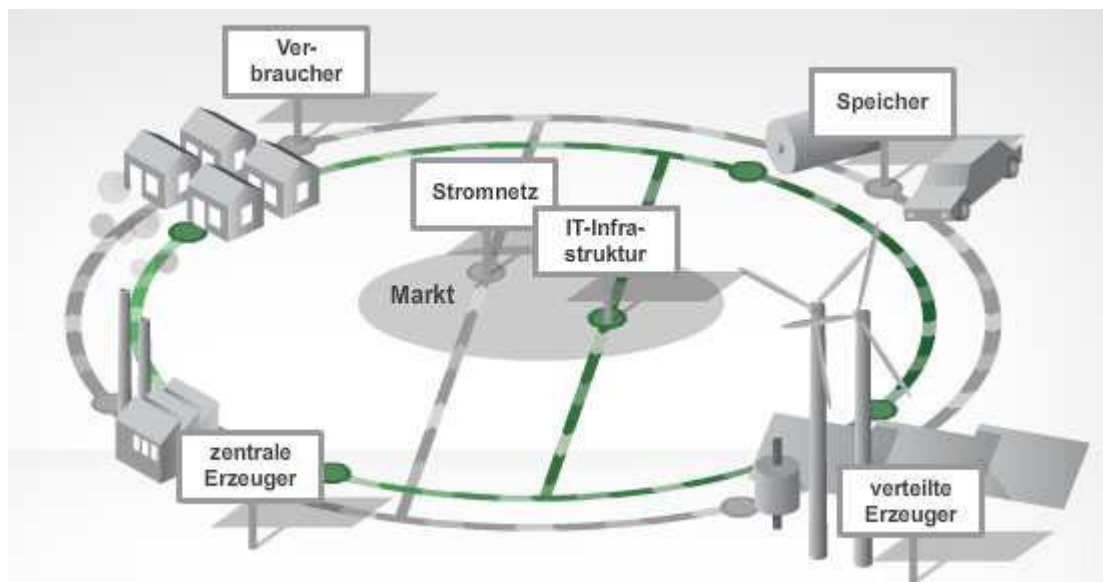


Abbildung 2: Definitionsbild Smart Grids (Quelle: www.smartgrids.at)

Folgende Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte werden im Zuge der Smart Grids in den nächsten Jahren gesetzt:

- Automatisierung

- Smart Metering
- Sensoring (MDM)
- Dezentrale Erzeuger/Verbraucher
- Kundeninformationssysteme
- Neue Technologien

Der Zeitrahmen der Umsetzung dieser Bereiche in den täglichen Netzbetrieb ist in Abbildung 3 mithilfe einer Zeitachse graphisch dargestellt.

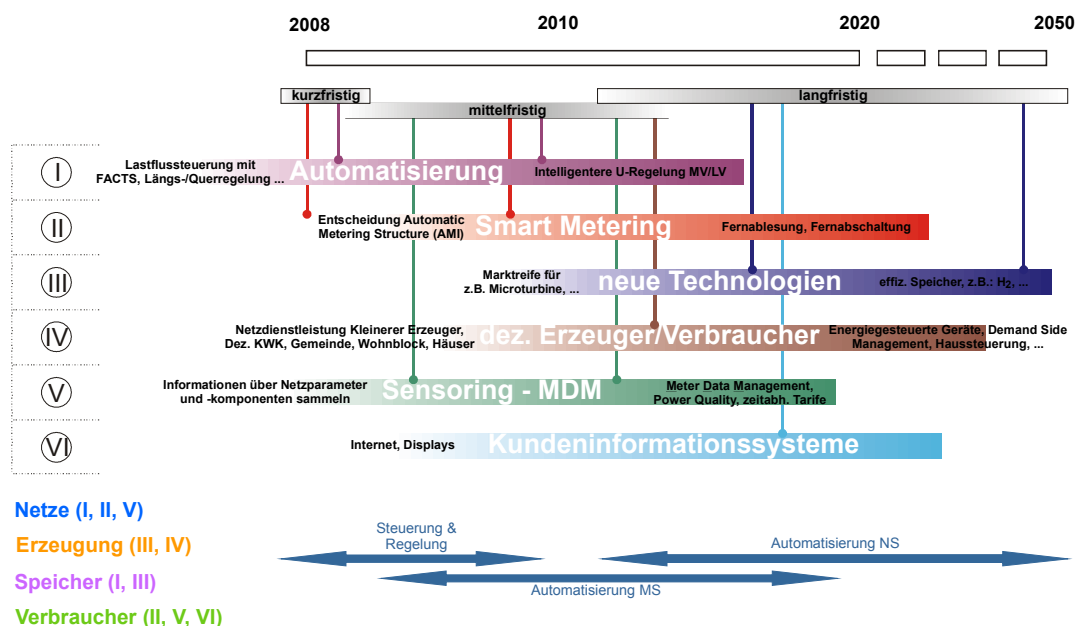


Abbildung 3: Entwurf eines Zeitrahmens für Smart Grid Elemente (www.smartgrids.at)

Die Smart Grids Technologie Plattform Österreich bietet die Möglichkeit, die im Zuge des SimTech Concept Projektes erarbeiteten Ergebnisse und erhobenen Bedarf für Maßnahmen im Netzbetrieb mit den entsprechenden Experten der Technologieplattform zu erörtern, zu ergänzen und abzugleichen.

2.1.2.3 Forschungsthemen

Es gibt Forschungsbedarf in Hinsicht auf Anschluss von DEA und Schnittstellen zum Verteilnetz oder der Einrichtung des Kunden. Um einen möglichst hohen Nutzen von verteilter Stromerzeugung zu erzielen, Sicherheit und Zuverlässigkeit von Kleinerzeugern über lange Zeit zu gewährleisten, ist ein interaktiver Betrieb notwendig. Ein weitreichendes Verständnis der Verhaltensweisen von DEA auf Systemebene (u.a. mithilfe von Demonstrationstest) kann auch die Akzeptanz bei Netzbetreibern und Endkunden positiv beeinflussen. Die Resultate dieser Untersuchungen sollen auch Gesetzgebern und Regulierungsbehörden bei der Entwicklung und Umsetzung von strategischen Entscheidungen dienen, mit dem Ziel, Gesetze, regulatorische Maßnahmen, Normen und die Komponenten und Systemtechnologien zu verbessern.

Konkret konnten im Zuge der Projektstätigkeit folgende relevante Forschungsthemen für den Bereich Smart Grids und dezentrale Stromerzeugung identifiziert werden:

1. Aktiver Netzbetrieb mit DEA

- Spannungsregelung in Verteilnetzen
 - Untersuchungen / Validierung von Konzepten zur lokalen Spannungsregelung durch DEA / Lasten (Blindleistungsbereitstellung, Verbesserung des Leistungsfaktors)
 - Untersuchung und Prüfung dezentraler Spannungsregler
 - Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten von Spannungsstabilisatoren als aktive Filter
- Untersuchungen zum Thema Inselbetrieb / Microgrids mit DEA

2. Allgemeine Anschlussbedingungen / Anschlussbeurteilung von DEA

- Entkopplungsschutzeinrichtungen
 - Funktionsprüfungen, Robustheit und Diskriminierung für Fehlererkennung
 - Auswirkungen verschiedener Einstellungen von Entkopplungsschutz auf Versorgungssicherheit
- Standardisierte Typprüfungen von Schutzrelais, etc.
- Messung und Charakterisierung von elektrischen Parametern
 - Schalttransienten (koordinierte Zuschaltung von Generatoren...)
 - Sanftanlaufverfahren
 - Kurzschlussströme von DEA

3. Power Quality

- Netzzrückwirkungen von DEA (1-Phasig / 3-Phasig):
 - Flicker, Oberwellen,
 - DC-Strom Einspeisung, unsymmetrischer Einspeisung von vielen DEA,
 - Charakterisierung von problematischen Anlaufströmen
- Verhalten von DEA bei Netzstörungen
 - Oberwellen, Spannungseinbrüche, Spannungsschwankungen (Flicker)
- Wechselwirkung unterschiedlichster DEA Technologien im Verteilnetz
 - Speicher-, Erzeugungs- und Wandlertechnologien
- Elektrische Betriebsmittel
 - aktive Filter zur Verbesserung der Spannungsqualität
 - Selektivschutz, Richtungsglieder im NS und MS Netz

4. Netzbetrieb („intelligente Stromnetze“) und Netzplanung

- Simulation von Netzen und dezentralen Anlagen
 - Simulation verschiedener Netzstrukturen und Betriebsweisen
 - Entwicklung und Validierung genauer DEA Simulationsmodelle
 - Systematische Integration hoch aufgelöster Einspeise- und Lastprofile in verschiedenen Simulationsumgebungen
 - Simulation verschiedener Ganglinien / Erzeugungsprofilen an verschiedenen Knoten im Netz
- Netzplanung
 - Entwicklung standardisierter Anschlussbeurteilungs- und Netzplanungstools (z. B. GIS basierte Applikationen)
 - Untersuchungen von Gleichzeitigkeitsfaktoren bei DEA
 - Erhöhung der Netzkurzschlussleistung durch DEA
- Netzbetrieb
 - Koordination von Schutzmassnahmen in Netzen mit DEA
 - Netzverluste, Einfluss von DEA (Typ, Anzahl, Leistung), gibt es einen optimalen Betriebspunkt?
 - Virtuelle Kraftwerke
 - Einfluss auf das Verbraucherverhalten (z. B. aktives Lastmanagement)
 - Optimierung von Fehlersuche, Störeingrenzung, Standortbestimmung
 - Arbeitssicherheit, Freischalten von Netzen

5. DEA – Komponenten

- Performance
 - Detaillierte Bestimmung des Wirkungsgrades unter verschiedenen Betriebszuständen
 - Einfluss der Primärenergieside
 - Verhalten bei unterschiedlichen Netzzuständen
- Normprüfungen
 - Konformität
 - Lebensdaueruntersuchungen (Klimatests, Betriebszyklen...)
 - Sicherheit und Zuverlässigkeit

6. Kommunikation

- Kommunikationsinfrastruktur
 - Kommunikationstechnologien für den aktiven Netzbetrieb mit DEA
 - Potential von Rundsteuerung zum aktivem Netzbetrieb, bzw. Steuerung von DEA (z. B. Funkrundsteuerung, PLC).
 - Demand Response, DMS, aktive Steuerung von Lasten
 - Neue Anforderungen -> neue Normen z. B. IEC 61850

- Messinfrastruktur
 - Messeinrichtungen für den aktiven Netzbetrieb mit DEA (hierarchisch oder lokal)
 - Intelligente Zähleinrichtungen (bei Verbrauch und Erzeugung) – Smart Meters

Die genannten Forschungsthemen werden in konkreten Kundenprojekten, nationalen oder europäischen Forschungsprojekten bearbeitet. Das SimTech Labor soll dafür die geeignete Experimentier- und Entwicklungsplattform bieten (Abbildung 4).

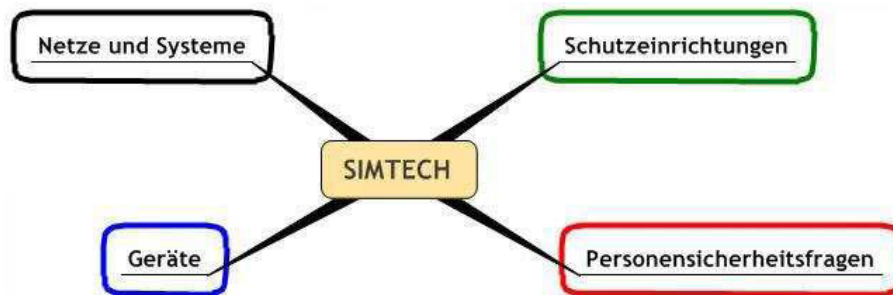


Abbildung 4: SimTech Labor als Experimentier- und Entwicklungsplattform für verschiedene Forschungsthemen des Smart Grids

Die in Abbildung 4 gezeigte Struktur ist in Abbildung 5 in Form einer Mindmap im Detail dargestellt.

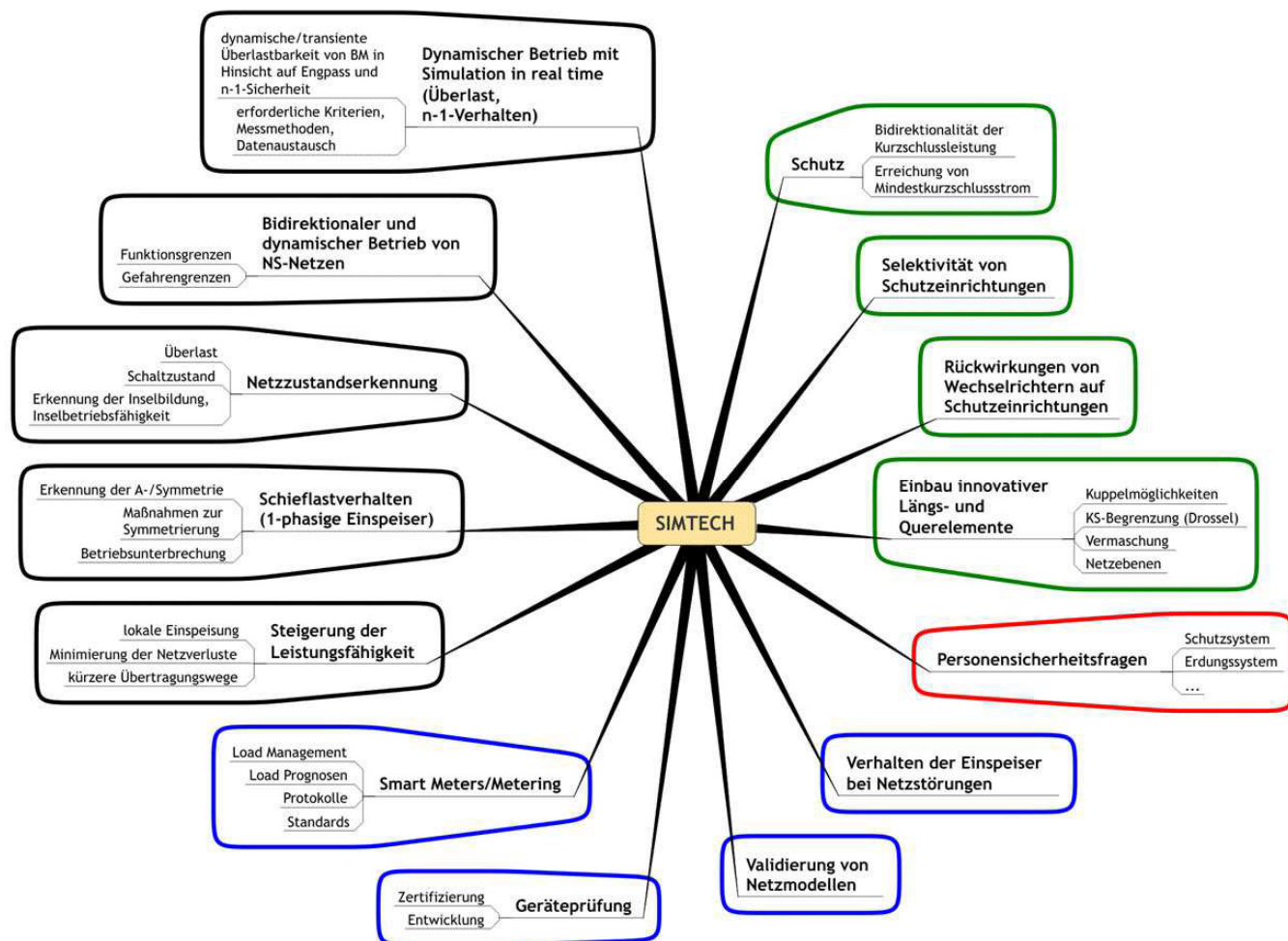


Abbildung 5: Mindmap zu Forschungsthemen im Detail im SimTech Labor

Entsprechend in diesem Abschnitt erarbeiteten Themen werden in den nachfolgenden Arbeitspaketen die notwendigen konzeptionellen und technischen Maßnahmen zur Planung und Auslegung der Labor-Infrastruktur definiert.

2.1.2.4 Normen- und Vorschriften-Struktur

Kurzdarstellung der Normen- und Vorschriften-Struktur in Österreich für die Konzeption von Smart Grids und ihren Komponenten.

Im Zuge der Konzeption des SimTech Labors wird die grundsätzliche Normen- und Vorschriftenstruktur der ÖVE-Bestimmungen für die Elektrotechnik für Planung, Errichtung, Betrieb und Überprüfung von Smart Grids in einer Übersicht zusammenfassend dargestellt und ihr wechselseitiger Zusammenhang erläutert [2],[3].

Im Sinne des *pyramidenförmigen* Aufbaus der österreichischen Rechtsordnung werden zuerst die ÖVE-Bestimmungen für die Errichtung von Niederspannungs- und Hochspannungsanlagen angeführt. Anschließend werden einschlägige ÖVE-Bestimmungen und Vorschriften für elektroenergie-technische

Betriebsmittel und elektrische Maschinen zusammengefasst. Berücksichtigungswerte Normen im Zusammenhang mit der Niederspannungsrichtlinie¹, der EMV-Richtlinie, die Arbeitnehmerschutzrichtlinie und der für die Anlagensicherheit erforderlichen Schutzeinrichtungen bilden den Abschluss dieser Übersicht.

Pyramidenförmiger Aufbau der österreichischen Rechtsordnung

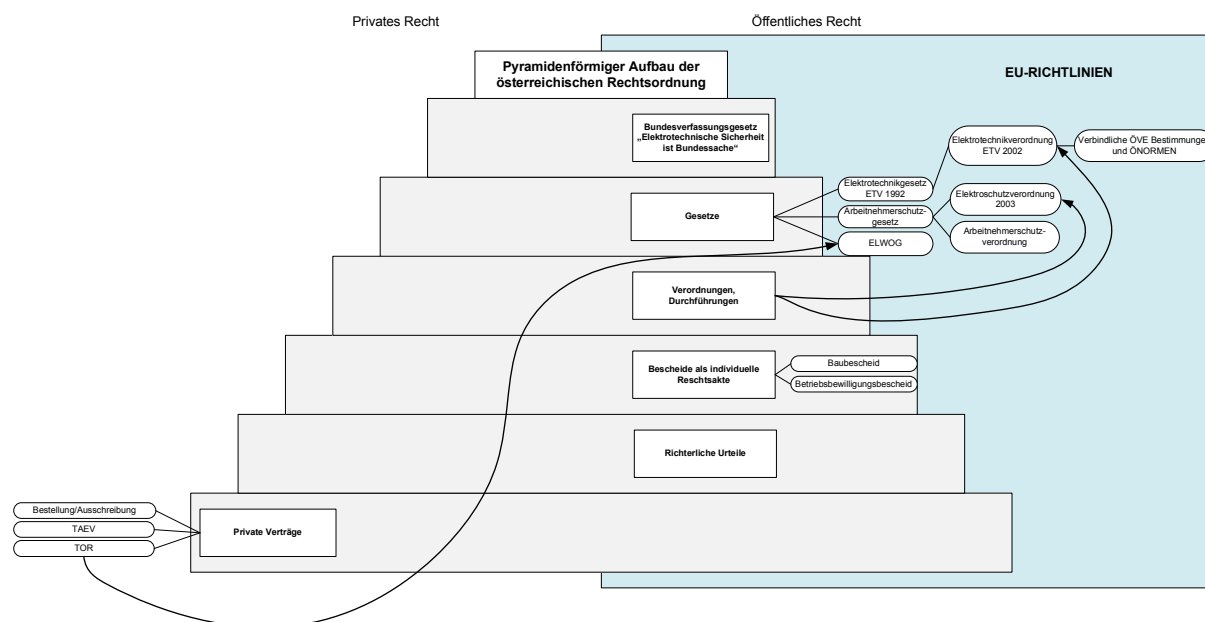


Abbildung 6: Pyramidenförmiger Aufbau der Rechtsordnung in Österreich

Wie in oben angeführter Graphik (Abbildung 6) ersichtlich ist, gliedert sich die österreichische Rechtsordnung hinsichtlich der elektrotechnischen Normung in einen privat-rechtlichen und einen öffentlich-rechtlichen Teil.

Der privatrechtliche Teil umfasst private Verträge wie z.B. Die Technisch Organisatorischen Richtlinien TOR, Kaufverträge, Werkverträge usw. Der öffentlichrechtliche Teil, welcher pyramidenförmig aufgebaut ist, gliedert sich in

- Bundesverfassungsgesetze,
- Gesetze wie z.B. ETG,
- (Durchführungs-)Verordnungen wie z.B. ELWOG und ETV, ESV,
- Bescheide wie z.B. Baubescheide, Betriebsbewilligungsbescheide usw. und
- richterliche Urteile.

Diese Punkte der Rechtsordnung überlappen sich zum Teil (siehe Abbildung 5).

Die ÖVE-Bestimmungen im Überblick

¹ Richtlinien werden in Österreich durch Verordnungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) in nationales Recht umgesetzt.

Die seitens des ÖVE (des OEK des Österreichischen Verbands für Elektrotechnik) veröffentlichten Normen und Bestimmungen stellen den Stand der Technik dar und können in Österreich z.B. durch die Elektrotechnik-Verordnung verbindlich erklärt werden, andernfalls ist ihre Verwendung im Sinne des „new approach“ der EU stets freiwillig.

In Verordnungen wie z.B. der

- ETV – Elektrotechnikverordnung,
- NSpGV – Niederspannungsgeräteverordnung
- MSV – Maschinensicherheitsverordnung
- EMVV – Elektromagnetische Verträglichkeitsverordnung
- ExSV - Explosionsschutzverordnung
- ... usw.

werden die Errichtung, das Instandsetzen, der Bau, der Betrieb, der Explosionsschutz, Kraftwerke, Bahnanlagen, Beeinflussung, Alarmanlagen und elektrische Anlagen näher geregelt. Diese Verordnungen beinhalten weiters z.B. Kenndaten, Vorschriften zur Überprüfung, Kurzzeichen und Bezeichnungen zur Identifikation, Kenndaten von Kabeln und Leitungen uvm.

Im speziellen Fall wie z.B. der Errichtung von Niederspannungsanlagen (ÖVE E 8001 bzw. HD 60364 und EN 1) sind Punkte wie:

- Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag
- Schutz gegen thermische Einflüsse
- Betriebsmittel
- Freischalten
- Beschaffenheit und Verwendung von Kabeln und Leitungen
- Bemessung von Leitungen in mechanischer und elektrischer Hinsicht (Überlast und Kurzschlusschutz)
- Verlegung von Leitungen
- Anlagen besonderer Art (z.B. brandgefährdete Räume)
- Überprüfung von Anlagen
- Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln

angeführt. Siehe auch Abbildung 7.

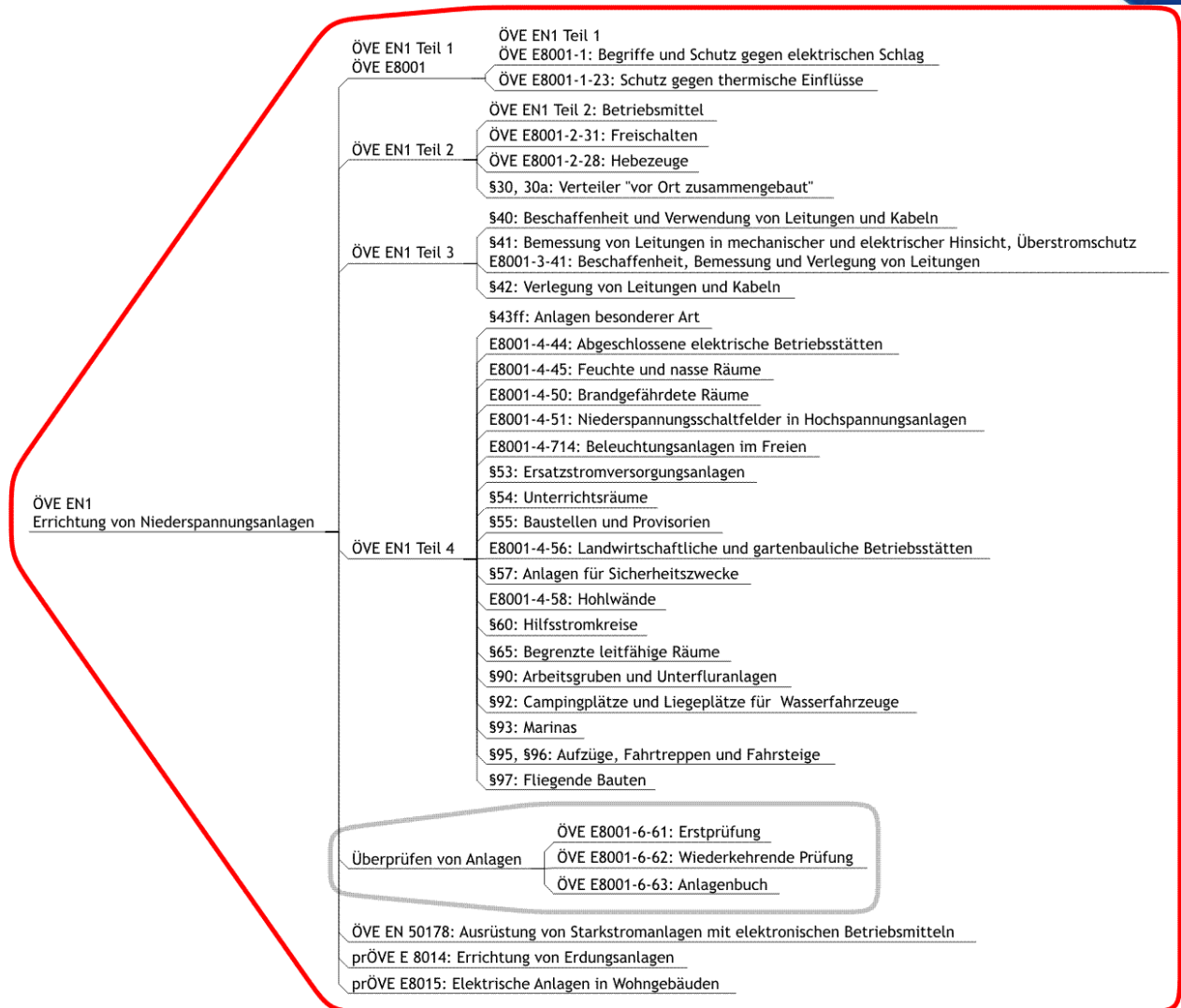


Abbildung 7: ÖVE/ÖNORM E 8001-x-x bzw. ÖVE EN1 „Errichtung von Niederspannungsanlagen“

Im Sinne der Konzeption des SimTech Labors wurden die betreffenden Normen und Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb des Labors recherchiert und im Zuge eines Meetings im Detail [2] präsentiert. In diesem Zusammenhang sind auch Vorschriften für die „Errichtung von Starkstromfreileitungen“ (ÖVE E8111), „Errichtung von Hochspannungsanlagen“ (ÖVE EH1) bzw. „Starkstromanlagen über 1kV“ (ÖVE E8383) angeführt.

Die **Maschinenrichtlinie (MRL)**, die durch die **Maschinensicherheitsverordnung (MSV)** in österreichisches Recht umgesetzt wurde, soll das durch die Verwendung von **gefährlichen Maschinen** (§9, MSV) verursachte Risiko durch Einbeziehung von Sicherheit in die Entwicklung und den Bau sowie durch einwandfreie Installation und Wartung verringern.

- Der Hersteller ist allein dafür verantwortlich, die Übereinstimmung seiner Maschine mit den grundlegenden Anforderungen der Maschinen-Richtlinie zu prüfen und zu bescheinigen.
- Er kann, falls er es für nötig erachtet, die Maschine durch Prüfinstitute untersuchen und die Übereinstimmung bescheinigen lassen (in Abhängigkeit von den Modulen, Prüfung durch z.B. TÜV, AUVA, ZI, ...).
- Der Begriff "**Maschine**" im Sinne der MSV zielt auf den Maschinen- und Anlagenbau (z.B. Pressen, Walzstraßen, Stanzen, Sägemaschinen, etc.).
- Im Sinne der RL gilt als "Maschine" eine Kombination von miteinander **verbundenen Teilen** von denen mindestens **eines beweglich** ist, sowie gegebenenfalls von Betätigungsgeräten, Steuer- und Energiekreisen usw., die für eine bestimmte Anwendung, wie die Verarbeitung, die Behandlung, die Fortbewegung und die Aufbereitung eines Werkstoffes zusammengefügt sind.
- **Geräte, von denen hauptsächlich Gefahren aufgrund von Elektrizität ausgehen** (z.B. Frequenzumrichter) fallen in den Anwendungsbereich der Niederspannungsrichtlinie und werden in der Maschinenrichtlinie nicht weiter behandelt.

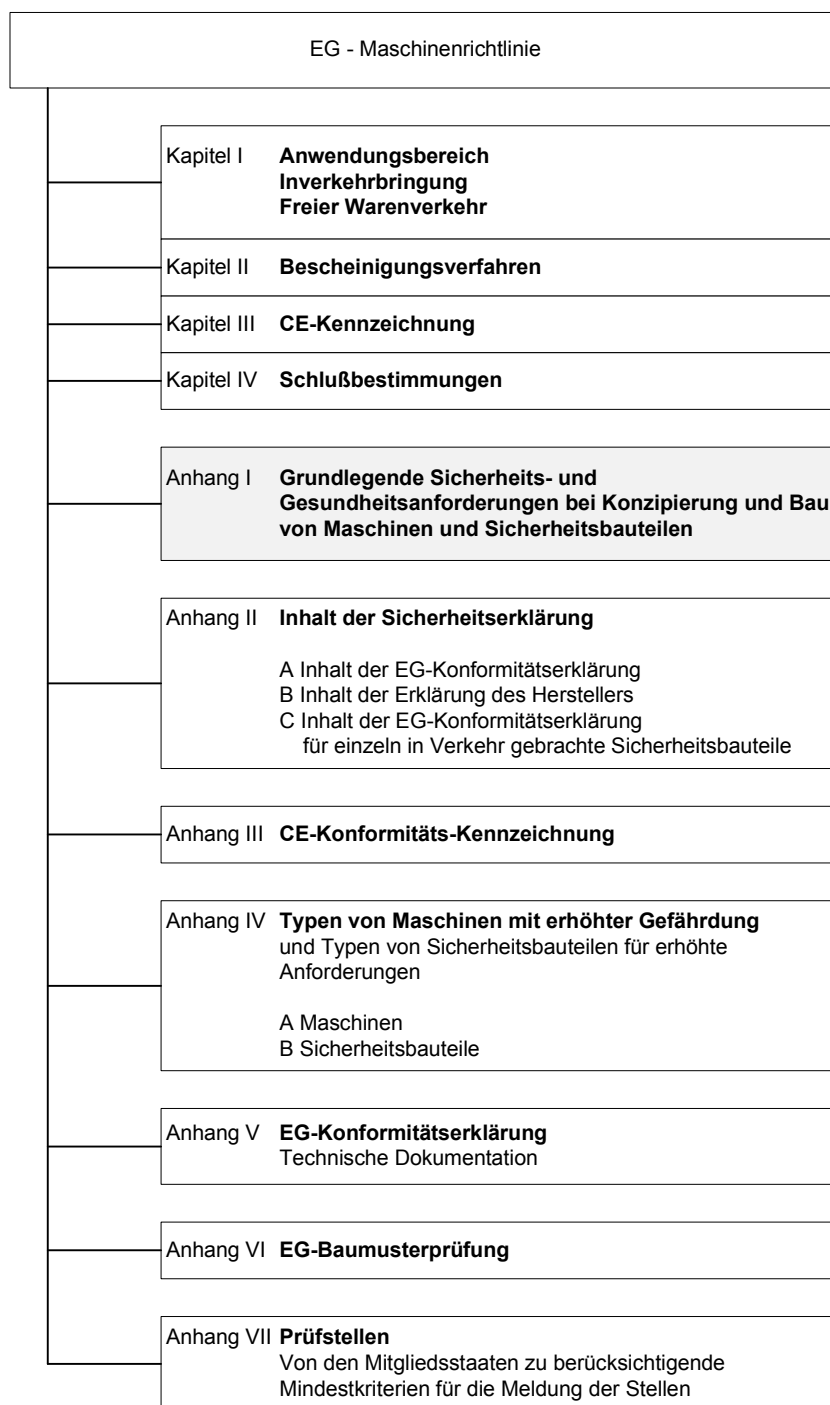


Abbildung 8: Gliederung der Maschinenrichtlinie

Die Schutzziele der **Niederspannungsrichtlinie (NSRL)** bzw. der **Niederspannungsgeräteverordnung (NSV)** sind auf Gefahren durch elektrischen Strom ausgerichtet. Es fallen alle elektrischen Geräte mit einer Nennspannung zwischen 50...1000V für Wechselstrom bzw. 75...1500 V für Gleichstrom in den Anwendungsbereich der Richtlinie.

Ausgenommen sind u.a. "elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in explosibler Atmosphäre" (EX-RL, ExSV).

Am 1. Januar 1997 endete die Übergangsfrist, alle danach in Verkehr gebrachten elektrischen Geräte müssen die Schutzziele der NSRL einhalten und mit dem CE-Zeichen versehen sein.

Der Hersteller stellt dazu eine EG-Konformitätserklärung aus, in der alle angewandten sicherheitsrelevanten Normen angegeben sind. Obwohl diese Erklärung für die Behörde gedacht war, ist der Käufer (Besitzer, Betreiber) verpflichtet, diese im Rahmen seiner Dokumentationsverpflichtung bereitzuhalten (Anlagenbuch). Die Ausstellung einer Herstellererklärung ist in der NSRL nicht vorgesehen, die EG-Konformitätserklärung kann auf freiwilliger Basis oder nach Aufforderung mitgeliefert werden.

Ablaufschema CE-Kennzeichnung Niederspannungsrichtlinie

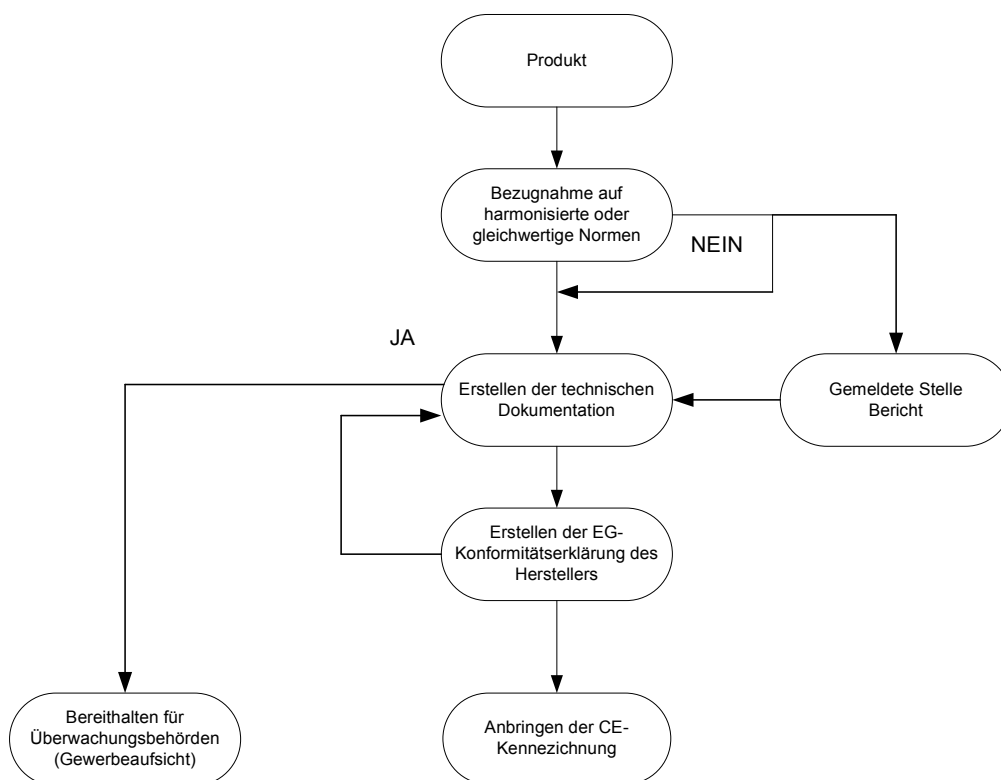


Abbildung 9: Ablaufschema CE-Kennzeichnung

Die Richtlinie des Rates vom 3. Mai 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG), kurz EMV-Richtlinie, ist von großer praktischer Bedeutung, da so gut wie alle elektrisch betriebenen Geräte in ihren Geltungsbereich fallen. Die **EMV-Richtlinie** wurde in Österreich durch die EMV-Verordnung umgesetzt und legt Mindestkriterien bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit EMV d.h. Störfestigkeit und Störaussendung, fest. Geräte, für die die Konformitätsvermutung gilt erhalten das CE-Kennzeichen.

Normen für Schutzgeräte in elektrischen Anlagen

Elektrische Anlagen sind zwingend gegen Gefahren des elektrischen Schlags (ÖVE/ÖNORM E 8001-x-x, ÖVE/ÖNORM E 8383, ...) und gegen schädliche Auswirkungen von Überlast und Kurzschluss zu schützen (ÖVE EN1 Teil 3). Da auch Agenden des Über- und Unterspannungsschutzes (ÖVE/ÖNORM E1100) sowie der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit elektrischer Anlagen zu berücksichtigen sind, müssen geeignete Schutzgeräte vorgesehen werden. Im Folgenden werden auszugsweise einige Normen für Schutzgeräte und deren Einsatz aufgelistet:

- IEC 60255-x: Elektrische Relais und Schutzeinrichtungen, Anforderungen
- IEC 60255-22-6: Störfestigkeit gegen leitungsgebundene Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder
- IEC 60255-22-5: Störfestigkeit gegen Strom-/Spannungsstößen
- IEC 60255-22-7: Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen
- EN 60255-25: Störaussendung
- usw.

Es bestehen auch Normen, die Punkte wie die Stückprüfung bzw. Typenprüfung, Isolation, mechanische Festigkeit und IP-Schutzklassen für Schutzeinrichtungen genauer regeln. Ein weiterer Punkt, der in der Normung geregelt ist, ist die Kommunikation von Schutzgeräten untereinander. Hierfür gibt es verschiedene Protokolle wie z.B. IEC870-5-103.

2.1.3 Befragung von Österreichischen Verteilnetzbetreibern

Die für eine erfolgreiche Umsetzung des SimTech Labors notwendige Konzepterstellung baut auf aktuellen und zukünftigen Aufgabenstellungen komplexer Energieversorgungsstrukturen und -systeme der Zukunft auf. Dafür werden die relevanten Forschungsfragen im Zuge der Themendefinition erarbeitet. Eine intensive Diskussion mit den österreichischen Verteilnetzbetreibern und Industrie wird in Form eines Fragebogens initiiert und im Zuge einer Sitzung des VEÖ Arbeitskreis Verteilnetze eingehend diskutiert. Dabei wird insbesondere darauf fokussiert, wie das SimTech Labor die heutigen und zukünftigen Fragestellungen beim Netzbetrieb beantworten kann und welchen Anforderungen ein Labor genügen soll, damit Untersuchungen in diesem Zusammenhang durchgeführt werden können. Diese wertvollen Anregungen für die abschließende Anforderungsanalyse werden bei der Konzeption des Labors mitberücksichtigt.

Der Fragebogen steht auch online unter <http://energyit.ict.tuwien.ac.at/SimTech> zur Verfügung und kann dort online bearbeitet werden.

2.1.3.1 Bedarfserhebung

Es ist wichtig, bereits bei der Konzepterstellung den Bedarf von Seiten der Netzbetreiber, Komponentenhersteller, Energiewirtschaft und allen weiteren relevanten Akteuren der österreichischen Energie- und Elektrizitätsszene zu erheben.

Ein erster Schritt dafür ist eine Bedarfsanalyse, deren Ziel es ist, die persönliche/fachliche Sichtweise der Experten aus der Industrie und der Netzbetreiber zu den Themen der dezentralen Energieerzeugung, dem Einsatz neuartiger Betriebsmittel und Komponenten im Netzbetrieb und den damit verbundenen Problemen anzugeben. Weitere wichtige Aspekte sind die Netzsimulation und die Verknüpfung der Netzsimulation mit physikalischen Netzen, Komponenten und Betriebsmittel. Welche Probleme im heutigen wie auch im zukünftigen Netzbetrieb könnten/sollten mithilfe von einer experimentellen Versuchsumgebung gelöst werden (z. B. konkrete Anwendungen von Netzschutztechnologien, Halbleiter-Kuppelschalter, Spannungsregelung etc.)?

Wichtig dabei ist, konkrete Anwendungen und Versuchsszenarien herauszufiltern, um das Design und die Hardware des Labors möglichst optimal an die Anforderung der Industrie - aber auch der Forschung - anpassen zu können.

2.1.3.2 Fragebogen

Die Vorgehensweise bei der Bedarfserhebung bestand zunächst darin, verschiedene Experten der Energiewirtschaft in Österreich (Abschnitt 6.3) den Fragebogen zuzusenden und anschließend in einem persönlichen Gespräch deren Kommentare dazu zu erörtern. In jenen Fällen, in denen das persönliche Gespräch nicht möglich war, wurde der Bedarfserhebungsbogen schriftlich beantwortet und anschließend telefonisch besprochen. Die thematische Struktur wurde mittels Fragebogen vorgegeben. Abschließend wurden die Rückmeldungen zu den aktuellen Forschungsfragen im Bereich Verteilnetzbetrieb hinsichtlich technischer und thematischer Umsetzbarkeit in einer experimentellen Versuchsumgebung analysiert.

- Wie kann das geplante SimTech Labor die heutigen und zukünftigen Fragestellungen beim Netzbetrieb beantworten?
- Welche Probleme sind nicht gelöst, welche werden erwartet (in Bezug auf die unten genannten Stichpunkte)?
- Welchen Anforderungen soll ein Labor genügen, damit Untersuchungen in diesem Zusammenhang durchgeführt werden können?
- Welcher Funktionsumfang muss unbedingt gewährleistet sein (z. B. in Hinblick auf elektrische Leistung oder Flexibilität), um die angegebenen Problemstellungen lösen zu können?
- Wie ist die persönliche/fachliche Sichtweise der Experten zu den einzelnen Themen?

Im Fragebogen sind einige mögliche Themen bereits vorgeschlagen, welche in Hinblick auf nachstehende Fragestellungen relevant sind. Zusätzliche Anmerkungen zu den entsprechenden Themen können ergänzt und weiter erläutert werden, unter anderem auch technische Anforderungen um diese umzusetzen.

Die Themen sind wie folgt gegliedert:

- Aktiver Netzbetrieb mit DEA
- Allgemeine Anschlussbedingungen / Anschlussbeurteilung von DEA
- Power Quality
- Netzbetrieb („intelligente Stromnetze“) und Netzplanung

- DEA - Komponenten
- Kommunikation

2.1.3.3 Expertenbeirat

Zur Unterstützung der Bedarfserhebung wurden Personen aus unterschiedlichen Sparten der Industrie und verschiedener österreichischer Netzbetreiber ausgewählt, um gemeinsam einen Expertenbeirat zu bilden. Die Auswahl der Beiratsmitglieder folgte einer Ausgewogenheit zwischen österreichischen Verteilnetzbetreibern und Herstellern von elektrischen Betriebsmitteln, Komponenten und Netzschutzsystemen. Folgende Personen wurden für die Funktion des Beiratsmitgliedes kontaktiert und gebeten, zur Bedarfserhebung (Fragebogen) beizutragen. Die genannten Personen zeichnen sich durch ihre Position als Strategiebeauftragte (Forschung) oder leitende Positionen im jeweiligen Unternehmen und folglich deren Überblick und Weitsicht in den Themenbereichen aus.

Tabelle 5: Übersicht des Expertenbeirates

Unternehmen	Bereich	Kontakt / Ansprechpartner
Fronius	Wechselrichterhersteller	Thomas Mühlberger
ARP - Verbund	Anlagenbetreiber, F&E	Gerd Schauer
VEÖ	Interessensvertretung	Bernd Klöckl
Siemens (AUT)	F&E Koordination	Andreas Lugmaier
Siemens (AUT)	Virtuelle Kraftwerke	Anton Heher
Siemens (AUT)	DEMS Leitsystem	Erich Fuchs
Energie Steiermark	Netzbetreiber	Christian Fink, Roland Bergmayer
SalzburgAG	Netzbetreiber	VEÖ - Thomas Rieder
Energie AG	Netzbetreiber, intelligente Energiezähler	Andreas Abart
Energie AG	Netzbetreiber	Heinrich Wilk
WienEnergie	Netzbetreiber	Werner Spitzl
TIWAG	Netzbetreiber	VEÖ - Herbert Strobl
BEWAG	Netzbetreiber	VEÖ - Franz Werner
VKW	Netzbetreiber	VEÖ - Nenning Reinhard
ESF Vienna Elektroschutz	Niederspannung, Personenschutz, Normen	Reinhard Hirtler
EVN Netz GmbH	Netzbetreiber	Herbert Haidvogel / Josef Zierlinger *)
Kommunalbetriebe Innsbruck	Netzbetreiber, Netzleittechnik, Erfahrung mit Inselbetrieb	Roland Tiwald / Sillaber *)
WienEnergie	Netzbetreiber	VEÖ - Thomas Schuster *)
Wels Strom	Netzbetreiber, Mikrogasturbine, Stirling BHKW	Hubert Traunwieser / Leopold Berger *)

*) angefragt

Die Mitglieder dieses Beirates werden zu einem zukünftigen Projekt-Workshop eingeladen, um gemeinsam die im Fragebogen genannten Themenstellungen zu diskutieren. Der Beirat wird durch den Arbeitskreis Verteilnetze im Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ) unterstützt. Die Bedarfserhebung wurde im Zuge einer Ausschusssitzung gemeinsam mit dem Projektteam diskutiert.

2.1.3.4 Projektworkshop

Im Zuge der Smart Grids Week Salzburg 2009 fand im Vorfeld ein Projektworkshop mit dem Titel "Forschungsinfrastruktur für Smart Grids" statt. 18 Vertreter aus Industrie, Netzbetrieb, Forschung und Bildung nahmen daran teil.

Ziel der Workshops war es, die Entwicklungen und Strukturänderungen in den elektrischen Netzen insbesondere verursacht durch vermehrte dezentrale Erzeugungsanlagen (inklusive Schutz und IT) zu erarbeiten, um

- den begleitenden Forschungsbedarf sowie
- die erforderliche Forschungsinfrastruktur
- in Koordination mit den Experten für elektrische Netze

sinnvoll abstimmen zu können. Dabei werden Aspekte der Trends dieser Entwicklungen und Strukturänderungen im Mittel- und Niederspannungsnetz, ihre Gewichtungen und ihre Horizonte eingehend berücksichtigt. Szenario: nicht das Netz von heute, sondern von morgen mit „more than“

Die Diskussion im Workshop hat folgende Ergebnisse hervorgebracht:

Einigkeit über die Notwendigkeit einer F&E Infrastruktur. Der Bedarf deckt insbesondere die Forschungsintentionen der Bedarfsträger (EVU und Hersteller) in den Bereichen die nicht selbst realisiert werden können:

- Systematische Untersuchungen
- Experimentelle und Simulationsmodellen
- Vernetzung unterschiedlicher Technologien von Netzsystem, Erzeugung, Verbrauchern und Speichern in Kombination mit allen Informationstechnologien

Wichtig: nationale Eigenständigkeit auf dem Gebiet der Forschung in SG (nicht zuletzt in Hinblick auf Ausarbeitung der Wirtschaftlichkeit, Fragen der Normung und eigenständigen Lösungsansätzen. Außerdem wurde der „Strategische Nutzen von einer nationalen Forschungsstelle“ hervorgehoben.

Strukturänderungen und sich daraus ergebender Handlungsbedarf aus heutiger Sicht ergeben sich im

- Mittelspannungsnetz (MS)
- Niederspannungsnetz (NS)
- Verbraucherseitig
- ET /IT (Elektrotechnik/Informations- und Kommunikationstechnik)
- Schutz: Personenschutz, Anlagenschutz

Notwendigkeit vermehrter IKT sowohl für wirtschaftliche und vertragliche Abwicklung des Netzbetriebes, Optimierung und Schutz.

Aus der Erfahrung im Netzbetrieb wurde erwähnt, dass Netze auf den „Worst case“ ausgelegt werden (max. Last) (PQ, Spannungshaltung, Strombelastbarkeit etc). Es gibt keine Rückmeldung aus dem Niederspannungsnetz durch Messinstrumente oder ähnliches. Der Beitrag von DEA im NS- und MS-Netz zum Kurzschlussstrom wurde auch als wichtig erachtet.

Angesprochene Punkte unter dem Aspekt hoher Dichte von DEA im Niederspannungsnetz:

- Schiefast (Einphasige Einspeiser)
- Nullung
- Dynamische Vorgänge
- Einspeiseprofil, Ausgleichsenergie (Tarife)
- Entkupplungsschutz : „Fault ride through“
- Inselbildung: Aufrechterhaltung / Netzauftrennung, Resynchronisierung von Micronetzen
- Schutz im Fehlerfall: Ortung, Selektivität, Zuverlässigkeit (Anlagen, Personen) bei Bidirektionalem Lastfluss
- Spannungsregelung durch DEA (dezentral)
- Wechselwirkungen unterschiedlicher DEA Technologien
- Netzplanung: Umsetzung von Experimenten in Modelle

SimTech Labor

- Systemanalysen
 - Komponente (auch im Netz) inkl. Steuerung und Regelung

- Controller und Power - "Hardware in the Loop"
- Komponententest (Experiment, Messungen)
 - Prüflabor (akkreditierte Prüfungen)
 - Netzsimulator 30kW und 500kW
 - DEA, Speicher, Lasten
- Simulationen (Netzberechnungen, Modelle neuer Komponenten)
 - Datenbank, Konvertierung, Datenaufbereitung
- Ausbildung

Zusätzliche Anmerkungen:

- Erstellung der Datenbank für Simulationen: nur Topologiedaten, Daten meist nur im Zuge gemeinsamer Projekte verfügbar
- 30kW Prüffeld als Teil des Labors kann autonom betrieben werden.
- Kommunikation, SCADA System, Simulation von Kommunikationsnetzen
- Einfluss unter Klimasimulation
- Zusammenspiel von NS und MS Ebene mit Mittelspannungsrichtlinie (Interaktion der Schnittstelle)

Bedeutung, Abstimmung, Experiment und Simulation. MS Ebene wird massiv in die Simulation mit einbezogen. Intensivierung und Verbreiterung der Plattform des Expertenpools des VEÖ auf ein Sim-Tech Expertenkomitee aus den Teilnehmern des Workshops. Ziel des Expertenkomitees ist nicht nur periodischer Informationsaustausch sondern auch die Diskussion konkreter Fragestellungen.

2.1.3.5 Ergebnisse der Bedarfserhebung

Die Bedarfserhebung lieferte zahlreiche wertvolle Informationen zu den Sichtweisen der Netzbetreiber, Hersteller von Komponenten und anderen Experten zum Thema dezentrale Energietechnologien, elektrische Betriebsmittel im Verteilnetz, aktuellen Problemstellungen im täglichen Netzbetrieb und intelligente Netze der Zukunft. Laut den befragten Experten sind die potentiellen Forschungsthemen im Verteilnetz sehr vielschichtig, wobei sich im Allgemeinen in den Antworten die im Fragebogen vorgeschlagenen Hauptthemen widerspiegeln. Weitere wichtige Aspekte sind die Netzsimulation und die Verknüpfung der Netzsimulation mit physikalischen Netzen, Komponenten und Betriebsmittel. Welche Probleme im heutigen wie auch im zukünftigen Netzbetrieb könnten/sollten mithilfe von einer experimentellen Versuchsumgebung gelöst werden (z. B. konkrete Anwendungen von Netzschutztechnologien, Halbleiter-Kuppelschalter, Spannungsregelung etc.)? Die schriftlichen und mündlichen Rückmeldungen wurden ausgewertet und als weitere Grundlage für die Konzeptentwicklung herangezogen.

- Aktiver Netzbetrieb mit DEA

Entkopplungsschutz und Allgemeine Anschlussbedingungen / Anschlussbeurteilung von DEA:

Von Netzbetreibern sind vor allem die Aspekte des Netzbetriebes unter Einfluss von steigender Anzahl dezentraler Erzeugungsanlagen und sich ändernden Rahmenbedingungen relevant. Offensichtlich bestehen bereits Probleme mit bidirektionalem Lastfluss und die mangelnde Fähigkeit von bestehenden Schutzgeräten in derartigen Netzzuständen optimal zu funktionieren. Forschungsbedarf herrscht hier vor allem in Hinblick auf Schutzgeräte, nicht etwa neue Schutzgeräte zu entwickeln, aber die Parameter zur Erkennung kritischer Netzzustände zu erforschen und die Geräte entsprechend zu konfigurieren. Daher soll die experimentelle Versuchsumgebung die Möglichkeit bieten, entsprechende kritische Zustände sowohl in Simulation als auch an physikalischer Hardware nachzubilden, um die gewünschte Funktionsweise der Schutzgeräte mathematisch und experimentell zu erfassen.

Blindleistungsbereitstellung von dezentralen Erzeugungs- und Speichereinheiten: Im Zuge der Smart Grids und dem Beitrag dezentraler Energieträger in der Netzregelung müssen diese Anlagen (auch gemäß aktueller Richtlinien der Netzbetreiber) auf Abruf Blindleistung bereitstellen können. Die Umsetzung dieser Anforderung ist einerseits eine Herausforderung für die Komponentenhersteller (Dimensionierung der Anlagen) andererseits ist für die Netzbetreiber noch unklar, wie genau auf eine Vielzahl von Anlagen zugegriffen werden soll, um diese in die Systemregelung mit einzubeziehen. Im Labor sollen Regelszenarien, Ansteuerungsmöglichkeiten, Performance von Komponenten bei Blindleistungsbereitstellung und die Integration in das Verteilnetz untersucht werden. Die Resultate aus dem Experiment an realen Anlagen sollen in Modelle überführt werden, um Simulationen mit skalierten Problemstellungen durchführen zu können.

Spannungsregelung in Verteilnetzen: Ein wichtiges Thema in den Verteilnetzen ist die Spannungsregelung. Laufende Forschungsprojekte befassen sich bereits mit dieser Problemstellung, aber die Umsetzung von in Simulation implementierten Regelalgorithmen in den täglichen Netzbetrieb birgt das Risiko eines Netzausfalles, welches durch die vorherige umfassende Erprobung im Labornetz minimiert werden kann. Im SimTech Labor soll eine Hardware-in-the-loop Entwicklungsumgebung mit unterschiedlichen hinterlegten Testszenarien in der Software realisiert werden, welche die Möglichkeit eines „rapid prototyping“ für Spannungsregler im Verteilnetz gibt.

Virtuelle Kraftwerke: Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht in der Kommunikation zu den DG Einheiten und in Virtuellen Kraftwerken bei denen die einzelnen dezentralen Einspeiser nicht über eine ständige informationstechnische Kopplung verfügen. Unterschiedliche Topologien und Erzeugungsprofile können in der Simulation konzipiert werden, die tatsächliche Funktionsweise mit entsprechenden Kommunikationstechnologien wird an realen Geräten im Netzverbund des Labors verifiziert.

Zusammenwirken hoher Dichte von dezentralen Energietechnologien: Die Zunahme von dezentralen Erzeugungsanlagen stellt die Netzbetreiber mehr und mehr vor die Herausforderung diese Anlagen auch in den täglichen Netzbetrieb integrieren zu können. Es ist noch nicht eingehend untersucht, welche Interaktionen zwischen den Anlagen passieren, ob diese sich gegenseitig in ihrer Funktionsweise beeinträchtigen. Die aus dem Experiment generierten Modelle von Erzeugungsanlagen, Speicher und nichtlinearen Lasten können in der Simulationsumgebung beliebig vervielfacht werden, um zukünftige Erzeugungsstrukturen im großen Maßstab modellieren und Aussagen zu notwendigen Maßnahmen im Netz treffen zu können.

- Power Quality

Einfluss transienter Ereignisse/Störungen im Netz auf DER und aktive Filter zur Verbesserung der Versorgungsqualität

- Netzplanung und Simulation

Es wurden Wirtschaftliche Analysen auf Basis elektrischer Untersuchungen (Entgelte, Auswirkungen auf Netzinvestitions- und Betriebsführungskosten etc.) genannt. Zusätzlich wurde erwähnt, dass Modelle von Komponenten simulierbar sein müssen, weshalb auch die Verifizierung mit Messungen ein entscheidender Faktor ist.

- DEA – Komponenten

Der Forschungsbedarf von Seiten der Hersteller liegt hauptsächlich bei der Typprüfung von Komponenten gemäß aktuellen Anschlussrichtlinien. Ein weiterer Punkt ist die Harmonisierung der Schnittstellen und Netzanschlussrichtlinien. Die Standardisierung für Kommunikationsleitungen ist besonders im Bereich Smart Meters von Interesse, wobei grundsätzlich jede Komponente der dezentralen Energietechnologien im Plug&Play Verfahren in Betrieb gesetzt werden können soll. Die Versuchsumge-

bung im SimTech Labor wird hierbei als leistungsfähiger Prüfstand für Einzelkomponenten gesehen und die Infrastruktur muss die entsprechenden Prüfanforderungen für die Produkte der Zielgruppe erfüllen (DC Versorgung für Wechselrichter, Langzeittests etc)

- Kommunikation

Standardisierung in Kommunikation (DEA Plug & Play , Harmonisierung der Schnittstellen) und Interkommunikation von Schutzgeräten: Im Hinblick auf das Verschmelzen von Energienetz und Kommunikationsnetz sind die Interoperabilität sowie die Standardisierung von Kommunikationsschnittstellen für alle Betriebsmittel im Verteilnetz von großer Bedeutung. Hier liegt das Interesse hauptsächlich beim Überprüfen der Kompatibilität und Zuverlässigkeit der Geräte und die korrekte Funktionsweise bei kritischen Bedingungen.

Zusammenfassung

Es gibt eine kritische Betrachtung des HIL Konzeptes, denn es ist nicht immer klar, wo endet die „loop“, und wo beginnt die Hardware? Eine klare Definition der Schnittstellen und Regelschleifen ist notwendig, um aussagekräftige Ergebnisse bei der Kopplung von Simulation und physikalischen Bauteilen und Netzen zu erhalten. Ferner ist noch nicht eindeutig geklärt, ob ein synthetisches Netz auch praxisrelevante Auskünfte geben kann (Simulationsumgebung, Versuche beruhen auf mathematischen Modellen mit entsprechenden Fehlern). Hierbei muss zwischen Aussagen qualitativer und quantitativer Natur unterschieden werden, um mit entsprechenden Ausgangsdaten und gemeinsam mit der Laborinfrastruktur zufrieden stellende Ergebnisse erzielen zu können. Die Planung der Infrastruktur muss so gestaltet sein, dass es im Labor (Hardware und Software) möglich ist, reale Netzstrukturen und Netzknotenpunkte mit einer spezifizierten Genauigkeit abzubilden.

Die bereits genannten Daten als Basis für experimentelle Untersuchungen sind oft nicht umfassend verfügbar, denn Netzbetreiber haben nur die Einspeise- und Netzdaten in ihrem Versorgungsgebiet. Ein kritischer Punkt hierbei ist nicht nur die Verfügbarkeit der Daten sondern auch die Freigabe dieser durch den Netzbetreiber.

Einspeise-, Verbrauchs- und Netzdaten von mehreren Netzbetreibern haben oft nicht das gleiche Datenformat weshalb es zwingend notwendig sein wird, die Konsistenz der Daten in den Versuchen zu berücksichtigen. Eine Umsetzung im Labor ist nur dann möglich, wenn es eine zentrale Datenbank mit entsprechend konvertierten Netzdaten in einem generischen Datenformat gibt. Ein Arbeitspaket zur Konzeption einer entsprechenden Simulations- und Entwicklungsumgebung wurde im Zuge dieses Projektes bereits definiert.

Bei der Planung und Realisierung der elektrischen Infrastruktur soll auf ein zukunftsweisendes Konzept und Design geachtet werden, um dem technologischen Wandel in der MS und LS Technik auch in 10 Jahren noch gerecht zu werden. Dies inkludiert Spannungsgrenzen, Frequenzbereiche, Gleichspannungsnetze, Integration von Schutzgeräten und entsprechende Planung der Schalt- und Meßstellen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine Vielzahl aktueller und zukünftiger Problemstellungen im Verteilnetz im Zuge der Bedarfserhebung genannt worden sind. Die Herausforderung besteht nun darin, wie die Lösungen dafür in einem Versuchsfeld auf Niederspannungsebene optimal erarbeitet werden können. Das Zusammenspiel von Software und Hardware ist hier der zentrale Punkt, um erweiterte Aussagen über Systembetrieb und Integration von dezentralen Energietechnologien auf Basis erneuerbarer Energieträger auch im Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz treffen zu können. Die Flexibilität des Labors soll umfangreich genug sein, um rasch beliebige Aufgabenstellungen hinsichtlich Aspekten des Niederspannungsverteilsnetzes bearbeiten zu können, andererseits soll die

hohe Qualität von zentralen Forschungsthemen und Services im AIT, Austrian Institute of Technology (bzw. ÖFPZ Arsenal G.m.b.H.), weiterhin gewährleistet sein.

2.2 Laborkonzept

In diesem Abschnitt wurden die Konzepte für eine technische Realisierung des SimTech Labors ausgearbeitet. Diese bauen einerseits auf den gewünschten Testszenarien im Vollbetrieb auf, wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben sind, andererseits sind diese eng mit den Ausbaustufen von Abschnitt 2.4 abgestimmt.

Das Grundkonzept des SimTech Labors ist in Abbildung 10 graphisch dargestellt. Die einzelnen Elemente sind über Schnittstellen der Elektrotechnik ET und/oder Informations- und Kommunikationstechnik IT miteinander verbunden. ET-Links sind stromführende Verbindungen, IT-Links bezeichnen die Kommunikations- und Messschnittstellen.

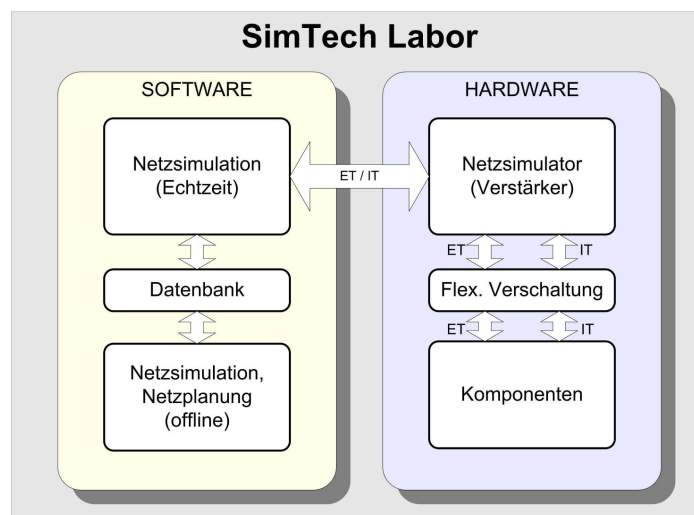


Abbildung 10: Grundkonzept des SimTech Labors

Das Grundkonzept des SimTech Labors baut auf drei thematischen Säulen:

- Netzsimulationen
- Systemanalysen
- Komponententests

Netzsimulationen (offline)

Netzsimulationen können auf einem leistungsfähigen Rechner oder Rechnersystem mit entsprechender Simulationssoftware durchgeführt werden. Die handelsüblichen Softwarepakete (Neplan, Digsilent, Matlab/SIMULINK) ermöglichen Lastflussberechnungen, dynamische Netzanalysen etc. auf Basis von Netzdaten und Modellen, welche in einer Datenbank gespeichert sind. Diese Daten werden größtenteils von österreichischen Netzbetreibern zur Verfügung gestellt. Je nach vorhandenen Datensatz werden unterschiedliche Simulationsprodukte verwendet. Ziel ist es einen generischen Datensatz für alle Netzdaten zu entwickeln, um auf bestehende Modelle und Netzdaten aus unterschiedlichen (für den jeweiligen Zweck besonders geeigneten) Softwaretools zugreifen zu können. Die genannten Simulationen werden ausschließlich auf dezidiertem Computer Hardware, ohne physikalische Kopplung an externe Geräte durchgeführt.

Systemanalysen (Hardware-in-the-loop)

Durch die signaltechnische Kopplung einer Simulationsumgebung mit einer steuerbaren AC Quelle ist es möglich, virtuelle (in der Simulation) Netzknoten über Kleinsignal-Steuerleitungen und anschließend den Spannungsverstärker in reale Leistungswerte zu übertragen. Der Ausgang des Spannungsverstärkers ist direkt an den konfigurierbaren Schaltverteiler gekoppelt, an welchem die DER Komponenten angeschlossen sind.

Dies ist durch eine einfache Signalkopplung von bereits bestehenden und unabhängig zu betreibenden Geräten realisierbar. Die Systemanalysen bauen auf verfügbare Simulationsmodelle und angeschlossene DER Komponenten auf. Die Modelldatenbank muss für die Verwendung von Echtzeitsimulationen angepasst werden.

Die Simulation von elektrischen Komponenten und Netzen lässt sich für das SimTech Labor in zwei große Themenbereiche gliedern:

- Zum einen gibt es den Bereich der sogenannten „Offline-Simulationen“, bei welchen elektrische Komponenten und Netze als mathematische Modelle nachgebildet werden und aufgrund dieser mathematischen Modelle auf leistungsfähiger Hardware nicht echtzeitfähige Simulationen durchgeführt. Diese Simulationen können die Untersuchung eines Lastflusses umfassen, als auch zur Untersuchung transients Vorgänge herangezogen werden.
- Zum anderen soll es möglich sein, nur ein Teil der elektrischen Komponenten und Netze als mathematische Modelle nachzubilden, deren Verhalten dann zu simulieren und mittels einer geeigneten Schnittstelle (power interface) mit realen Komponenten und realen Netzen (bzw. realen Netznachbildungen, soll heißen real existierenden Bauteilen) zu koppeln (HIL Hardware-in-the-loop). Dazu muss die Simulation echtzeitfähig sein, wir verwenden hier den Begriff der „Online-Simulationen“.

Im folgenden Abschnitt 2.2.1 soll auf Aspekte der „Offline Simulationen“ eingegangen werden.

Dabei werden der Portabilität von Formaten und einem generischen Datenformat besonders Raum gegeben. Erwähnung findet auch die Co-Simulation als spezielle domänenübergreifende Simulation Erwähnung.

Mit einer entsprechenden Simulationsumgebung können die Auswirkungen aufgrund des Anschlusses dezentraler Stromerzeuger oder Lasten in verschiedenen Netzabschnitten bestimmt werden, womit es zu einer Optimierung des Einsatzes und zur raschen Abschätzung eventueller erforderlicher Maßnahmen im Netz kommen kann. In diesem Sinne wurden geeignete Softwaretools ausgewählt und evaluiert, Schnittstellen wurden bestimmt und Datenformate definiert.

Komponententests

Unabhängig von oben genannten Netzsimulationen sollen Prüfungen an Komponenten dezentraler Energieressourcen (DER) durchführbar sein. Der Betrieb dieser beiden logischen Laborbereiche kann gleichzeitig stattfinden, ohne sich gegenseitig zu blockieren. Teil der bestehenden Laborinfrastruktur für Komponententests sind gesteuerte Wechselspannungsquellen, steuerbare DC Quellen, einstellbare RLC Lasten, und eine limitierte Verschaltungsmöglichkeit auf der AC Seite von Prüflingen. Diese Konfiguration wird im SimTech Labor in der elektrischen Leistung und in Funktionalität erweitert, so dass im Vollausbau DER Komponenten an mehreren gesteuerten AC Quellen bis zu einer Leistung von 700kW gleichzeitig betrieben werden können. Ein flexibler elektrischer Schaltverteiler realisiert die entsprechende physikalische Konfiguration. Die Steuer- und Messtechnik ist integraler Bestandteil dieses Bereiches.

2.2.1 Konzeption einer Entwicklungsumgebung für Netzsimulationen

Es wurde eine Entwicklungsumgebung für Netzsimulationen konzipiert, in der leistungsfähige Netzberechnungen für zukünftige Netzstrukturen möglich sein werden. Dabei wurden geeignete Softwaretools systematisch ausgewählt und evaluiert, Schnittstellen wurden bestimmt und Datenformate definiert. Es wurde versucht, eine möglichst umfangreiche Softwarearchitektur zu etablieren, welche es erlaubt unterschiedlichste aktuelle Fragestellungen, aber auch Fragestellungen, welche in der Zukunft auftauchen können, zu bearbeiten.

2.2.1.1 Simulationstools für Lastflusssimulation und bedingt transiente Simulation

Zur Simulation von elektrischen Komponenten und Netzen gibt es eine Fülle von Simulationstools auf dem Markt. Diese unterscheiden sich in der Art der Simulation (Lastflussberechnung, Zeitbereichssimulationen für transiente Vorgänge etc.), in der konkreten Modellierung einzelner Komponenten (unterschiedlicher Detaillierungsgrad der Modelle für einzelne Komponenten, z.B. Transformatormodell mit nur 5 Parametern oder mit 27 Parametern), der Datenkompatibilität, der Art der Plattform, auf welche sie aufsetzen und der wirtschaftlichen Ausrichtung (kommerziell, Open Source).

Für das SimTech Labor wurde versucht, eine möglichst umfangreiche Softwarearchitektur zu etablieren, welche es erlaubt unterschiedlichste aktuelle Fragestellungen, aber auch Fragestellungen, welche in der Zukunft auftauchen können, zu bearbeiten.

Gleichzeitig soll aber auch eine „Laborbibliothek“ entstehen, die das gesammelte „Wissen“ des Labors in Form von Daten unterschiedlichster Art (Netzdaten, Komponentendaten, Modelle, Regelalgorithmen und Ergebnisse enthält).

Aufgrund der Kompatibilitätsproblematik der einzelnen Softwarepakete stellt diese Aufgabe eine besondere Herausforderung dar. Um dieser Anforderung zu begegnen, wurde eine sehr offene Architektur gewählt, welche bei Bedarf erweitert werden kann.

Die Vorstellung geht dahin, dass das Labor im Besitz der meist verwendeten Softwaretools (z.B. für Lastflusssimulationen und bedingt transiente Simulation DigSilent, Neplan und Integral) ist und auch Daten im Format dieser Softwarepakete sammelt. Gleichzeitig wird aber auch ein generisches Datenformat sehr stark forciert und Daten in diesem Format gesammelt. Als generisches Datenformat wird das ODM - Open Data Model angedacht. Dies ist ein XML basiertes Format, welches sehr flexibel ist und damit auch zukünftigen Anforderungen gerecht werden kann. Grundsätzliche Motivation hinter diesem Format ist die Reduzierung der notwendigen Konverter von dem Format eines Softwarepaketes in das Format eines anderen Softwarepaketes (siehe Abbildung 11).

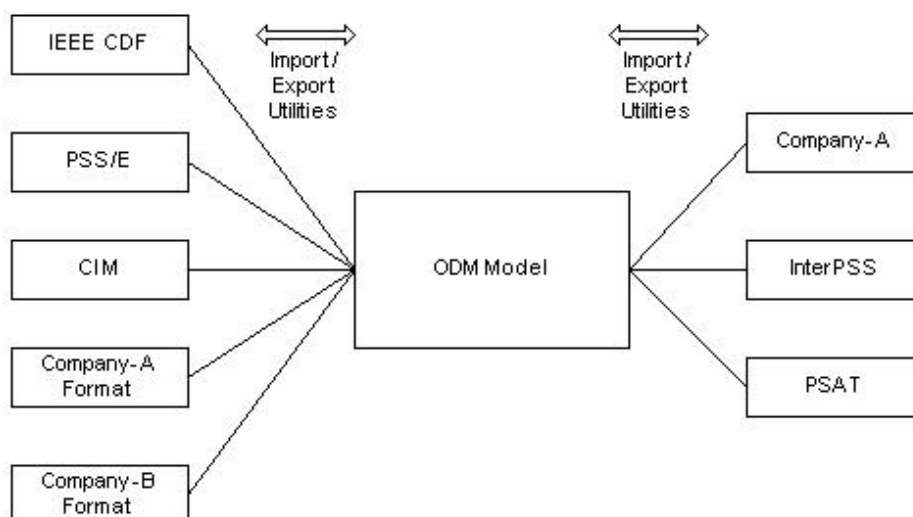


Abbildung 11: Reduzierung der Schnittstellen durch ein generisches Datenformat

Im Bereich der Offline Simulationen gibt es auch viele Open Source Entwicklungen ohne kommerzielle Absicht. Um auch diesen Bereich nicht zu vernachlässigen, ist die Berücksichtigung des Softwarepaketes PSAT (Power System Analysis Toolbox) geplant, es ist dies ein MATLAB bzw. Octave basiertes Simulationstools, welches Lastflusssimulationen, eingeschränkt Zeitbereichssimulationen und vieles mehr erlaubt.

2.2.1.2 Simulationstools für transiente Zeitbereichssimulation

Auch hier wiederum ist die Unterscheidung zwischen Open Source Paketen und kommerziellen Simulationspaketen zu treffen. Die für unsere Zwecke geeigneten Softwarepakete im Open Source oder bedingt Open Source Bereich sind:

- Power System Toolbox (PST)
- EMTP ATP

Die Modelle von PST sind sehr stark limitiert in Anzahl und Detaillierungsgrad. EMTP ATP ist frei verfügbar für jeden, der nicht in der Entwicklung oder Verkauf von anderen transienten Simulatoren involviert ist. Im kommerziellen Bereich wurden identifiziert:

- Mathworks SimPowerSystem
- DCG EMTP-RV
- Siemens PSS/E

Hierbei ist Mathworks SimPowerSystem besonders interessant, da es eine natürliche Schnittstelle zur Echtzeitumgebung OPAL RT aufweist.

2.2.1.3 Portabilität von Formaten

Bedauerlicherweise ist die Portabilität von Formaten zum aktuellen Stand überhaupt nicht, bis nur sehr schwach gegeben. Wünschenswert wäre ein allgemeines Format, welches auf einfache Art und Weise in die gewünschten speziellen Zielformate gebracht werden kann bzw. aus den jeweiligen speziellen Formaten generiert werden kann. Der Datenbegriff ist im Sinne von SimTech ein sehr weiter. Daten für Simulationen im SimTech Labor können sein:

- Komponentendaten
- Netzdaten
- Regelungsalgorithmen
- Modelle
- Ergebnisse

Wenn von Portabilität von Formaten in diesem Zusammenhang gesprochen werden soll, so sind hierbei auch die Ergebnisse einer Simulation (Untersuchung) zu betrachten. Auch diese Daten sollen möglichst einfach ausgetauscht und in einem möglichst günstigen Format vorliegen.

Wie bereits erwähnt, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Portabilität von Daten im Rahmen von Simulationsprogrammen nur sehr schwach gegeben. Die offene Softwarearchitektur des SimTech Labors soll mit dieser Unzulänglichkeit umgehen können. Hierzu wurde einige Erfahrung in der Erstellung von Formatkonvertern gewonnen (konkret wurde z.B. ein Konverter entwickelt, der DigSilent Power Factory in PSAT Daten umwandeln kann, ein ODM-Konverter ist angedacht. Die Ergebnisse sind zufriedenstellend. Es muss hierbei jedoch beachtet werden, dass ein und dieselbe Komponente in

unterschiedlichen Simulationspaketen unterschiedlich genau modelliert wird. Verluste in der Genauigkeit bedingt durch Konversion von einem Format in ein anderes, können daher nicht ausgeschlossen werden.

Als Referenzmodell für die Portabilität und Kompatibilität der Datenformate wurde folgendes Übersichtsmodell (Abbildung 12) generiert. Es enthält die wesentlichsten hier behandelten Simulationsprogramme und deren Schnittstellen. Hierbei ist auch der Echtzeitbereich enthalten.

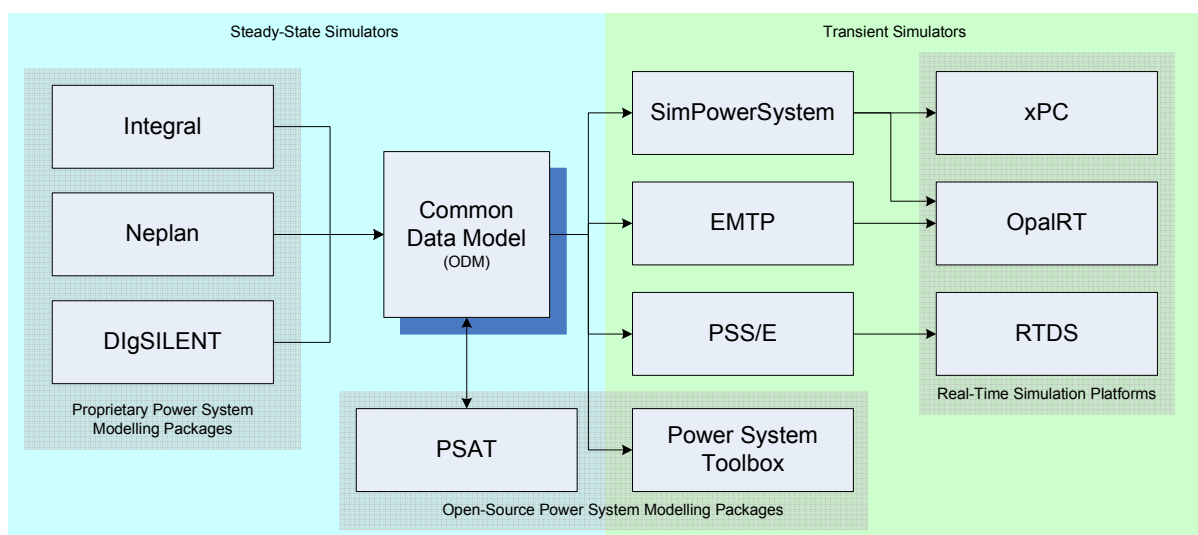


Abbildung 12: Darstellung der einzelnen Softwarepakete (Von der Lastflusssimulation bis hin zur echtzeitfähigen Simulation) und deren Schnittstelle, sowie der Rolle des generischen Datenformates (ODM)

Jedes dieser Softwarepakete (Integral, Neplan, DigSilent, PSAT, SimPowerSystem, EMTP/ATP, PSS/E, Power System Toolbox, xPC, Opal RT and RTDS) haben ihre Besonderheiten, zum einen was das Datenformat an und für sich anbelangt, zum anderen was den Dateninhalt anbelangt. So z.B. ist es für kommerzielle Lastflußsimulationsprogramme wie z.B. DigSilent üblich auch Daten für das sogenannte „grid management“ wie Elementnummer usw. vorrätig zu haben. Der Open Source Freeware Simulator PSAT unterstützt solche Daten nicht.

Generell muss man in Abbildung 12 zwischen den einzelnen Simulationsdomänen unterscheiden:

- Lastflusssimulation in all seinen Varianten
- Zeitbereichs- und transiente Simulation
- Echtzeitsimulation mit Hardware-in-the-loop

Bereits der Datenaustausch innerhalb einer Domäne stellt eine Herausforderung dar, nicht unbedingt wegen dem unterschiedlichen Format der Daten, dass durch Konverter noch beherrschbar wäre, sondern auch wegen der Modellierungstiefe der einzelnen Simulationspakete: Vergleicht man z.B. die Modellierung von einfachen Elementen wie z.B. eines Transformators im DigSilent/PowerFactory mit jener des Paketes PSAT so stellt man einen Unterschied in der Parameterzahl von z.B. 1:5 fest. Dies ist in gewisser Hinsicht logisch, da sich Simulationspakete gerade in ihrer Modellierungstiefe und Modellierung von speziellen Effekten von anderen Paketen unterscheiden können und dies natürlich auch ein Verkaufsargument ist.

Auch der Austausch zwischen Domänen stellt eine Herausforderung dar, da die Daten, die für ein Lastflussmodell benötigt werden, sich erheblich von jenen einer transienten Simulation unterscheiden können. So können entscheidende Parameter für die transiente Zeitbereichssimulation (z.B. gewisse Zeitkonstanten, Anfangsbedingungen) fehlen. Hierbei müsste ein Konverter entweder vernünftige Annahmen treffen oder aber den Benutzer explizit fragen, wie diese Parameter gesetzt werden sollen.

Es läuft letztendlich darauf hinaus, dass solche Konversionen nur bis zu einem Grad automatisierbar sind, Simulations-Engineering, sowie System- und Komponentenverständnis des Anwenders sind unabdingbar.

Große Hoffnung wird in das generische Datenformat COM: ODM gelegt, das als „Containerformat“ alle diese unterschiedlichen Daten aufnehmen sollte. Leider wird momentan sehr wenig Entwicklung von ODM betrieben. Im Source Tree gab es in letzter Zeit sehr wenige Änderungen. Auch die ursprüngliche Architektur dieses Formats ist nicht flexibel genug in Hinblick auf Skalierbarkeit und Entwicklung von Konvertern.

Dies bedeutet dass man, wenn man ODM als das generische Datenformat für das SimTech Labor heranziehen will, nicht darum umhinkommen wird, die Entwicklung von ODM stark zu unterstützen und die entsprechenden Ressourcen hierfür vorzusehen, insbesondere für den Test und die Validierung solcher generischer Datenmodelle.

2.2.1.4 Das generische Datenformat ODM – derzeitiger Status, notwendige Ergänzungen und Ausblicke

Bei Ende der Projektlaufzeit des SimTech Concept war bekannt, dass ODM nicht die Weiterentwicklung und Wertschätzung von den involvierten Interessensgruppen (Netzbetreiber, Normierungsgremien, kommerziellen Herstellern von Simulationspaketen, Anwender von Simulationspaketen, ...) erfährt wie dies für die Zwecke des SimTech Labors wünschenswert wäre. Dies tut den in diesem Dokument getätigten Vorüberlegungen jedoch keinen Abbruch, es wird ein generelles Datenformat in diesem Bereich benötigt.

Was in letzter Zeit als sehr hoffnungsvoll sich offenbart hat, ist die Weiterentwicklung des IEC CIM (Common Information Model), welches z.B. von Herstellern von Simulationspaketen in ihren neuen Versionen berücksichtigt wird,

Das CIM basiert im Wesentlichen auf dem Standard IEC 61970-301 mit Fokus auf Übertragungsnetze, Energiemanagement, SCADA, Planung und Optimierung. IEC 61970-501 und 61970-452 definieren ein XML Schema für den Modellaustausch. IEC 61968 erweitert die Möglichkeiten des CIMs, um die Beschreibung von Verteilnetzen was auch Management von Verteilnetzen, Ausfallmanagement, Planung, Metering, GIS Systeme, Asset Management, Kundeninformationssysteme und ERP beinhaltet. Dies bedeutet, dass CIM als Hoffnungsträger für das generische Datenformat für die Zwecke des SimTech Labors gilt.

2.2.1.5 Co-Simulation

Der Begriff Co-Simulation bezeichnet die dynamische Kopplung von Simulatoren. Voraussetzung hierfür ist, dass die Simulatoren extern gesteuert werden können, dass Datenübertragung zwischen den Simulatoren möglich ist und dass ein Gesamtmodell mit Teilmodellen, welche aufeinander abgestimmt sind, vorhanden ist. Vorteile sind, dass die Modelle mit ihren dazugehörigen speziellen Werkzeugen beschrieben werden können und dass kein Systemwechsel mit den dazugehörigen Nachteilen wie

Fehler bei Umsetzung, Aufwand, usw. erforderlich ist. Nachteile der Co-Simulation sind evtl. längere Simulationszeiten und Probleme bei Konvergenz und Rechengenauigkeit.

Für den Bereich des Simtech Labors sind zwei Anwendungsbereiche dieser Technik sehr interessant:

- Co-Simulation der elektrischen Eigenschaften mit den thermischen Eigenschaften eines Netzwerkes, Komponente oder beides
- Co-Simulation der elektrischen Eigenschaften mit den Kommunikationsstrukturen in einem Micro Grid, Smart Grid etc.

Im Bereich der thermischen Co-Simulation bietet sich z.B. das Softwarepaket Modelica an, mit welchem bei Arsenal Research besonders im Bereich Mobility sehr viel Erfahrung vorhanden ist. Auf der anderen Seite gibt es für diese Anwendung auch kommerzielle Co-Simulation Packages wie EXCITE von EXTESSY Ag und TISC von TLK-Thermo.

Eine Beispielanwendung für Co-Simulation bzgl. der Kommunikationsinfrastruktur:

Im Bereich der Smart Grids, welche ja neben einer Energieinfrastruktur eine parallel dazu existierende Kommunikationsinfrastruktur vorsehen, bieten sich vor allem Co-Simulationen an, bei welchen ein Simulator die energietechnische Seite nachbildet und ein zweiter Simulator die kommunikationstechnischen Aspekte (Verfügbarkeit von Kommunikation, Verzögerungszeiten, Datenverluste, ...) nachbildet. Dadurch sollen Aspekte nachgebildet werden, die vor allem in Zukunft immer mehr, das Verständnis von Smart Grids prägen werden: Kleine dezentrale Netze, die sich durch geeignete Kommunikationsmechanismen „intelligent“ verhalten.

Um die Thematik greifbarer zu machen, wurde ein kleiner Use Case generiert.

Use Case Co-Simulation

In der bundesdeutschen Niederspannungsrichtlinie ist vorgesehen, dass in Zukunft Wechselrichter auch Blindleistung erzeugen müssen, insofern das verlangt wird. Diese Blindleistungsbereitstellung muss innerhalb einer gewissen Zeit nach Anfrage erfolgen (z.B. 1 Minute). Es ist nun denkbar, dass eine zentrale Logik berechnet, welcher Wechselrichter nun wie viel zum Blindleistungshaushalt beitragen muss. Es ist vorstellbar, dass diese Information über den z.B. in fast jedem Haushalt verfügbaren DSL Anschluss übertragen wird. Um ein solches System simulieren zu können, müsste nun also der energietechnische Aspekt in Form einer Lastflussrechnung und die Nachbildung des dynamischen Verhaltens des Wechselrichters (wie schnell kann ein Wechselrichter auf eine Blindleistungsänderung reagieren – theoretisch sehr schnell, in der Praxis beschränkt) simuliert werden und zusätzlich der kommunikationstechnische Anteil, also die Verfügbarkeit und Verzögerungen durch eine DSL Übertragung, berücksichtigt werden müssen.

Dies könnte ein klassischer Aufgabenbereich der Co-Simulation sein, konkret könnten bei der Simulation der beschriebenen Aufgabenstellung folgende Simulatoren gekoppelt werden:

- Lastflussrechnung z.B. mittels DigSilent Power Factory oder PSAT
- Dynamische Simulation mittels MATLAB Simulink zwecks Nachbildung der Kontrolllogik und des dynamischen Verhaltens der Wechselrichter
- Simulation der auftretenden Kommunikation z.B. mittels OMNet++.

OMNet++ ist ein Open Source tool zur Simulation von Kommunikationsstrecken. Es ist ein ereignisdiskretes Simulationssystem, bei welchem Nachrichten von einer Quelle zu verschiedenen Blöcken, welche ihrerseits wiederum die Nachrichten weiterleiten, weitergeleitet werden. Jeder Block wird durch eine Verzögerungszeit, Bitrate und Bitfehlerrate charakterisiert.

Zur konkreten Simulation ist es nötig, eine Umgebung zu schaffen, welche die einzelnen Simulatoren synchronisiert und den nötigen Datenaustausch erlaubt.

Es lassen sich sicher noch mehr Beispiele für Co-Simulation im Bereich der „Smart Grids“ aufzählen, für das SimTech Labor ergibt sich dabei die Anforderung, dass das Simulationssystem (Hardware und Software) die Bearbeitung derartiger Fragestellungen ermöglichen muss.

Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass auch Echtzeitsimulationssysteme Unterstützung für Co-Simulation bieten, so z.B. das OPAL RT System mit seiner Orchestra Plattform.

2.2.2 Erstellung eines Konzeptes zur Kombination von Simulation und der realen Hardwareumgebung

In diesem Abschnitt wurde ein Konzept für die „Hardware-in-the-loop“ (HIL) Struktur erarbeitet, welche die Kombination von Simulation und der realen Hardwareumgebung zu einem hybriden System (Hardware Experiment / Simulation) ermöglicht. Es wurde darauf geachtet, dass die Rückkopplung des Verhaltens von angeschlossenen dezentralen Energiesystemen auf die nachgebildete Netzanbindung Analysen der gegenseitigen Wechselwirkungen (Komponente-Netz; Netz-Komponente) ermöglicht. Ein wesentlicher Punkt dabei war die geeignete Auswahl der Simulations- und Steuerhardware, die Überprüfung der Kompatibilität unterschiedlicher Systeme und die Definition der passenden Schnittstellen.

2.2.2.1 Simulation in Echtzeit (tools)

Echtzeitfähigkeit bedeutet zunächst nur, dass eine bestimmte Aufgabe innerhalb eines gewissen Zeitschrittes erledigt werden kann (harte Echtzeit). Die Größe dieses Zeitschrittes hängt von der Aufgabenstellung bzw. dem konkreten Problem ab und ist z.B. zum Zwecke der Energietechnik oft im Bereich kleiner als 100 Mikrosekunden angesiedelt.

Dies bedeutet, dass geeignete Hard- und Softwarelösungen angedacht werden müssen, die für diese Anforderung geeignet sind.

Die Zahl der kommerziell verfügbaren Lösungen (diese bestehen jeweils aus Hardware und darauf abgestimmter Software) für den energietechnischen Bereich halten sich in Grenzen.

Im Zuge der Evaluierung wurde die Eignung für die Aufgabenstellungen im SimTech Labor folgender Tools untersucht:

- DINEMO
- HYPERSIM
- dSpace
- DIgSILENT
- Modelica/Dymola
- RTDS
- Opal-RT: RT-Lab, eMegaSim, XSG

Die Kriterien hinsichtlich derer evaluiert wurde, waren:

- Geschwindigkeit: (Erzielbarer minimaler Zeitschritt)
 - Zeitschrittdauer (abgestimmt auf die gesamte Regelschleife)
 - Evtl. Multiratenfähigkeit (Gewisse Systeme werden mit einem größeren Zeitschritt simuliert, andere z.B. Leistungselektronik mit kleinerem Zeitschritt, in der Regel größerer Zeitschritt ganzzahliges Vielfache des kleineren)
- Dedizierung:
 - Zuweisung von Rechenaufgaben an bestimmten Prozessor (besonders bei großen, komplexen Aufgaben, Aufgaben müssen so verteilt werden, dass Teilprobleme möglichst unabhängig berechnet werden, ansonsten keine Verbesserung weil ständig auf Zwischenergebnisse gewartet)
- Erweiterbarkeit, Skalierbarkeit:
 - Hardware soll stufenlos erweiterbar sein, um große, komplexe Systeme berechnen zu können
- Verwendete Hardware:
 - Unterscheidung host – target system
 - Verwendung von handelsüblichen PCs möglich?
 - Dedicated processor boards
 - FPGAs
- Flexibilität:
 - z.B. nicht nur für Schutzüberprüfung tauglich
 - Maximaler Umfang an Problemen
- Möglichkeit der offline Simulation (nicht zeitkritisch):
 - Leistungsfähige Hardware soll auch zur Offline Simulation herangezogen werden können
 - Lastflussberechnung, ...
- Zuordnung: Hardware <-> Zu simulierendes Energienetz:
 - Starr (z.B. RTDS ein Board = eine bestimmte Anzahl an Knoten)
 - Flexibel (Es kann mehr simuliert werden, evtl. aber langsamer = größere Zeitschrittdauer)
- Host-Entwicklungsumgebung:
 - Möglichst komfortable und in mehreren Richtungen kompatible Entwicklungsumgebungen
 - Schnittstelle zur Offline Simulation
 - Möglichkeit der Erzeugung von Modellbibliotheken
- Eigenschaften des Produkts und Herstellers:
 - Etabliertes Produkt
 - Gutes Preis/Leistungsverhältnis
 - Hersteller am Markt etabliert
 - Hersteller auch mit nicht Standardproblemen konfrontiert
 - Service und Wartung, Unterstützung bei Problemen
 - Ständige Verbesserung des Produkts
 - Keine Isolierung durch Auswahl des Produkts
 - Verfügbarkeit über lange Zeit
- Kompatibilität

Aufgrund dieser Kriterien wurden zwei Konkurrenzprodukte identifiziert, welche für die Zwecke des SimTech Labors die höchste Eignung aufweisen: Es waren dies die Produkte RTDS und OPAL RT. Bei beiden werden die bereits genannten Kriterien erfüllt. Die beiden Produkte unterscheiden sich in der Art der verwendeten Hardware. Bei RTDS sind dies spezielle gefertigte Einschubkarten, OPAL RT verwendet am Markt erhältliche besonders leistungsfähige Rechner und sehen ihr Kerngeschäft mehr im zu Verfügung stellen von geeigneter Echtzeitsystemssoftware.

2.2.2.2 HIL Struktur

Prinzipiell lassen sich für unsere Zwecke zwei Arten der HIL Hardware-in-the-loop Simulation unterscheiden:

- **CHIL Controller Hardware-in-the-loop** (auch „virtual plant simulation“ genannt): Hierbei wird nur der Controller (Regler) einer Anordnung in Hardware ausgeführt, der ganze leistungstechnische Teil wird in Simulation ausgeführt. Diese Art der Simulation wird vor allem zum Test von Steuergeräten z.B. im automotiven Bereich ausgeführt. Alle Signale von der Simulationshardware zur Controllerhardware haben nur nachrichtentechnischen Charakter (sind also von schwacher Leistung.)
- **PHIL Power Hardware-in-the-loop**: Hierbei werden auch leistungsstarke Teile der Anordnung real aufgebaut. Für diese Art der HIL Simulation werden Leistungsverstärker (im sogenannten power interface) benötigt. Es versteht sich von selbst, dass Leistungsverstärker kein ideales Verhalten haben, sondern z.B. zusätzliche Totzeiten und Trägheiten ins System einbringen, welche in der Simulation gebührend beachtet werden müssen und evtl. auch Genauigkeit und Aussagekraft der Simulation beeinflussen.

Diese beiden unterschiedlichen Arten der HIL Simulation unterscheiden sich für den energietechnischen Bereich vor allen Dingen in Hinblick auf den Erfahrungsschatz, der für sie existiert: Für CHIL Simulationen gibt es wesentlich mehr Erfahrung als für PHIL Simulationen.

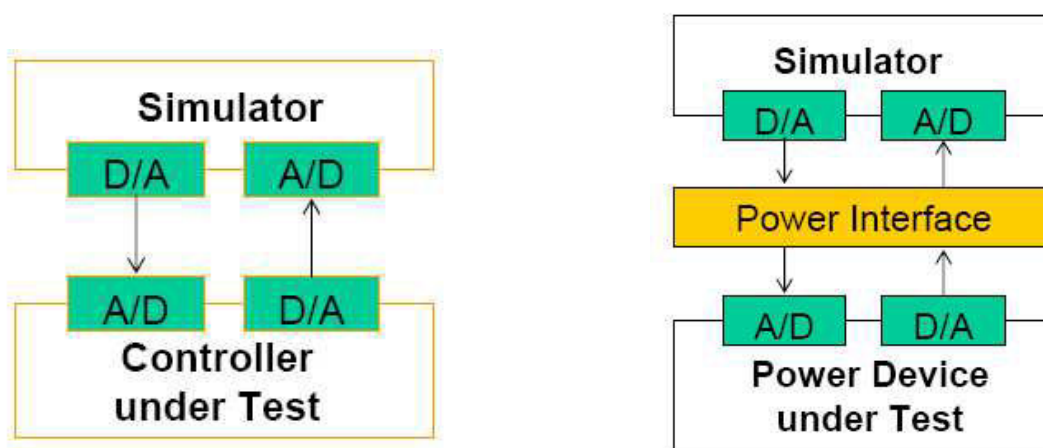


Abbildung 13: CHIL und PHIL im Vergleich

Im SimTech Labor sollen beide Arten der Simulation möglich sein, wobei besonderer Wert auf die PHIL Simulation gelegt werden soll.

2.2.2.3 Power Hardware-in-the-loop

Eine klassische Power Hardware-in-the-loop Simulation sieht vom prinzipiellen Aufbau her wie in Abbildung 14 aus:

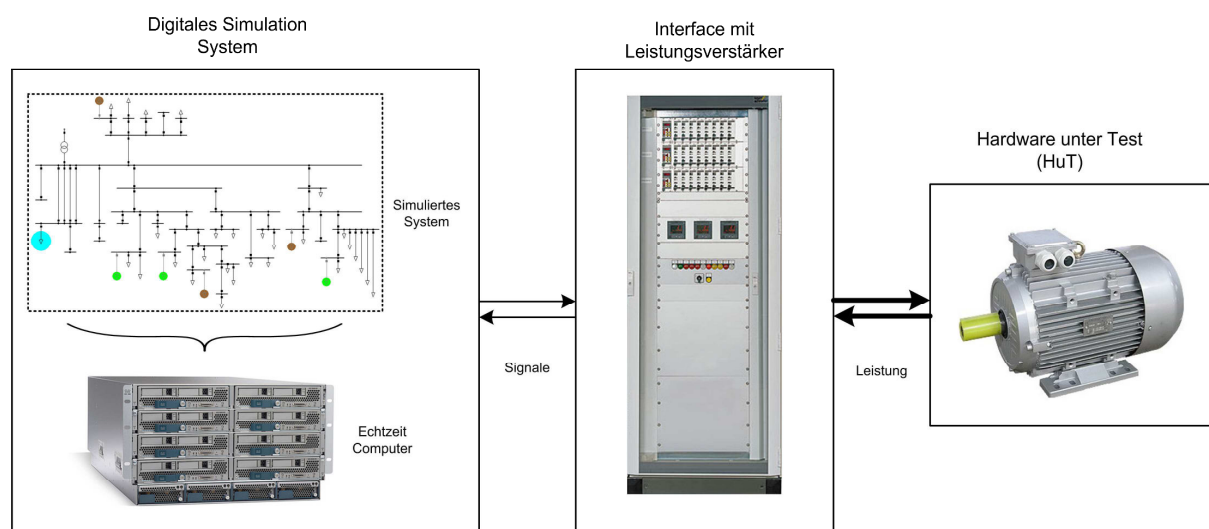


Abbildung 14: Aufbau einer PHIL Simulation

Über einen Leistungsverstärker ist ein Echtzeitsimulationssystem an eine Hardware Komponente oder ein real existierendes Teilnetz angeschlossen. Für die Zwecke der Genauigkeit werden hohe Anforderungen an das Echtzeitsystem (Hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit mit hohen Abtastraten) und an den Spannungsverstärker gestellt (Linearität und hohe Bandbreite.) gestellt.

Das folgende Kapitel ist wie folgt gegliedert:

In 2.2.2.4 werden die Überlegungen, welche im Rahmen des SimTech Concept Projektes für die Ausgestaltung eines Leistungsverstärkers für sehr hohe Leistungen getätigt wurden, zusammengefasst.

In 2.2.2.5 wird der grundsätzliche „proof of concept“, der im Rahmen dieses Projektes vollzogen wurde, dargestellt. Da von den Projektpartnern noch keinerlei Erfahrung im Zusammenhang mit PHIL Simulationen vorhanden waren, wurden grundsätzliche Versuchsanordnungen durchgetestet und Erfahrung und neue Erkenntnisse gewonnen.

In 2.2.2.6 werden Ausblicke gegeben, in welche Richtung sich die Forschungsarbeit in Zukunft entwickeln soll, um die Methodik PHIL Simulation zu verbessern.

2.2.2.4 Modellbildung, Simulation und Regelung zur Realisierung einer gesteuerten Spannungsquelle auf Wechselrichter-Basis für einen Grid Emulator

Für eine Power Hardware-in-the-loop Simulation wird ein geeigneter Leistungsverstärker als Teil der Leistungsschnittstelle benötigt. Dieser ist üblicherweise als gesteuerter Spannungsverstärker ausgeführt. Es ist klar, dass der hohe Leistungsbereich besondere Topologien für den Spannungsverstärker festlegt.

Im Leistungsbereich bis 100kW geschieht dies mit Hilfe von Linearverstärkern. Bei höheren Leistungen bis 500kW soll dies über Verstärker mit pulsweitenmodulierter Schaltstufe realisiert werden. Die Stärken des Linearverstärkers liegen in der hohen Genauigkeit und Bandbreite, während die geschaltete Variante geringe Kosten, geringe Verluste und die Möglichkeit der Rückspeisung aufweist.

Im Rahmen des SimTech Concept Projektes wurden Untersuchungen zur Machbarkeit von Verstärkern mit pulsweitenmodulierender Schaltstufe durchgeführt. Abgesehen von der hohen Leistung muss

der Spannungsverstärker auch gute dynamische Eigenschaften haben, um möglichst genaue PHIL Simulationen in einem weiten Frequenzbereich zu ermöglichen. Nach einer Markterhebung wurden die unterschiedlichen Produkte werden untereinander verglichen und in ihre Einzelkomponenten aufgeschlüsselt.

Tabelle 6 zeigt eine Auflistung geeigneter Produkte von potenziellen Anbietern, die folgende Mindestanforderungen erfüllen sollen:

- 4 Quadrantenbetrieb mit Rückspeisung ins Netz
- Ausgangsfrequenzbereich: 0-2 kHz
- Ausgangsspannung: 480 V = 400 V+ 20 % RMS (verkettet)
- Leistung: 500 kW/500 kVA
- Wirkungsgrad: mindestens 0.96

Tabelle 6: Marktübersicht verfügbarer Spannungsverstärker im gewünschten Leistungsbereich

Unternehmen	Produkt Serie	4-Q	P: 500kW	Ua: 480V	$\eta^6 \geq 0.96$	f: 0-2kHz	f mit Sinusfilter	$\eta^7 \geq 0.96$
pDrive	MX pro 4V-Serie	✓ ¹	✓	✓	✓	0-300Hz	100Hz	✓
ABB	ACS800-17	✓ ³	✓	✓	✓	0-300Hz	120Hz	0.95
Danfoss	FC302	✓ ²	✓	✓	✓	0-800Hz	60Hz	✓
Siemens	SINAMICS S150	✓ ³	✓	✓	✓	0-300Hz	- ⁸	- ⁸
	SIMOVER 6SE71 ⁴	✓ ³	✓	✓	✓	0-200Hz	- ⁸	- ⁸
Schneider Electric	Altivar 71	✓ ¹	✓	✓	✓	0-500Hz	100Hz	✓
Vacon	Vacon NXP/C	✓ ³	✓	✓	✓	0-320Hz ⁵	70Hz	0.945
EAP(Toshiba)	VF-AS1	✓ ²	✓	✓	✓	0-500Hz	0-500Hz	✓

¹ 4 Quadrantenbetrieb ist nur mittels Zusatzgerät möglich. Das Zusatzgerät ist als Active Front End (AFE) ausgeführt.

² 4 Quadrantenbetrieb ist nur mittels Zusatzgerät möglich. Das Zusatzgerät wird für die Rückspeisung verwendet.

³ 4 Quadrantenbetrieb wird standardmäßig als AFE ausgeführt.

⁴ Dieses Produkt läuft laut Hersteller ab 2012 aus.

⁵ Die maximale mögliche Frequenz 7200Hz. Für diesen Frequenzbereich wird aber kein Filter angeboten.

⁶ Der Wirkungsgrad beinhaltet den Sinusfilter nicht.

⁷ Wirkungsgrad inklusive Sinusfilter.

⁸ Der Sinusfilter ist für diesen Leistungsbereich nicht verfügbar.

Es zeigt sich, dass die untersuchten Produkte alle gewünschten Anforderungen, mit Ausnahme des Ausgangsfrequenzbereichs, erfüllen. Dieser Umstand lässt sich damit begründen, dass bei Forderung von höheren Ausgangsfrequenzen, die Seitenbänder der Trägerfrequenz in Richtung des Basisbandes wandern und somit erhöhte Verzerrungen im Grundsignal hervorrufen.

Die Umrichtersysteme lassen sich wie in Abbildung 15 gezeigt, in allgemeiner Form darstellen. Gesamtsysteme gliedern sich in folgende Teilkomponenten

- Eingangssysteme
 - AFE
 - Eingangsgleichrichter
 - Rückspeiseeinheiten
- Ausgangsumrichter
- Ausgangsfilter
 - Sinusfilter

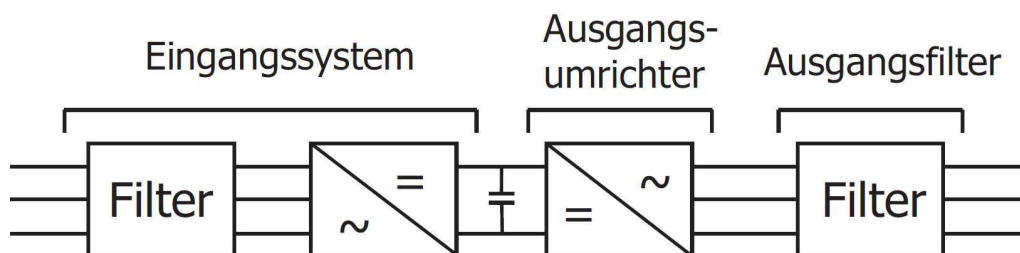


Abbildung 15: Allgemeines Umrichter Gesamtsystem

Aus der Markterhebung geht hervor, dass die kommerziell erhältlichen Produkte, bis auf den geforderten Frequenzbereich, alle gestellten Anforderungen an das Inverter System erfüllen. Diese Invertersysteme werden meist ohne Glättungsfiler angeboten und das PWM-Signal wird ungefiltert an die Last ausgegeben. Es wird dabei ein erhöhter Oberschwingungsanteil in der Ausgangsspannung in Kauf genommen, jedoch erhält man eine höhere Bandbreite. Solche Glättungsfiler können bei sämtlichen Herstellern als zusätzliche Option geordert werden.

Inverter werden meist mit konstanter Schaltfrequenz betrieben. Bei der Forderung höherer Grundschwingungsfrequenzen wandern die Seitenbänder der Trägerfrequenz Richtung Basisband und somit bei Verwendung von Glättungsfilern in die Nähe der gewählten Grenzfrequenz der Filter. Wird nun eine zu hohe Grundfrequenz gefordert, so treten die Seitenbänder möglicherweise in unmittelbarer Nähe oder unterhalb der Filtergrenzfrequenz auf und werden schwach oder gar nicht gedämpft. Durch die nicht idealen Schaltereigenschaften, wie zum Beispiel Ein- und Ausschaltverzögerungen, oder bei Einführung von Verriegelungszeiten, werden Spektralanteile in Basisbandnähe hervorgerufen. Aus diesen Gründen wird bei den am Markt erhältlichen Invertersystemen die Filtergrenzfrequenz nahe der Grundschwingungsfrequenz gewählt, was jedoch eine Einschränkung der Bandbreite zur Folge hat.

Bei Verwendung eines Sinusfilters sinkt durch die Verluste des Filters der Gesamtwirkungsgrad. Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus dem Wirkungsgrad des Inverters und dem Wirkungsgrad des Filters zusammen. Der Wirkungsgrad des Inverters kann nicht aus den Simulationen ermittelt werden, da mit Hilfe des Simulationstool „PLECS“ aus den verwendeten IGBT Modellen für die Modellierung der Inverter kein richtiges Ergebnis bezüglich der Verluste gewonnen werden kann. PLECS stellt ein weiteres IGBT-Modell zur Verfügung, anhand dessen es möglich ist, über Hinterlegung von temperaturabhängigen Schaltverlusttabellen Aussagen über Verluste des Inverters zu treffen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die im später realisierten Inverter verwendeten IGBTs und deren Verschaltung schon detailliert bekannt sind. Dieses IGBT-Modell bietet auch keine Möglichkeit der Berücksichtigung des zeitabhängigen Stromanstieges beim Schalten des IGBTs. Somit wird auf die Tabelle 6 verwiesen, aus der hervorgeht, dass der Wirkungsgrad bei allen Invertern größer als 96 % ist.

Für die Abschätzung des Filterwirkungsgrades wird zur Vereinfachung eine ohmsche Last angenommen, die über einen gewissen Bereich variiert wurde. Im Hinblick auf den Betrieb des Inverters an beliebiger Last sei darauf hingewiesen, dass die Last einen unmittelbaren Einfluss auf Filterparameter, wie die Grenzfrequenz, hat. Es ist somit für jede Last zu prüfen, ob sich der Filter noch gemäß den gestellten Anforderungen verhält!

Vergleicht man die eine Reihe unterschiedlicher Topologien von Invertern anhand der Oberschwingungsbewertung und der Scheinleistung, die der Inverter bei gleichbleibender Last liefern muss, so wird der sogenannte „PCM-Inverter“ mit unterschiedlicher Schaltfrequenz als zu realisierende Topologie vorgeschlagen. Diese Topologie liefert anhand der Simulationen die besten Ergebnisse unter der Voraussetzung, dass die zu kompensierenden Spektralanteile möglichst genau und unter gegebenem Rechenaufwand bestimmt werden können. Der Vorteil dieser Topologie liegt darin, dass der Inverter, der für die Kompensation zuständig ist, für eine um ein Vielfaches geringere Scheinleistung ausgelegt

werden kann. Die Filtergrenzfrequenz des Inverters, der für die Grundschwingungsleistung verantwortlich ist, könnte in den Bereich höherer Frequenzen verschoben werden, was eine Erhöhung der Bandbreite des Inverters bewirken würde. In dieser Arbeit wurden alle Simulationen, hinsichtlich prinzipieller Machbarkeit, nur für eine Grundfrequenz von 50Hz durchgeführt.

Als eine mögliche Regelungsstruktur wird in der Literatur auf eine Dead-Beat Regelung verwiesen. Solch eine Regelung kann, abhängig von der Ordnung der Regelstrecke und der gewählten Abtastzeit, die Regelgröße innerhalb weniger Abtastschritte auf den Wert der Führungsgröße bringen. Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass im Falle von sprunghaften Sollgrößenänderungen genügend Stellgrößenreserve zur Verfügung steht, um die Umladungen der ausgangsseitigen Filterkapazität zu bewerkstelligen. Eine weitere Herausforderung stellt die Auslegung dieser Regelung dar, da sich die Ordnung des Systems bei beliebiger Last ändern könnte und somit die Stabilität des Gesamtsystems nicht mehr gegeben sein könnte.

Für weiterführende Arbeiten, im Hinblick auf die zuvor genannte Regelung und den praktischen Aufbau der vorgeschlagenen Topologie, kann die abgeschlossene Diplomarbeit als Basis verwendet werden. Der Betrieb des Inverters an nichtlinearen Lasten, sowie die Forderung von nicht sinusförmigen Ausgangsgrößen wären weitere mögliche Aufgabenstellungen. Bei genauer Kenntnis der verwendeten IGBTs und deren Ansteuerung könnten Wirkungsgradanalysen der einzelnen Inverter gemacht werden.

2.2.2.5 Proof of Concept

Anstatt sich die gesamte erforderliche Hard- und Software für umfangreiche PHIL-Simulationen anzuschaffen und eine konkrete umfangreiche Untersuchung durchzuführen, wurde eine schrittweise Vorgehensweise gewählt. Ein wesentlicher Bestandteil dieser „Strategie“ ist der sogenannte Proof of concept. Hierzu wird ein minimalistischer PHIL-Aufbau angestrebt, bei dem wesentliche Erkenntnisse für weitere Versuche gewonnen werden können. Weiters wurden durch umfangreiche Literaturrecherche bereits gemachte Erfahrungen eruiert, welche in diesem Proof of concept eingebracht und geeignet ergänzt werden. Als besonders wichtige Literatur hat sich hierbei die Quelle [6] offenbart.

Der Proof of concept besteht aus einer Reihe von PHIL Versuchen mit einer sehr geringen Anzahl von Komponenten (sei es in der Simulation nachgebildet als auch real existierend). Wesentlicher Augenmerk wird dabei auf die Beschreibung des Interface zwischen der Echtzeit Simulationsumgebung und der konkreten Beschaltung gelegt.

Es wurde folgendes power interface (PI) gemäß [6] verwendet:

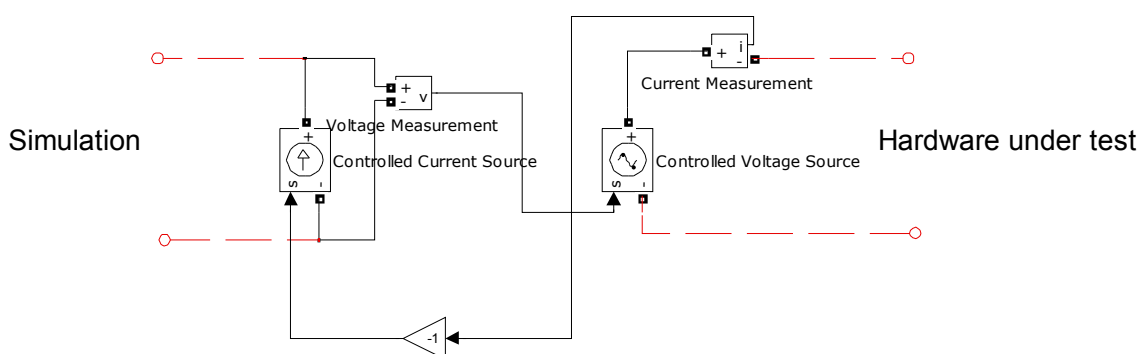


Abbildung 16: Modell des power interface (PI)

Dieses power interface wird auch als ideales Transformatormodell (Ideal Transformer Model) in der Literatur beschrieben: Hierbei wird in Software eine gesteuerte Stromquelle nachgebildet, die vom

Strom im Leistungsteil -über eine Strommesssonde gemessen- angesteuert wird. Die Spannung über diese Stromquelle wird simulationsseitig gemessen (eigentlich berechnet) und mit dieser Spannung der Spannungsverstärker angesteuert. Als Spannungsverstärker wurde für diese use cases ein verfügbarer Linearverstärker (10kW pro Phase) verwendet, als Echtzeitsystem das xPC target der Firma Mathworks. Dieses ist zwar in seiner Leistungsfähigkeit beschränkt, dafür aber sehr kostengünstig und damit im Rahmen des SimTech Concept Projektes leistbar.

Sowohl Spannungsverstärker als auch Strommesssonde haben nicht ideales Verhalten, sondern sind träge. Zur Identifikation dieses Verhalten wurde ein Versuch zur Charakterisierung der verwendeten Geräte mit Hilfe des folgenden Schnittstellenmodells durchgeführt:

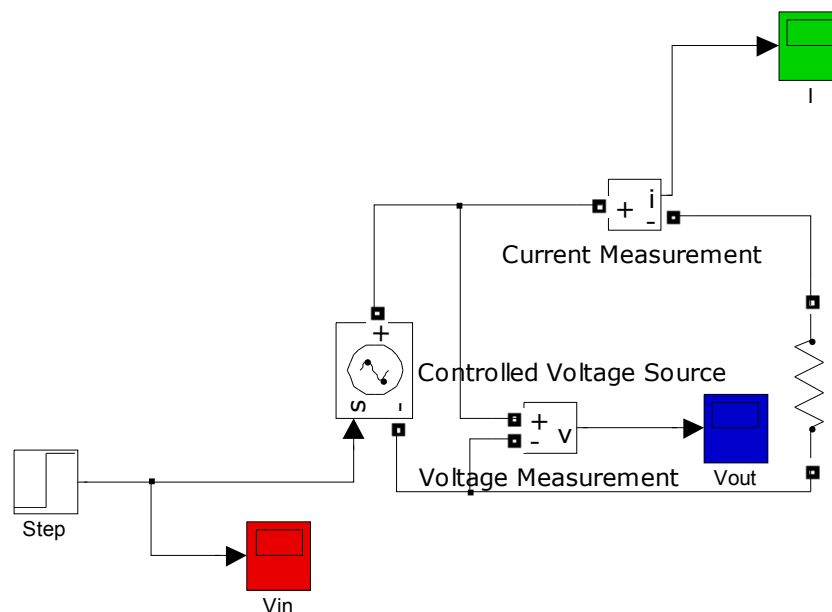


Abbildung 17: Modell zur Charakterisierung des power interfaces

An den Steuereingang des Spannungsverstärkers wurde ein Sprung angelegt und die Spannung und der Strom am Ausgang des Spannungsverstärkers gemessen. Der Spannungsverstärker speiste einen Widerstand. Es ergaben sich folgende Verläufe in der Zeit:

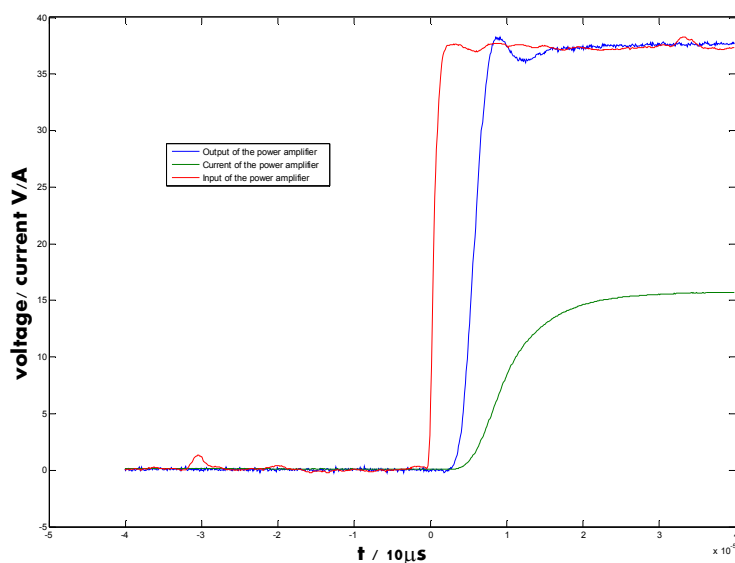


Abbildung 18: Sprungantwort des Spannungsverstärkers

Damit konnten die Übertragungsfunktion des Spannungsverstärkers und der Strommesssonde bestimmt werden. Sie wurden im Folgenden angenommen zu:

Spannungsverstärker:
$$T_1 = \frac{e^{-4.2\mu s}}{1 + (0.8\mu s)s + (2.913e^{-13}s^2)s^2}$$

Strommesssonde:
$$T_2 = \frac{1}{1 + (8\mu s)s}$$

Bemerkenswert ist, dass der Leistungsverstärker sehr schnell ist, sein wesentlicher dynamischer Anteil ist eine Totzeit von ca. 4µs.

Weiters wurde die Leistungsfähigkeit des target systems, also jenem System, dass den simulierten Teil des Systems berechnet, vermessen. Dazu wurde eine Kettenbruchsaltung mit steigender Ordnung n simuliert und dabei die minimale sampling time, mit der das System stabil läuft gemessen. Es ergeben sich folgende Zusammenhänge zwischen der Ordnung der Kettenbruchsaltung und der minimalen sampling time:

$$T_A[\mu s] = 0.2873n^2 - 0.2499n + 21.9699$$

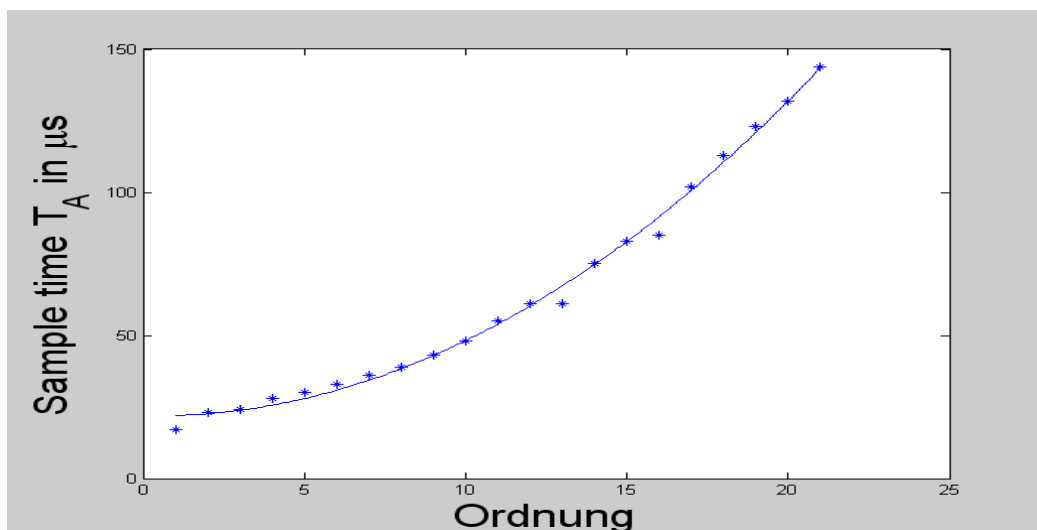


Abbildung 19: Leistungsfähigkeit des target systems in Abhängigkeit der Ordnung der Kettenbruchsaltung

Das targetsystem war ein herkömmlicher PC mit einem Prozessorkern und dem Betriebssystem xPC target von Mathworks. Für die Simulation des PHIL Systems und der Stabilitätsbetrachtung wurde das targetsystem Verhalten als eine einfache Verzögerung modelliert:

$$T_3 = e^{-s2T_A}$$

Der Einfluss der Quantisierung wurde nicht näher berücksichtigt.

Es wurden nun 5 elementare Anwendungsfälle (sog. use cases) im Labor vermessen und die Ergebnisse des Experiments mit jenen der Simulation verglichen:

Usecase 1: Elementare Spannungsteilerschaltung mit RL Last hardwareseitig

Usecase 2: Nichtlineare Diodenschaltung

Usecase 3: Netzimpedanzsimulation mit Einspeisung eines Wechselrichters hardwareseitig

Usecase 4: Komplexere Netzwerksimulation mit echter RL Last hardwareseitig

Usecase 5: Komplexere Netzwerksimulation mit Einspeisung eines Wechselrichters hardwareseitig

Usecase 1:

Usecase 1 ist ein einfacher Spannungsteiler mit ohmsch-induktiver Last. Softwareseitig (links) werden zwei Spannungsquellen (Grundschiwingung und 5.Oberfrequenz) mit Innenwiderstand nachgebildet, hardwareseitig (rechts) eine ohmsch-induktive Last angeschlossen.

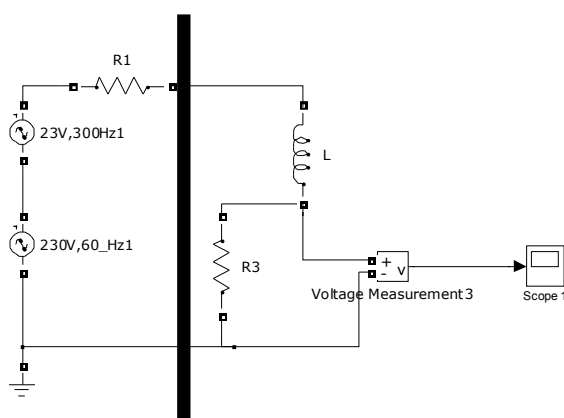


Abbildung 20: Usecase 1: einfacher Spannungsteiler

Usecase 2:

Usecase stellt eine nichtlineare Diodenschaltung (Einweggleichrichter) dar. Softwareseitig (links) werden zwei Spannungsquellen (Grundschiwingung und 5.Oberfrequenz) mit Innenwiderstand nachgebildet, hardwareseitig (rechts) eine Diode und Induktivität, sowie eine Kapazität mit Parallelwiderstand angeschlossen.

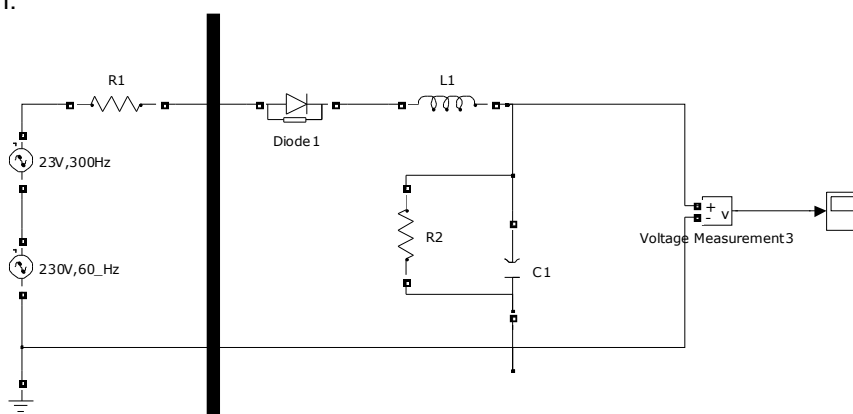


Abbildung 21: Usecase 2: Nichtlineare Diodenschaltung

Usecase 3:

Dieser Usecase soll eine Netzimpedanzemulation darstellen. Hardwareseitig wird ein PV-Inverter mit Ausgangsfilter angeschlossen sowie eine zusätzliche Induktivität aus Stabilitätsgründen, softwareseitig eine Spannungsquelle mit Netzimpedanz simuliert:

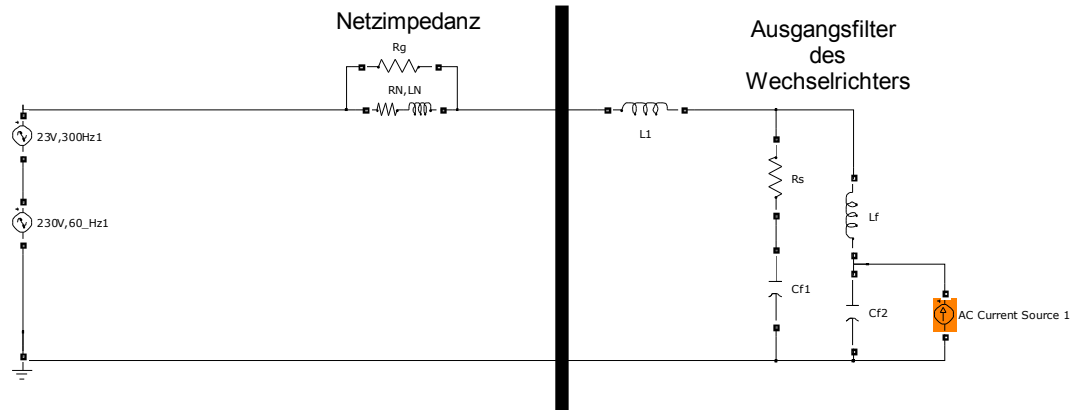


Abbildung 22: Usecase 3: Netzimpedanzsimulation mit dezentraler Erzeugungsanlage

Usecase 4:

Beim Usecase 4 wird ein kleines Netz mit drei Leitungsabschnitten und zwei hinzuschaltbaren Lasten softwareseitig simuliert, hardwareseitig eine ohmsch induktive Last angeschlossen.

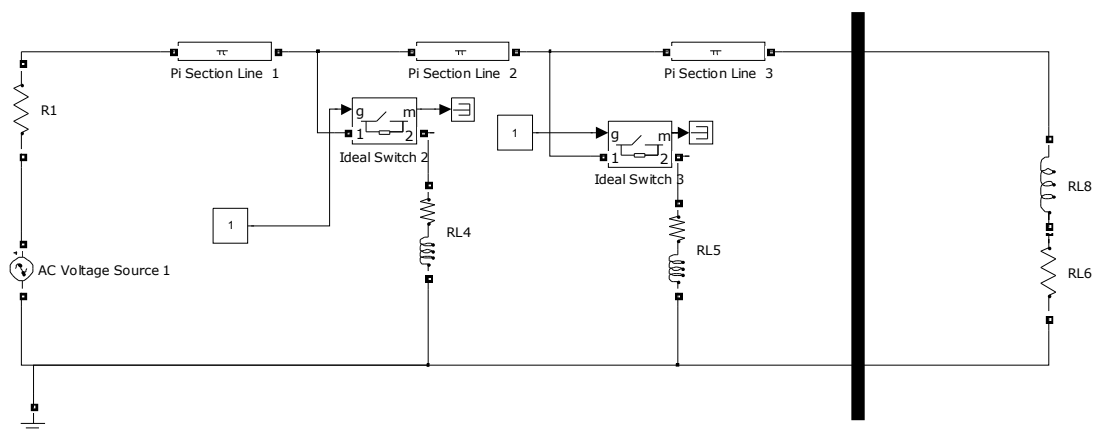


Abbildung 23: Usecase 4: Netzwerksimulation mit realer RL Last

Usecase 5:

Usecase 5 ähnelt Usecase 4, nur dass nun hardwareseitig anstatt einer Last eine Wechselrichtereinpeisung angeschlossen wird.

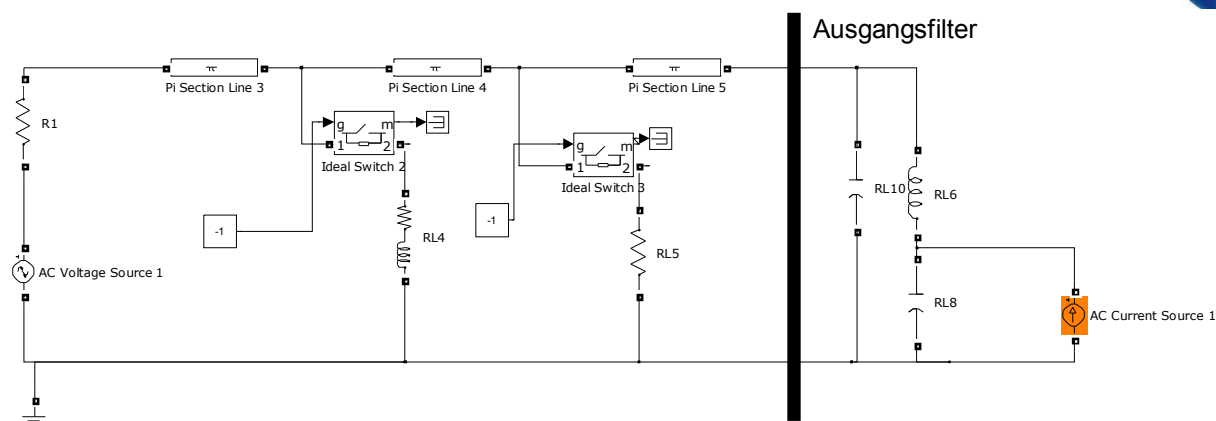


Abbildung 24: Netzwerksimulation mit dezentraler Erzeugungsanlage

Auswertung der Versuche:

Bei der Auswertung der Versuche waren zwei Kriterien wichtig, zum einen die Genauigkeit, zum anderen die Stabilität der Anordnung.

Zur Genauigkeit

Bei der Betrachtung der Genauigkeit wurde die Genauigkeit der PHIL Anordnung zum einen mit jener eines exakten Modells ohne des Einflusses des PHIL betrachtet, zum anderen wurde die PHIL Anordnung mit jener einer simulierten PHIL Anordnung verglichen.

In Abbildung 25 ist für den Usecase 4 die simulierte PHIL Anordnung dargestellt, sowie das exakte Modell des Systems:

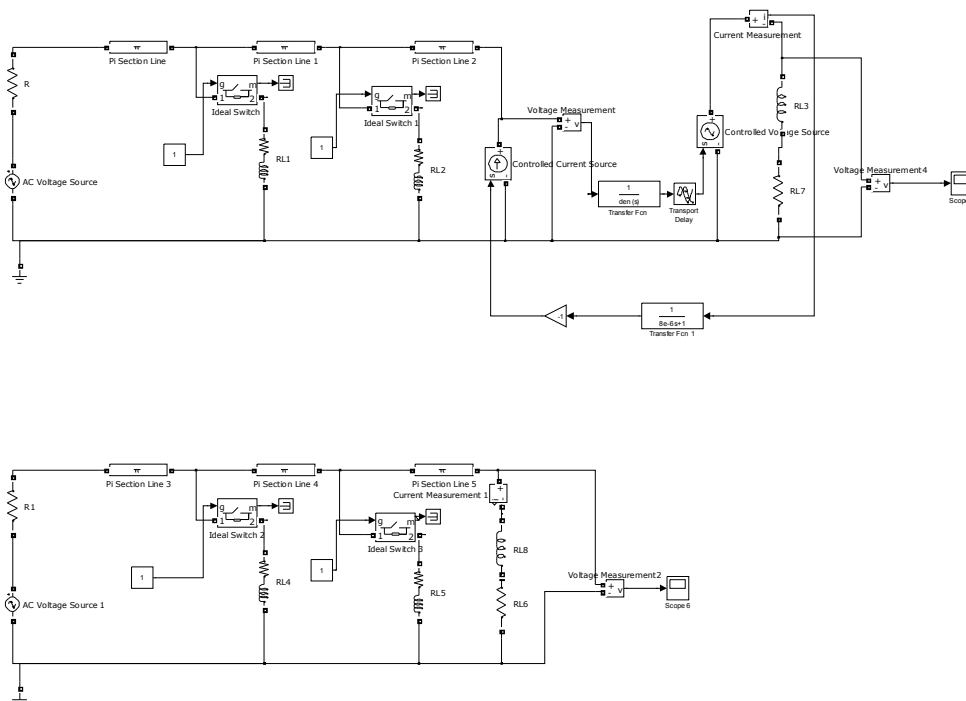


Abbildung 25: Simuliertes PHIL Modell, sowie exaktes Modell für Usecase 4

Für den Usecase 4 wurde die Ausgangsspannung der PHIL Anordnung mit dem exakten Modell verglichen (Abbildung 26):

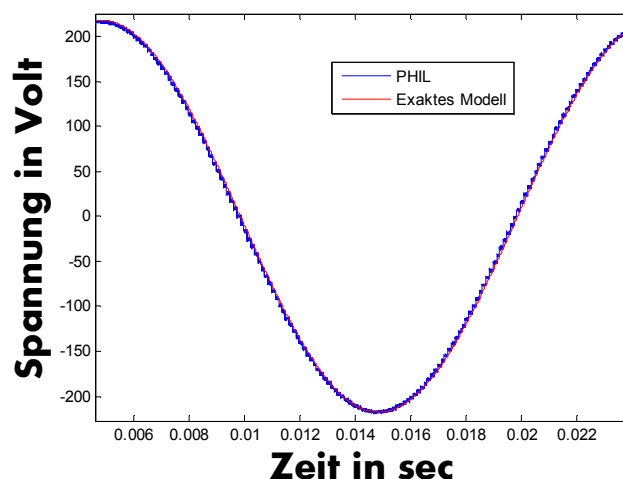


Abbildung 26: Vergleich der Ausgangsspannung von PHIL und exaktem Modell

Weiters wurde der Fehler zwischen dem simulierten PHIL System und exaktem Modell, sowie zwischen tatsächlichem PHIL System und exaktem Modell verglichen (Abb.11):

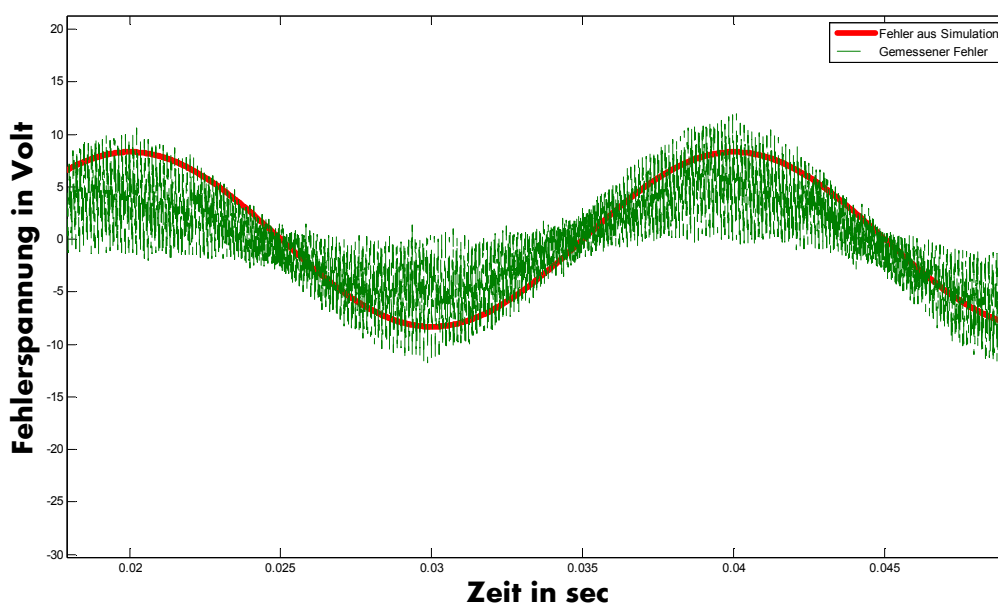


Abbildung 27: Vergleich zwischen dem Fehler aus der Simulation (rot) und dem gemessenen Fehler am Ausgang des Spannungsverstärkers (grün)

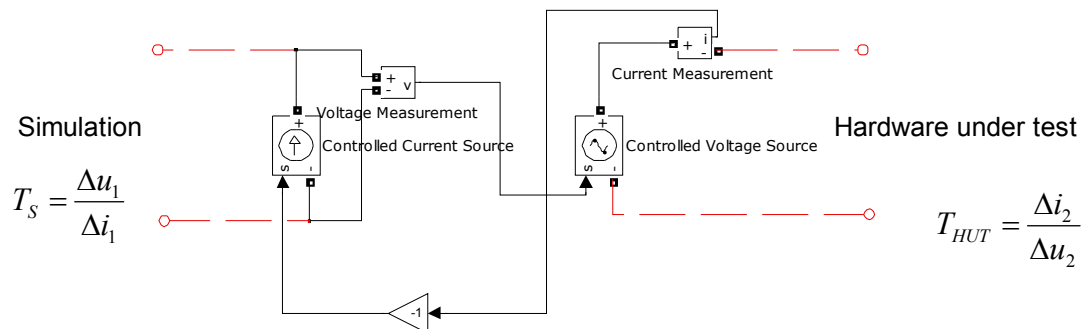
Bei allen Versuchen konnte gute Übereinstimmung zwischen simulierten PHIL und PHIL, sowie zwischen PHIL und exaktem Modell festgestellt werden. In Zukunft sollen Abschätzungen zur Rauschverstärkung verbessert werden.

Zur Stabilität:

Bei allen linearen Beschaltungen (alle außer use case 3, da es sich hierbei um ein nichtlineares Netzwerk handelt) kann die Stabilität des geschlossenen Kreises, der sich aufgrund der PHIL Simulation ergibt, mittels des Nyquist-Kriterium abgeschätzt werden.

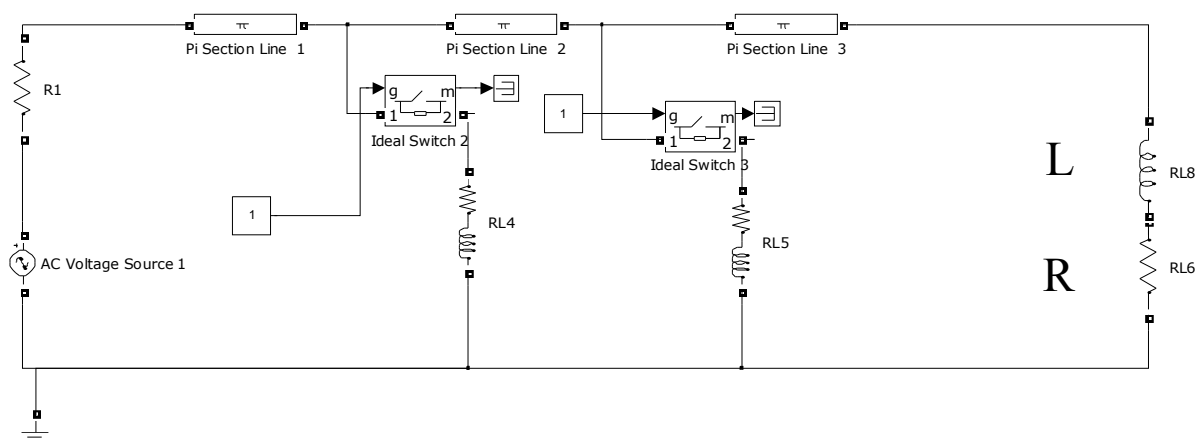
Hierzu wird die Übertragungsfunktion des offenen Kreises bestimmt:

$$-F_O = T_S T_1 T_2 T_3 T_{HUT}$$



Diese Übertragungsfunktion muss bestimmt werden und mittels Nyquistkriterium auf Stabilität überprüft werden.

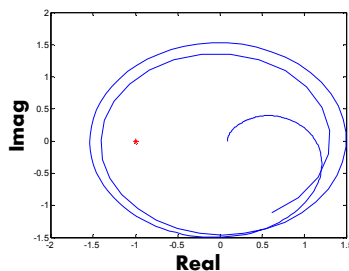
Beispielhaft sei dies für Usecase 4 gezeigt:



In Usecase 4 können die zwei Lasten jeweils hinzu- und wegschaltet werden, d.h. die Stabilität muss für alle 4 Fälle bestimmt werden.

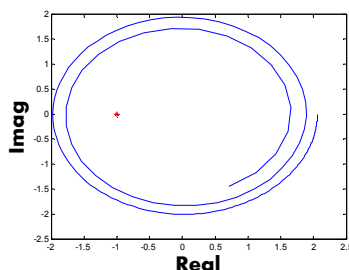
Für den folgenden Fall der Lastparameter ($R=50\Omega$, $L=1\text{mH}$) ergibt sich Instabilität:

Beide Lasten



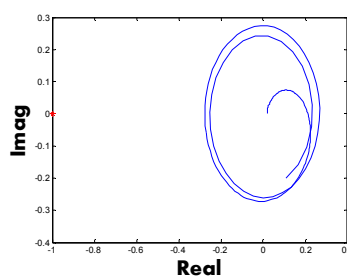
INSTABIL!!!

Keine Lasten



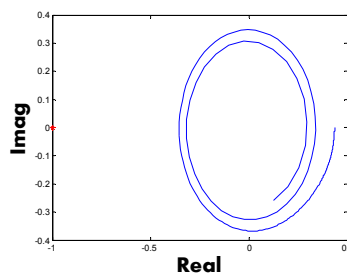
Für den folgenden Fall der Lastparameter ($R=23.7\Omega$, $L=5.6\text{mH}$) ergibt sich Stabilität:

Beide Lasten



STABIL!!!

Keine Lasten



Man kann also daraus schließen, dass bei dieser Art von Schnittstelle zwischen Hardware und Software, Stabilität im Wesentlichen durch das frequenzabhängige Impedanzverhältnis von Hardwareimpedanz zu Softwareimpedanz bestimmt wird. Stabilität kann verbessert werden, wenn zusätzliche Elemente (in der Regel eine Serienschaltung einer Induktivität) hardwareseitig eingesetzt werden. Dies kann jedoch keine Lösung des Problems sein, da zusätzliche Elemente (welche im realen System nicht vorhanden sind) die Genauigkeit der Simulation stark verfälschen. Hier müssen bessere Verfahren zum Einsatz kommen.

2.2.2.6 Weiterführende Betrachtungen zu Power Hardware-in-the-loop

Die „proof of concept“ Versuche, welche im Rahmen des SimTech Concept Projektes durchgeführt wurden, waren erfolgreich und gaben ein erstes Gefühl für das Verfahren. Es wird nun in weiterer

Folge nötig sein, die Verfahren zu verbessern. Es hat sich herausgestellt, dass sich bestimmte Impedanzverhältnisse nicht simulieren lassen, da die PHIL Simulation instabil werden würde. Hier muss geeignete Abhilfe geschaffen werden, besonders in Hinblick auf zu simulierende Fehlersituationen im Netz können ungünstige Impedanzverhältnisse auftreten. Zwei Abhilfemaßnahmen sollten im Nachfolgeprojekt konkreter untersucht werden:

- Zum einen die Möglichkeit der Wahl eines geeigneten Filters (Topologie und Parameter) im Rückwärtszweig der Anordnung; das Filter soll eine stabile Simulation ermöglichen und die Parameter so beschaffen sein, dass der Frequenzbereich, in welchem Ergebnisse mit vernünftiger Genauigkeit zu erwarten sind, möglichst groß ist.
- Zum anderen sollen die Möglichkeiten moderner Echtzeitsysteme vollkommen ausgenutzt werden, erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Multiratenfähigkeit von Echtzeitsystemen, es ist zu erwarten, dass dies geschickt ausgenutzt den Bereich, in welchem eine PHIL Simulation stabil läuft, beträchtlich erweitern kann.

Weiters hat sich herausgestellt, dass bereits viel im Vorfeld einer PHIL Simulation analytisch abgeschätzt werden kann. Dies ist sehr wichtig, da man dadurch bereits im Vorfeld Erkenntnisse gewinnen kann, über die Qualität der mit einer PHIL Simulation generierten Ergebnisse.

2.2.3 Parallele Einbindung von kleinen dezentralen Anlagen in Strom-, Wärme und Kältenetze

Bei der Konzeption zur Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) in das Verteilnetz wurde auf möglichst reale Betriebsbedingungen geachtet. Zentraler Punkt dieses Arbeitspaketes war die Modellierung der Verschaltungsstruktur, um eine Vielzahl unterschiedlicher DEA in einem Labornetzwerk einbinden zu können. Ziel war die Erstellung eines übergeordneten Anschluss- und Betriebskonzeptes für das Labornetz, bzw. die Definition von Verschaltungsmöglichkeiten und Komponenten der Netz und Leittechnik.

2.2.3.1 Anforderungen an das Netzschema

In diesem Abschnitt wurde ein Einlinien-Ersatzschaltbild der Labor-Verschaltungsstruktur erstellt, welches sich aus den Anforderungen der Komponententests und Systemanalysen ergibt:

Anforderungen aus den Komponententests	Anforderungen aus den Systemanalysen
• Dauerbetrieb einer dezentralen Erzeugungseinheit, z.B. Photovoltaik-Wechselrichter • Nachbildung des Photovoltaikgenerators mit einer steuerbaren und programmierbaren DC Quelle. • Einspeisung der umgeformten Energie in das öffentliche Niederspannungsnetz • Alternativ der Betrieb an einer steuerbaren Wechselspannungsquelle • Betrieb mit einer lokalen Last an der Erzeugungsanlage (Wirk- und Blindleistung einstellbar) • Betrieb an unterschiedlichen Netzimpedanzen (Eigenschaft des Netzes veränderbar) • Möglichkeit des Inselbetriebes mit passiven Lasten • Betrieb von elektrischen Speichern / auch in Kombination mit Erzeugungsanlagen (Hybrid)	• Betrieb von mindestens 2 Erzeugungsanlagen gleichzeitig • Schaltung von Impedanzen zwischen die Erzeugungsanlagen • Nachbildung von realer Kurzschlussleistung (oder Steifigkeit) durch Eingriff in die Spannungsregelung oder durch die Nachschaltung von Impedanzen. • Kopplung von physikalischem elektrischen Netz mit der virtuellen Simulationsumgebung über einen Spannungsverstärker und geschlossener Regelschleife • Integration der bestehenden Laborinfrastruktur (PV Inverter Laboratory) • Möglichkeit, typische Netzstrukturen zu realisieren: Ringnetz, Strahlennetz, Vermaschtes Netz (Abbildung 28)

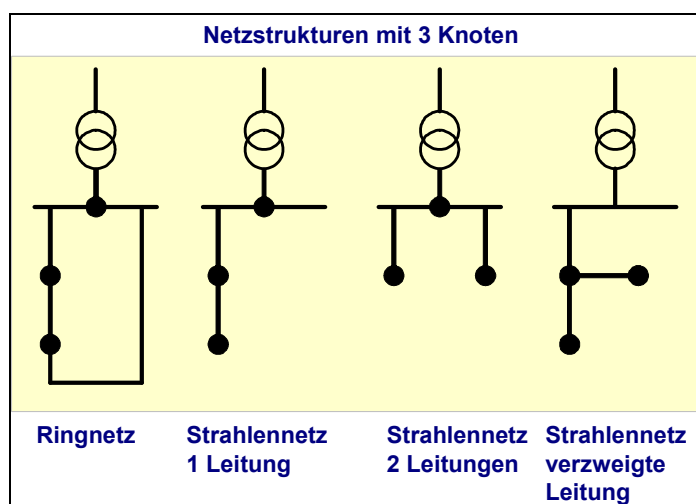


Abbildung 28: realisierbare Netzstrukturen mit 3 Knoten

2.2.3.2 Anspeisung Labornetz

Die Anspeisung des Niederspannungs-Labornetzes soll einerseits mittels Trafo über das öffentliche Mittelspannungsnetz erfolgen, andererseits soll eine steuerbare Wechselspannungs- bzw. Wechselstromquelle das vorgelagerte Netz und damit verbundene transiente Netzzustände nachgebildet werden können.

Transformator:

Als primärer Versorgungstransformator für das Versuchsnetz soll ein handelsüblicher Ortsnetztransformator mit einer Kurzschlussleistung von 1MVA (20/0,4) zum Einsatz kommen. Die Anspeisung erfolgt von der 20kV Mittelspannungsebene.

Zur Hilfsversorgung von Antrieben und Umrichtern im Versuchsaufbau wird eine zusätzliche Anspeisung, welche von der Primärversorgung getrennt ist, benötigt. Hierfür wird ebenfalls ein 1MVA Trockentrafo (20/0,4) in Erwägung gezogen.

Für den Dauerbetrieb von DEA (z.B. Umweltsimulation) ist eine ausreichend dimensionierte 50Hz-Anspeisung gut genug.

AC-Verstärker:

Für viele Fälle ist es notwendig, ein „echtes“ synthetisches Netz an den Kleinanlagen zu fahren, um reale Netzzustände genau und reproduzierbar nachzubilden:

- Einfluss von elektrischen Größen von übergeordneten Netzebenen auf das NS Netz
- Erweiterung des virtuellen Netzes mit realen Komponenten (bei hoher Dichte von DEA, Modellvalidierung - "rapid model validation")
- Leitungsgebundene EMV Prüfungen für angeschlossenen Geräte (Prüfling >30kW) z.B. IEC 61000-4-13 Oberwellen und Harmonische [7]. Tabelle 7 gibt die Anforderungen an die steuerbare AC Quelle auszugsweise wieder.
- Betrieb des Netzes mit Frequenzen ungleich 50Hz (z.B. 16,5 Hz, 60Hz, etc.)
- Spannungseinbrüche
- Spannungsschwankungen (Flicker)
- Spannungsunterbrechung
- Spannungsunsymmetrie
- Harmonische und Oberwellen
- Frequenzschwankungen

Tabelle 7: Eigenschaften und Leistungsmerkmale des Prüfgenerators [7]

Ausgangsstrom je Phase bei der Bemessungsspannung	Notwendigkeit zur Erfüllung der Anforderungen an den im Betrieb befindlichen Prüfling (en: EUT) (siehe Anmerkung 1)
Grundschiwingungsspannung: - Höhe U_1 - Frequenz - Phasenwinkel zwischen den Phasen	Nennspannung des Netzes $\pm 2\%$ einphasig Nennspannung des Netzes $\pm 2\%$ dreiphasig 50 Hz $\pm 0,5\%$ oder 60 Hz $\pm 0,5\%$ 120° $\pm 1,5^\circ$ (Sternverbindung)
Vorwählbare einzelne Oberschwingungen: - Ordnung - Höhe U_h - Bereich - Ungenauigkeit - Phasenwinkel φ_h $h = 2$ bis 9 - Ungenauigkeit der Nulldurchgangsabweichung bezogen auf die Grundschiwingung	2 bis 40 0 % bis 14 % von U_1 $\pm 5,0\%$ von U oder $\pm 0,1\%$ von U_1 , je nachdem, welcher Wert größer ist 0°, 180° (siehe auch Anmerkung 6) $\pm 2\%$ der Grundschiwingung
Kombination von Oberschwingungen:	siehe Anmerkung 3
Frequenzen zwischen den Oberschwingungen:	siehe Anmerkung 2
- Höhe U_1 - Bereich - Ungenauigkeit - Frequenz - Bereich - Schritte zur Einstellung $f = (0,33 \text{ bis } 2) \times f_1$ $f = (2 \text{ bis } 20) \times f_1$ $f > 20 \times f_1$ - maximaler Fehler des eingestellten Wertes	0 % bis 10 % von U_1 $\pm 5,0\%$ von U_h oder $\pm 0,1\%$ von U_1 , je nachdem, welcher Wert größer ist 0,33 $\times f_1$ bis 40 $\times f_1$ $= 0,1 \times f_1$ $= 0,2 \times f_1$ $= 0,5 \times f_1$ $\pm 0,5\%$ f
Ausgangs impedanz	siehe Anmerkung 4

Der steuerbare AC Leistungsverstärker wird für geringe Leistungen (ca. 100 kW) in Lineartopologie realisiert (siehe A in Abbildung 29) und für höhere Leistungen (bis 500 kW) optional mit einem Verstärker mit Pulsweitenmodulierter Schaltstufe (Switched mode power supply) (siehe B in Abbildung 29). Hierbei stehen hohe Genauigkeit, hohe Bandbreite (A) geringen Kosten, geringer Verlustleistung und Netz-Rückspeisefähigkeit (B) gegenüber. Linearverstärker sind bis zu 100 kW bereits am Markt erhältlich, geschaltete Leistungsverstärker können nur auf Basis von kommerziellen Antriebsumrichtern mit selbst entwickelten Steuerkonzepten zu einer brauchbaren steuerbaren AC – Quelle für Netzsimulationsanwendungen (in Hinblick auf Hardware-in-the-loop) modifiziert werden. Die Spezifikationen der Spannungsquelle wurden im Zuge dieses Arbeitspaketes definiert. Eine Technologierecherche und Systemsimulationen werden im Zuge einer Diplomarbeit mit dem Titel "Modellbildung und Simulation einer gesteuerten Spannungsquelle auf Wechselrichter Basis für einen Grid Emulator" durchgeführt (Siehe Abschnitt 2.2.2.4).

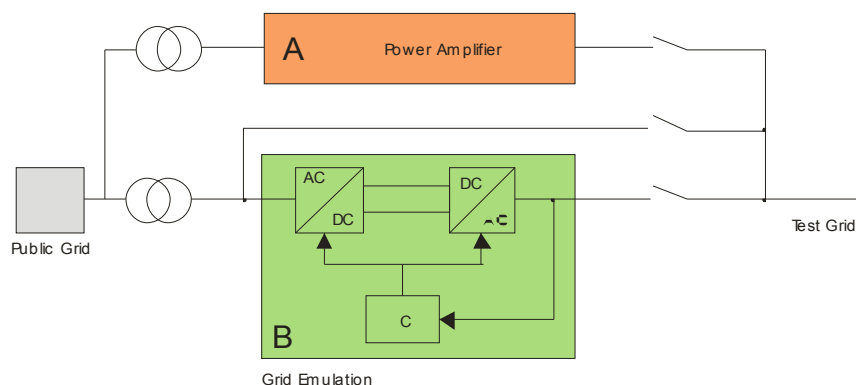


Abbildung 29: Anspeisung Labornetz

2.2.3.3 Entwurf Netzschema

Ein Einlinien-Ersatzschaltbild der Labor-Verschaltungsstruktur wurde erstellt, welches die Netzstrukturen gemäß realisieren kann (Abbildung 30). Elektrische Abzweige zu einer noch zu bestimmenden Anzahl an Prüfplätzen für Anlagen dezentraler Energietechnologien sind vorgesehen. Ohmsch-induktive Impedanzelemente können zugeschaltet werden um Leitungsnachbildungen (Netzimpedanz) zu realisieren. Diese sind als PI-Ersatzschaltung dargestellt. Passive Verbraucher sind als RLC Lasten zuschaltbar. Das Versuchsnetz wird entweder direkt vom öffentlichen Versorgungsnetz über einen Trafo oder mittels gesteuerten Wechselspannungsquellen (Sim) versorgt.

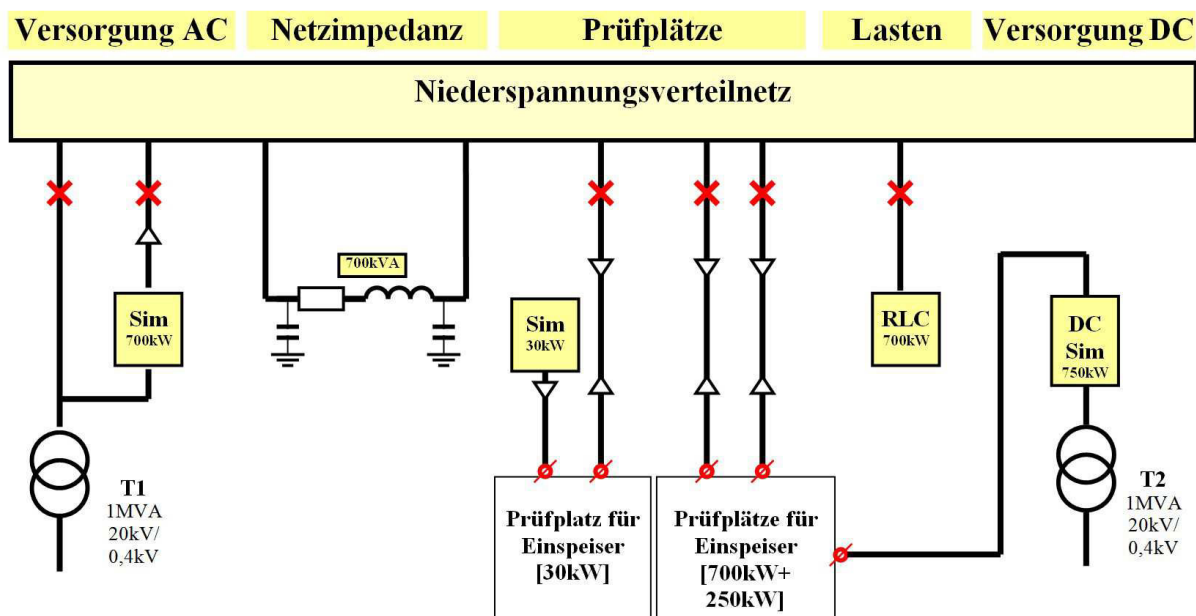


Abbildung 30: Entwurf Netzschema

2.2.4 Konzept Steuer- und Messtechnik

In diesem Arbeitspaket wurde eine geeignete Signalisierungsinfrastruktur konzipiert, die den hohen Anforderungen (in elektromagnetisch harscher Umgebung müssen hochpräzise Messdaten in hoher Frequenz mit geringer Verzögerung übertragen werden) gerecht werden kann. Weiters wurde ein Konzept zur zentralen aber auch verteilten Sammlung und Echtzeit-Weiterverarbeitung einer enorm hohen Anzahl von Messdaten erstellt.

Die Sensoren, Messwandler, Aktuatoren und Meldegeräte sollen an eine gemeinsame Automations-Businfrastruktur angebunden werden. Die Anforderungen an die Steuer- und Messtechnik ergeben sich aus dem Prüfbetrieb und den dazugehörigen Prüfscenarien wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben sind.

2.2.4.1 Anforderungen an die Messtechnik

- Flexibilität: erlaubt alle gängigen Protokolle anzubinden
- Zeitsynchronisierung aller Messdaten und Aktuaterevents
- Keine isolierten Systeme, Datenaustausch zwischen allen Teilsystemen soll möglich sein
- Fix installiertes zentrales Messsystem mit einer Mindestgenauigkeit, und einzelne dezentrales Messsysteme mit hoher Genauigkeit.
- IEC 61850 als Basis für Steuerung und Monitoring des Labornetzes (Ethernet)

2.2.4.2 Aufgaben der Messtechnik

Grundsätzlich gibt es im Labor 2 Fälle der Messerfassung

1. Waveforms, Untersuchung transienter Vorgänge: hohe Abtastrate, schnelle Signalerfassung (z.B. 1MS/s), Messwerte speicherbar, Auswertung der Messung kann offline erfolgen, einmalige Vorgänge
2. Mittelwerte, Netzzustände: möglichst genaue Messung, muss nicht schnell sein, kontinuierlich und in Echtzeit (unmittelbare Anzeige)

Folgende Parameter wurden definiert um ein Anforderungsprofil für die Mess- und Kommunikationstechnik in einer experimentellen Versuchseinrichtung für elektrische Netze und Systeme beschreiben zu können:

- Genauigkeit des Messsystems (auch der Messgeräte)
- Abtastrate
- Aufzeichnungsintervall
- Zu verwendende Zusatzmessgeräte
- Messbereiche (umschaltbar/erweiterbar)
- Erfassung von digitalen und analogen Signalen (z.B. über PC Karte)
- Anzahl der Messkanäle (U, I)
- Anzahl der in Echtzeit zu berechnenden Parameter
- Normkonforme Messfähigkeiten
- Lokale Verfügbarkeit (mobil, stationär)
- Visualisierung
- Datenleitungen
- Messprotokoll
- Messdatenspeicherung / Postprocessing
- EMV Bedingungen

2.2.4.3 Mögliche Topologien der Messtechnik

Drei Lösungen wie in Abbildung 31 abgebildet:

- (1) Messdaten erfasst und verarbeitet, werden an Steuerung über Kommunikationsleitungen weitergegeben
- (2) Messsignale für Steuerung werden über dieselben Wandler erfasst (Ressourcenteilung, Genauigkeit der Stromwandler leidet unter Doppelbelastung)
- (3) Messsignale für Steuerung werden über eigene Wandler erfasst

Variante 3 wird als flexibelste Lösung gesehen, da auch wenn die Messung nicht funktioniert das System verwendet werden kann.

Dasselbe gilt für die Echtzeit HIL Einrichtung, da die Anforderungen an die Signalerfassung verschieden sind.

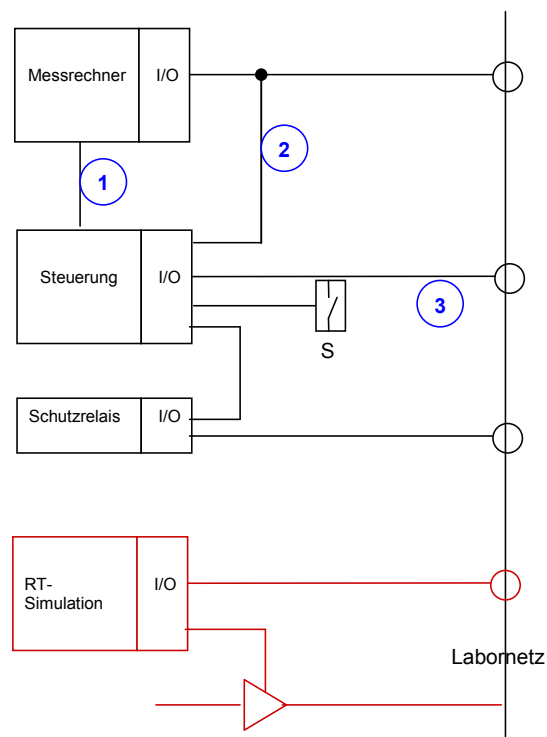


Abbildung 31: Mögliche Topologien für unterschiedliche Messdatenerfassung

Die prinzipielle IT-Herausforderung des SimTech Labors liegt daran, IT Prozesse (Simulation, Datenakquise, Visualisierung) zeitnahe und deterministisch mit einem physikalischen Prozess zu verbinden (Abb. 1). Dies erfolgt via SCADA Knoten (Leittechnik), Simulations-Knoten mit I/O, potentiell abgekoppelten Simulations-I/O Knoten und User Interfaces (Bedienung, Darstellung). Die zeitlichen Anforderungen hängen stark von der Topologie und gewählten Technologie ab (ein PCI Backbone ist natürlich schneller als ein seriell oder ein beliebiges anderes Network Interface).

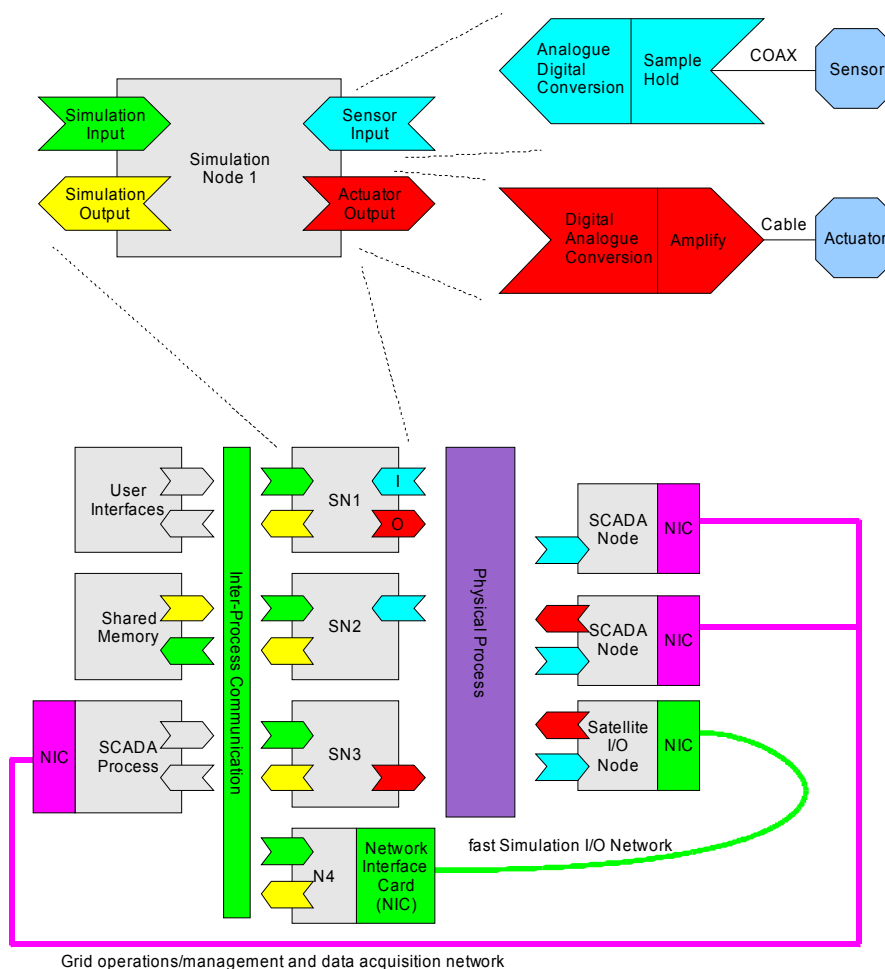


Abbildung 32: Prinzipieller Datenfluß des Simtech Systems

In der letztendlichen Ausprägung und Realisierung des Simtech Labors können beliebige Teile des Systems natürlich eine physikalische Einheit darstellen.

2.2.4.4 Mess- und Steuersignale der Echtzeitsimulation

Die Inputs und Outputs des Simulations-Hardware-in-the-loop Clusters basieren auf Knoten zur Messwertakquise und Stellgliedsetzung. Die offensichtlichen Anforderungen an diese Knoten sind Prozessnähe und Robustheit.

Prozessnähe

Je „näher“ diese Knoten am Simulationsprozess sind, desto weniger ist mit Latenzen und Durchsatzproblemen zu rechnen. Jedes dazwischen liegende Netzwerk, jeder Knoten, Verstärker, Filter oder Buffer trägt einen Teil dazu bei, dass die maximale Bandbreite des Systems sinkt.

Ein Netzwerk-vermeidender Ansatz ist es, Meß- und I/O-Knoten direkt „im System“, d.h. in der Backplane des Simulationsclusters zu platzieren. Die Signalwege zum Prozess werden dann lediglich durch Coax Kabel oder andere analoge Medien überbrückt. In den μ s Bereich kommt man mit für Kupfer normalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten erst ab 100-ten von Metern. Ein direktes Coax Kabel ist also die meßtechnisch performanteste Version, netzwerktopologisch allerdings sehr aufwändig.

Meßknoten am Prozess zu platzieren und diese mit einem Netzwerk mit dem Cluster zu verbinden ist die topologisch ästhetischere Variante, Latenzen der Switches, Treiber, Interface Karten, Protokolle, etc. limitieren aber die maximale Abtastrate beträchtlich.

Robustheit

Generell wird von Experten in diesem Gebiet (Gespräch mit Prof. Steurer Mischa Florida State University/CAPS, USA) zur Verwendung von optischen Kommunikationsmedien geraten (Glasfaser, Plastikfaser). Optische Fasern gibt es in verschiedenen Ausführungen und Technologien. Generell ist festzuhalten, dass Glasfasern in Vergleich zu POF (plastic optical fiber) höhere Datenraten erlauben und innerhalb dieser wiederum Monomode fasern längere Leitungslängen erlauben (zum Preis einer teureren Kopplung) als Multimode fasern (in Verwendung bei LANs), da bei diesen die Dispersion der Moden geringer ausfällt (Abbildung 33).

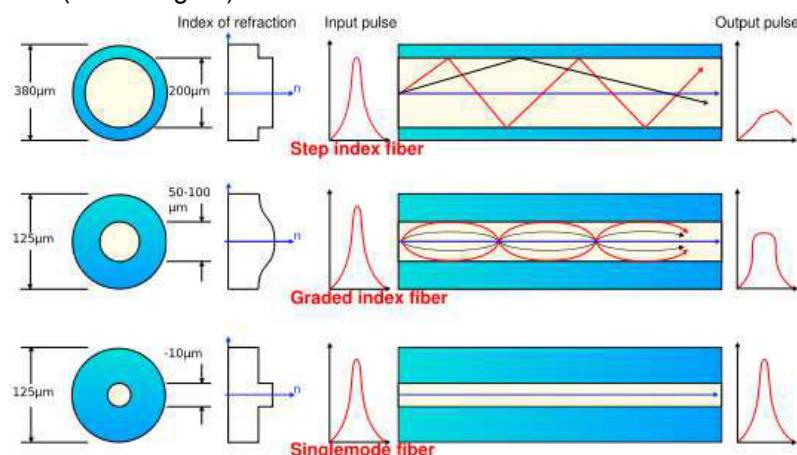


Abbildung 33: Verschiedene Arten optischer Kommunikationsmedien

Generell ist ein optisches Medium natürlich sehr robust (die EMV Problematik ist praktisch nicht vorhanden) weswegen optische Medien auch in der Industrie und sonstigen informationstechnisch/spektral rauen Umgebungen sehr beliebt ist.

Eine geschirmte, verdrehte Zweidrahtleitung (shielded twisted pair) steht dem aber – bei korrekter Verlegung – um praktisch nichts nach. Wenn Masseschleifen vermieden sind und die Schirmung, Datenrate und Kabellängen spezifikationsgemäß dimensioniert und ausgeführt sind, gelten diese Medien als sehr robust und unempfindlich.

Das Dogma des „optischen Kabels“ sollte daher bei der Auswahl des Produktes keinen Zwang darstellen. Generell wird man sich bei einem Systemanbieter ohnedies an die angebotene Kommunikationsinfrastruktur halten. Ein „Eigenbau“ ist bei Simtech nicht vorgesehen.

Die Signale des Simulationssystems bewegen sich im Bereich der 10 MS/s bzw. 50µs. Ein Netzwerk mit Linientopologie (a.k.a. Bus) mit einem geteilten Medium kommt dafür praktisch nicht in Frage. Um den Arbitrierungsaufwand des Mediums zu eliminieren, können nur Punkt-zu-Punkt Medien verwendet werden. Auch die in Serie verwendeten Verstärker, Sample-Hold-Schaltungen (S/H), Analog-Digital Konverter (ADC)

Wenn eine verteilte Architektur bei den geforderten Sample raten angestrebt wird, ist Zeitsynchronisation zu einem kritischen Aspekt. Verteilte Uhren können über spezielle Protokolle, dedizierte Leitungen oder Alternativkanäle (GPS, Funk, etc.) synchronisiert werden. Je nach Genauigkeit der Synchronisation fallen diverse Protokolle (NTP oder das modernere IEEE 1588, etc.) aus, da diese Beschränkungen unterliegen. Hardware-unterstützte Protokolle bei denen z.B. spezielle Ethernet-Interfaces verwendet werden, gehen einen Schritt weiter und erlauben weitere Genauigkeitsverbesserungen.

Die Abschätzung der Simulationsgrenzen (zeitliche Auflösung im Verbund mit HIL) erfordert die Bewertung der gesamten Wirkungskette vom Sensor bis zum Aktuator (Abbildung 34).

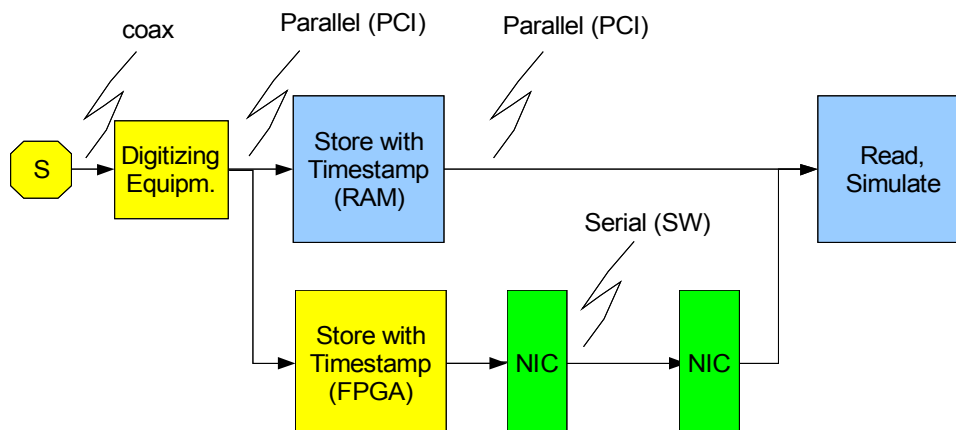


Abbildung 34: Datenfluss anhand eines Sensors

Jeder ADC, jede Sample-Hold-Schaltung, jeder Treiber, etc. trägt einen Teil zur Latenz bei und muss daher von seinen worst-case Werten her berücksichtigt werden.

2.2.4.5 Beispiel OPAL RT Kommunikations-Infrastruktur

OPAL RT besteht aus dem eigentlichen Simulationscluster, ein skalierbares System, verbunden via einen 20MBit/s INFINIBAND Switch. Der Switch ist nicht-blockierend und dient als cluster backplane (Abbildung 35). Der Vorteil von Ethernet im Vergleich zu einer „traditionellen“ Backplane wie PCI ist, dass die Clusterknoten eine gewisse Distanz voneinander haben können. Dieser Umstand – verbunden mit der im Folgenden beschriebenen HIL-Box – ermöglicht flexible Systemtopologien.

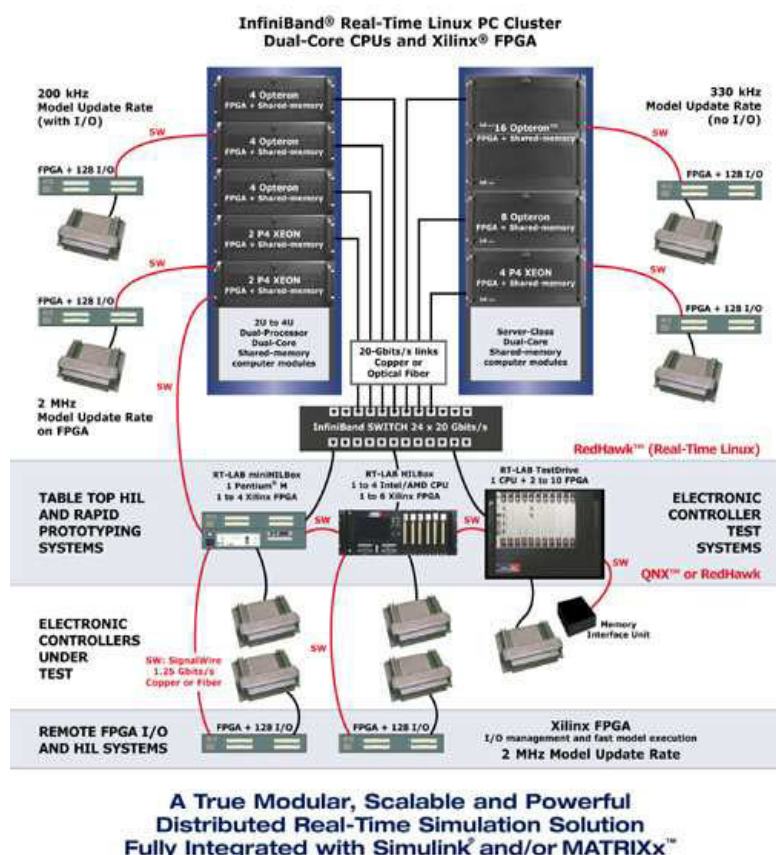


Abbildung 35: Topologie des OPAL RT Systems

Die PHIL I/O erfolgt durch eine sogenannte HIL Box, die über das proprietäre „SignalWire“ (SW) an einen Clusterknoten angeschlossen ist. Die HIL Box erschließt den Prozess mittels ADC/DAC (digital/analog Umwandlung) und herkömmlicher Analogverkabelung (Coax) der Sensoren.

SignalWire basiert auf IEEE 1394 (im Multimedia Sektor bekannt als FireWire oder i.Link), und hat dieses auf die Speziellen Anforderungen im HIL Cluster hin optimiert: Das Protokoll wurde optimiert (abgespeckt) sowie die Latenz verringert (ein wichtiges Kriterium für HIL Hardware). SW verwendet den Standard IEEE1394b Beta Stecker und erlaubt keine optischen Fasern als Medium (lediglich Kupfer ist in Verwendung). Die maximale Kabellänge ist daher auf 1,5 Meter beschränkt. Dieses Manko kann im Fall von OPAL RT durch die gezielte Platzierung der Clusterknoten (ermöglicht durch Ethernet als Backplane) entschärft werden: Der Knoten der die PHIL I/Os erfasst muss folglich näher beim „Prozess“ (d.h. Equipment under Test, Komponente, Sensor, etc.) sein (Abbildung 36).

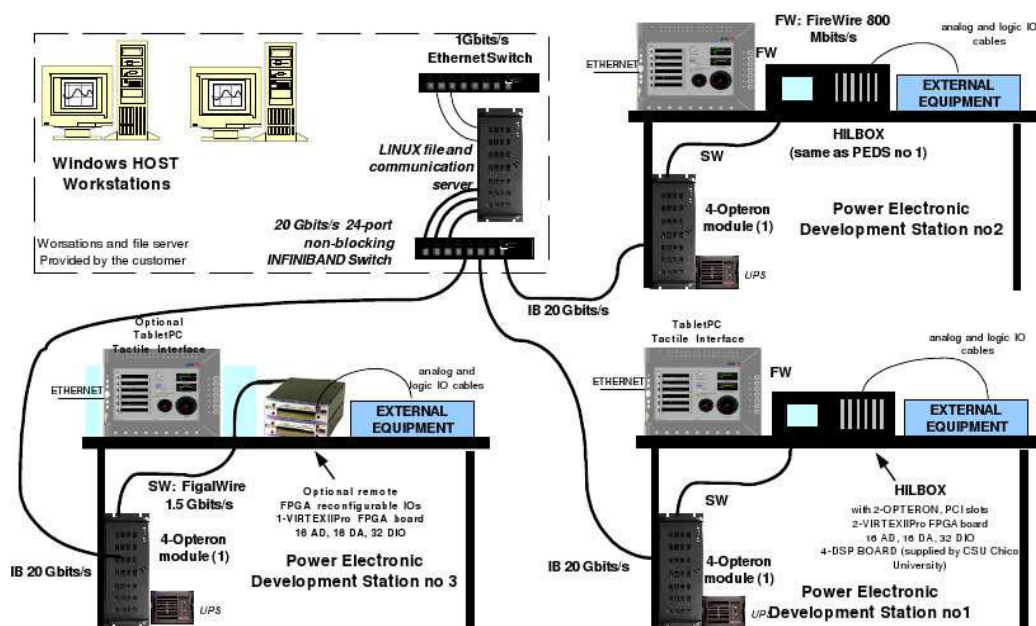


Abbildung 36: OPAL RT Cluster Komponenten

Die Datenrate von SignalWire beträgt 2x600Mbit/s, bei geschätzten 1024 Bit Rahmenlänge ergibt das eine Paketdauer von 1,7µs, was im Rahmen der gesetzten Ziele liegt. Die geforderte Rechengenauigkeit von 50µs ist ebenfalls erfüllbar, vorausgesetzt man dimensioniert den Cluster entsprechend (Abbildung 37).

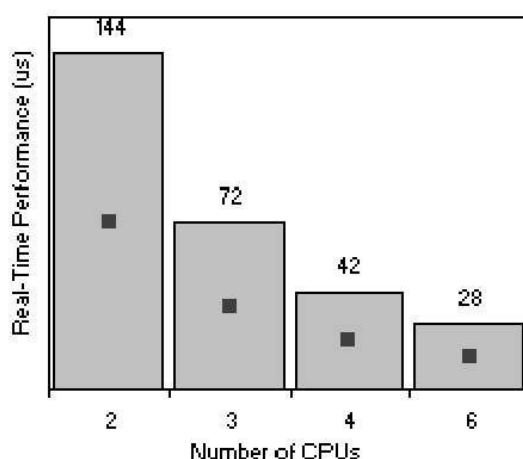


Abbildung 37: Steigerung der Performance durch Erhöhung der Clusterknoten-Anzahl

2.2.4.6 Messtechnik für RMS Messungen und Erfassung des Netzzustandes

Erfasst werden on-line RMS Werte des Systems und seiner Variablen (Ströme, Spannungen, Schalterzustände, etc.). On-line bedeutet hier einen kontinuierlichen Datenstrom von Messwerten mit Abtastraten im Bereich Millisekunden bis Sekunden. Augenmerk liegt hier auf Genauigkeit. Der Klassiker für diese „Instrumentalisierung“ wäre der GPIB (general purpose instrumentation bus).

Neue Entwicklungen gehen in Richtung Ethernet, ähnlich wie bei Industrial Ethernet (die Anwendung in Automatisierungsaufgaben und der Regelungstechnik) wird Ethernet dabei optimiert. Hierfür müssen im Allgemeinen spezielle Switches verwendet werden, die Verkabelung ist aber ähnlich der eines Office-Netzwerks.

GPIB im Vergleich zu Ethernet ist aber keineswegs veraltet. Im Aspekt der Latenzzeit ist er sogar überlegen, was sich bei kurzen Befehlen auswirkt (Abbildung 38). GPIB hat optimierte (kürzere) Pakete, aber natürlich geringeren Durchsatz.

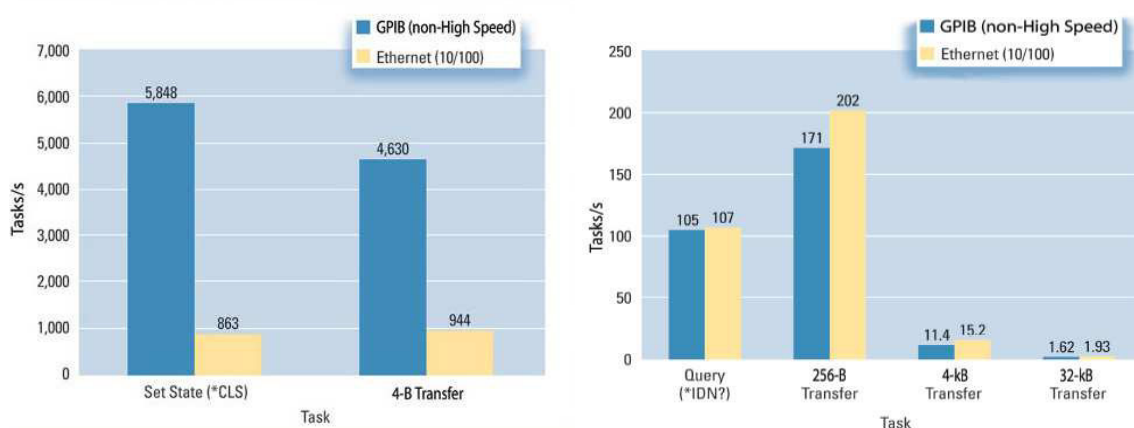


Abbildung 38: GPIB vs. Ethernet

Für Details sei auf [8] verwiesen wo verschiedene Messnetze verglichen werden.

Generell ist zu erwarten, dass GPIB für Simtech relevant ist, da auch die Produktvielfalt viel größer ist. GPIB over Ethernet, eine eher seltsam anmutende Kombination, ist für unkritische Messaufgaben eine gute Alternative, man vereint die Produktvielfalt des GPIB mit dem Wiederverwenden existierender Kommunikationsinfrastruktur: für Modbus over Ethernet, IEC 61850, etc. wird eine durchgängige Ethernet Verkabelung des Simtech Labors nötig sein.

Ethernet stellt ein relativ produktunabhängiges Medium dar, das vor allem in einem Forschungslabor die erforderliche Flexibilität aufweist. Es ist absehbar, dass mittelfristig verschiedenste Produkte und Technologien zur Messwerterfassung wie auch für die Leittechnik eingesetzt werden. Einerseits weil individuelle Messgeräte nicht das bisherig verwendete Kommunikationsinterface aufweisen, andererseits, weil neue Leittechnik-Komponenten das „component under test“ darstellen können und mit ihrem eigenen Interface angesprochen werden müssen. Die Standard Ethernet Verkabelung deckt dabei viele Trends ab, es ist aber empfehlenswert, die Kabelkanäle der Kommunikationsinfrastruktur stark überzudimensionieren, sowie mehrere CAT7 Kabel zu verlegen da diese auch für nicht-Ethernet Signale verwendet werden können. Die Kabelkanäle sowie die Switches müssen gut zugänglich sein, um Änderungen leicht vornehmen zu können. IEC 61850 verlangt mindestens 100MBit Verkabelung, es ist zu empfehlen mindestens eine Gigabit Infrastruktur vorzusehen.

Teil der Kabelkanäle können auch 1 oder mehrere Coax-Kabel sein, die über eine Coax-Switchbox manuell verschaltet werden können. Damit kann man analoge Signale im Labor verteilen.

Allgemeine Aspekte

Im System ist, auch bei der weitgehenden Verwendung etablierter Gesamtlösungen, mit sogenannter „glue logic“ zu rechnen. Damit ist Software (mitunter auch Hardware bzw. embedded systems) gemeint, die Systemübergänge realisieren. Ein Beispiel wäre ein Treiber um GPIB over Ethernet (Abb. 10) in einer speziellen Software zu verwenden. National Instruments hat einen solchen verfügbar, andere Messgeräte und Messwandler die verwendet werden soll aber unter Umständen nicht.

Abb. 10: Typische GPIB over Ethernet Produkte, Kosten ca. \$200

Weitere Beispiele sind Datendrehscheiben für Co-Simulation, Zeitsynchronisierung und dergleichen.

2.2.4.7 Anforderungen an die Steuerungs- und Leittechnik

Um das SimTech Labor steuern zu können ist ein System erforderlich, welches Überwachung, Steuerung und Datenerfassung ermöglicht. Dieser beschreibt die dafür geeigneten so genannte SCADA-Systeme (*supervisory control and data acquisition*), dessen Möglichkeiten und die Anforderungen der Anwendung im SimTech Labor an derartige Systeme.

- Bedienung von zentraler Schaltwarte
- Dezentrale Bedienung der Prüfplätze (nur Freischaltung)
- SCADA System? Konfigurierbare computergestützte Benutzerschnittstellen zur Prozessvisualisierung
- Eigener Kommunikationskanal für Steuerung und Leittechnik.

2.2.4.8 Aufgaben der Steuerungs- und Leittechnik

- Steuern der Schalter
- Überwachen der Schaltzustände
- Gegenseitige Verriegelung
- On load switching? Lastschalter/Lasttrenner

2.2.4.9 Prinzip der Leittechnik

SCADA bedeutet *supervisory control and data acquisition* und unter das wird das Konzept zur Überwachung und Steuerung technischer Prozesse verstanden (Abbildung 39).

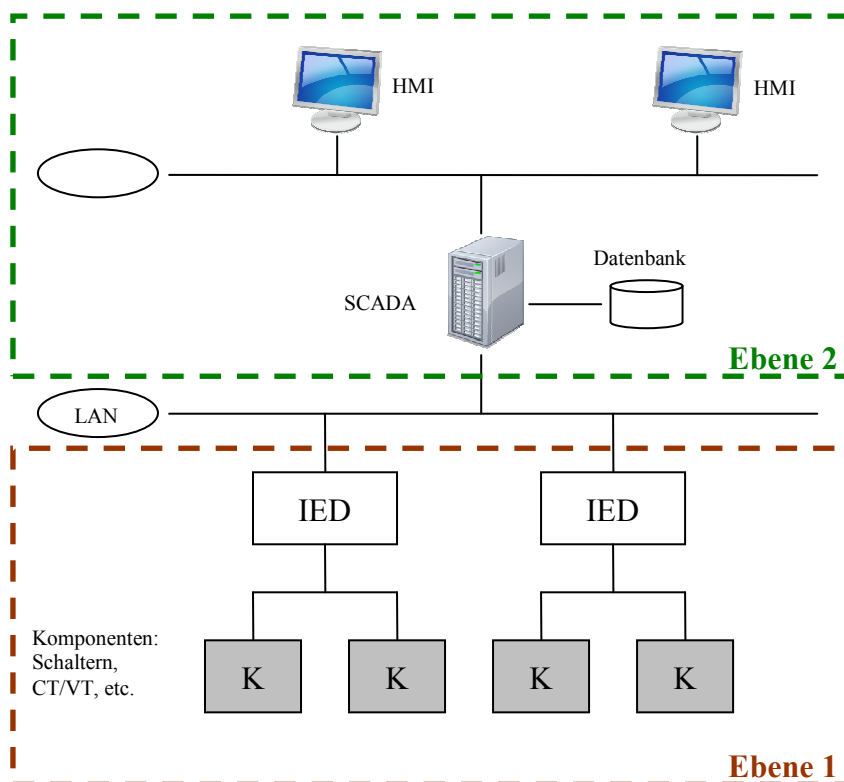


Abbildung 39: Das Prinzip eines SCADA-Systems

Die Steuerung eines technischen Prozesses wird auf mehrere Ebenen ausgeführt. Auf der Ebene 1, die prozessnahe Ebene, wird der Regelung durch Fernbedienungsterminals (RTUs), Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder Intelligent Electronic Devices (IEDs) durchgeführt. IEDs können Messgeräte oder Regler sein. Dieser Regelung wird oft automatisch ausgeführt. Ein SCADA-System wird aber auf eine höhere Ebene eingesetzt, Ebene 2 in Abbildung 39, und hat als Aufgabe die Automation der niedrigen Ebene zu optimieren sowie Stellgrößen und Sollwerte auszugeben.

Messaufzeichnung und Steuerung

Die Terminologie Datenpunkte wird oft im Zusammenhang mit SCADA-Systeme verwendet. Datenpunkte entsprechen Messpunkten oder Regelpunkten. Ein Messpunkt kann z.B. eine Strom- oder Spannungsmessung im System sein und ein Regelpunkt kann z.B. ein ferngesteuerter Schalter sein. In SCADA-Systeme ist es möglich diese Datenpunkte so zu kombinieren, dass z.B. ein Schalter aktiviert wird, falls eine Spannungsmessung zu hoch ist.

Visualisierung vom Prozess

Viele SCADA-Systeme bieten auch die Möglichkeit einer Visualisierung des Prozesses. Ein Modell vom Prozess wird graphisch im Rechner aufgezeichnet und die verschiedenen Datenpunkte des Systems können mit Bildern verknüpft werden. Ein Beispiel ist eine Temperaturmessung die mit einem Bild eines Thermometers gekoppelt wird. Auf dieser Weise kann ein Messpunkt nicht nur mit einem Namen sondern auch graphisch dargestellt werden. Die Behebung von Fehlern wird auch einfacher, weil der Betreiber immer weiß, wo im System ein Fehler aufgetreten ist.

2.2.4.10 Gängige Protokolle

Bei der Realisierung von SCADA-Systemen ist die Wahl des Kommunikationsprotokolls wichtig. Es ist wichtig die Schnittstelle zwischen den Komponenten so früh wie möglich zu definieren und damit viele Probleme schon vor der Installation des Systems zu vermeiden.

Tabelle 8: Überblick über die für SimTech relevanten Kommunikationsprotokollen

Eigenschaft	IEC 61850	IEC 60870-5-101	IEC 60870-5-104	IEC 60870-5-103	OPC	ModBus	M-Bus	IEC 60870-5-102	GPB (IEEE 488, IEC 625)
Beschreibung	Objekt-orientiertes Protokoll für Schutz- und Leittechnik	Punkt-Zu-Punkt Fernwirkprotokoll	Netzwerk-Fernwirkprotokoll	Schutz-Geräte-Kommunikation	Middleware zur PC-Anbindung von Feldprotokollen	Feldbus für Industrieautomation	Feldbus für Verbrauchsdatenerfassung	Zählwert-erfassung und Übertragung	Bus für Messgeräte und Peripheriegeräte
Übertragung über	Ethernet und andere	RS232 (V.24)	Ethernet und andere	RS485, RS232, Fibre Optics	Middleware	RS232, RS485, TCP/IP	serielle Zweidrahtleitung	RS232 (V.24)	eigener 8-Bit-Parallelbus
Anwendungsgebiet	breit, Schutz- und Leittechnik, HS, MS	Leittechnik und Automatisierung	Leittechnik und Automatisierung	Schutz	Leittechnik-PC-Anbindung	Geräteintegration in Leittechnik/SCADA	Zähldaten-erfassung	Zähldaten-erfassung	Messdaten-erfassung
Durchsatz bestimmt durch	Medium	RS232	Ethernet	RS232	Schwächster Link zum Gerät	RS232 oder Ethernet	9600 baud	9600 baud	bis 1 MByte/s
Festes Medium	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
TCP/IP vorgesehen	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Konverter vorhanden	Nein	Konverter Vorhanden

Abbildung 40: Typische Einsatzbereiche der für SimTech relevanten Kommunikationsprotokollen

Da die meisten in Frage kommenden Protokolle TCP/IP als mögliches Transportmedium vorsehen, oder entsprechende Konvertierungen möglich sind, ist es empfehlenswert, ein Ethernet-Backbone-Netzwerk mit Industrie-Standard-Komponenten vorzusehen.

Ein Protokoll das in fast jeder Realisation eines SCADA-Systems in Energiebereich verwendet wird ist das IEC 61850 Protokoll. Deswegen ist es wichtig, dass das SimTech Labor auch IEC 61850 unterstützt.

IEC 61850

Die Anwendung der IEC 61850 Norm (Communication networks and systems in substations) in elektrischen Netzen ist ein wachsender Trend im Energiebereich. Im Zentrum von IEC 61850 steht die Interoperabilität. Das heißt, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller nicht nur mit der IEC 61850 Norm kompatibel sein sollen sondern auch miteinander dialogfähig sein. Mit jedem Messwert wird so genannte Metainformation mit übertragen. Die Metainformation beschreibt woher der Messwert kommt (Hersteller, Name des Geräts, Einheit etc.) und wann der Messwert gemessen worden ist. Diese Metainformation ist sehr wichtig wenn Geräte von verschiedenen Herstellern miteinander kommunizieren sollen. Es ist z.B. für eine Berechnung mit Temperaturen ein großer Unterschied ob eine Temperatur in Celsius oder in Fahrenheit gemessen ist. Mehr Information gibt es in [9].

Die Normenreihe IEC 61850 "Communication networks and systems for power utility Automation" ist die global anerkannte, einheitliche Integrationslösung für die Automatisierung in der elektrischen Energieversorgung. Sie definiert im Wesentlichen:

- Informationsmodelle (Ströme und Spannungen in Dreiphasen-Systemen, Leistungsschalter, ...)
- Services für den Informations-Austausch (Ereignisübertragung, Archive, Steuern, Echtzeit, ...)
- System-Konfigurationssprache (Konfiguration einer gesamten Anlage)

Mittlerweile wird die Norm in Transport- und Verteilnetzen, in Windenergieanlagen, in Wasserkraftwerken und dezentralen Energieversorgungssystemen eingesetzt.

Die durchgängige "Vernetzung" von Produktions- und Energieversorgungsprozessen mit IEC 61850 senkt die Kosten der Automatisierung und hilft, Energie effizient zu nutzen!

IEC 61850 basiert weitgehend auf Ethernet mit einer Mindestbitrate von 100 MBit/s. Der Standard definiert mehrere Dienste, von denen manche „langsamen“ best-effort Transport von unkritischen Informationen darstellen (MMS/IP), andere Dienste greifen direkt auf den MAC Layer zu und bieten echtzeitfähige Kommandos und Alarmmeldungen.

Voraussetzung für diese „Veredelung“ von Ethernet ist die Verwendung spezieller Hardware, im Speziellen Switches, die den Transport der Echtzeit-Nachrichten bewerkstelligen (ein Detail, das in jeder „Industrial Ethernet“ Technologie zu finden ist). Manche Hersteller bieten spezielle „rugged switches“ an, die für den Einsatz in Umspannwerken zertifiziert sind (Abbildung 41). Es ist daher festzuhalten, dass für die Leittechnik-Infrastruktur im SimTech Labor Ethernet vorzuziehen ist.

Abbildung 41: Ein „Rugged“ IEC 61850 Switch

OPC

OPC ist ein Standard zur unabhängigen Kommunikation zwischen Geräten verschiedener Hersteller. Der Standard basiert auf OLE, COM und DCOM Technologien von Microsoft, weshalb diese Lösungen fast ausschließlich auf Betriebssystemen von Microsoft funktionieren. OPC ist eine weit verbreitete Norm im Automationsbereich und viele Hersteller stellen einen OPC Treiber zur Verfügung (Abbildung 42). Diese Treiber funktionieren als Schnittstelle zwischen dem proprietären Protokoll des Herstellers und dem OPC Protokoll.

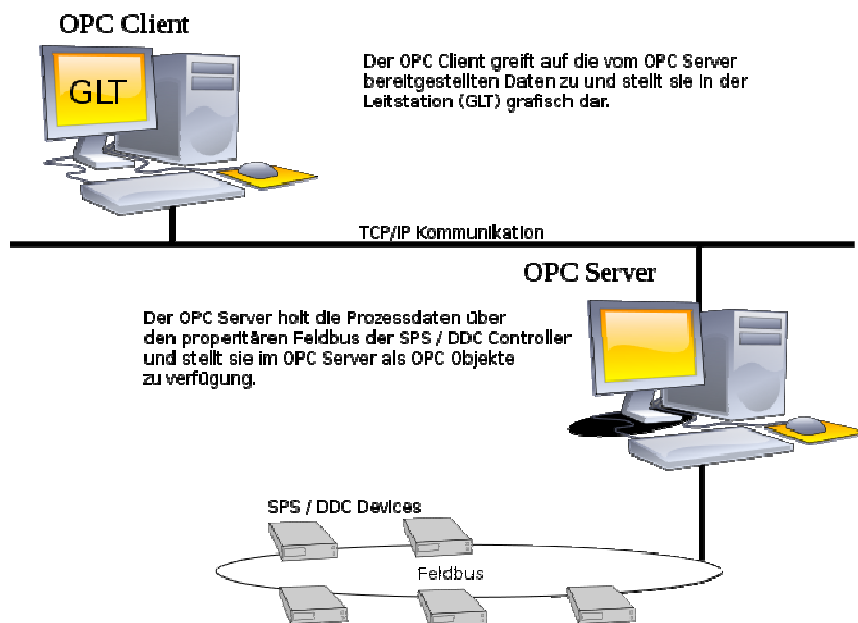


Abbildung 42: Einsatz von OPC in einem System

2.2.4.11 Topologie eines SCADA-Systems

Es gibt viele Möglichkeiten ein SCADA-System zu implementieren. Ausgehend davon, dass IEC 61850 als Protokoll verwendet werden soll, werden untenstehend drei Möglichkeiten präsentiert. Weiterführende Informationen gibt es in [10].

Zentralisierte Topologie

In einer zentralisierten Topologie wird die gesamte Kommunikation zwischen der SCADA-Software und den IEDs durch eine lokale Steuerzentrale abgewickelt (Abbildung 43). Hier wird zwischen der SCADA-Software und der lokalen Steuerzentrale die Protokolle des IEC 61850 verwendet, zwischen der Steuerzentrale und den IEDs werden proprietäre Protokolle verwendet.

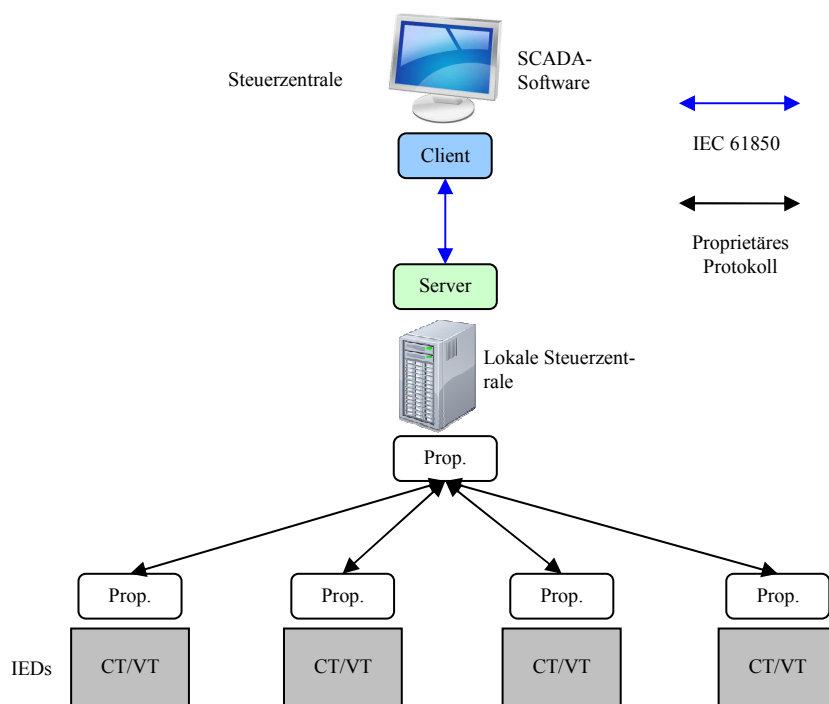


Abbildung 43: Zentralisierte Topologie

Diese Topologie ist von Vorteil wenn Komponenten mit proprietären Protokollen bereits vorhanden sind. Hier muss nur die lokale Steuerzentrale und die SCADA-Software mit einer IEC 61850 Realisierung hinzugefügt werden. Die IEDs können mit ihren alten Protokollen weiterlaufen. Der Nachteil ist, dass die lokale Steuerzentrale schnell genug sein muss um alle Daten behandeln zu können. Ein weiterer Nachteil ist, dass kein direkter Zugriff von der Steuerzentrale auf die IEDs möglich ist. Im Falle eines Fehlers in der lokalen Steuerzentrale ist die Konsequenz, dass das System nicht mehr funktioniert.

Gemischte Topologie

In eine gemischte Topologie wird die zentralisierte Topologie (wie oben beschrieben) mit einer direkten Kommunikation (die SCADA-Software kommuniziert direkt mit den IEDs) gemischt (Abbildung 44). Hier wird IEC 61850, auch für die direkte Kommunikation zwischen der SCADA-Software und den IEDs verwendet. Ein Teil der IEDs kommuniziert mit der Steuerzentrale auch mittels IEC 61850. Diese Topologie bietet generell erweiterte Möglichkeiten. Die Nachteile sind, dass mehrere Interfaces von der SCADA-Software notwendig sind und dass die lokale Steuerzentrale immer noch eine Schwachstelle darstellt ist.

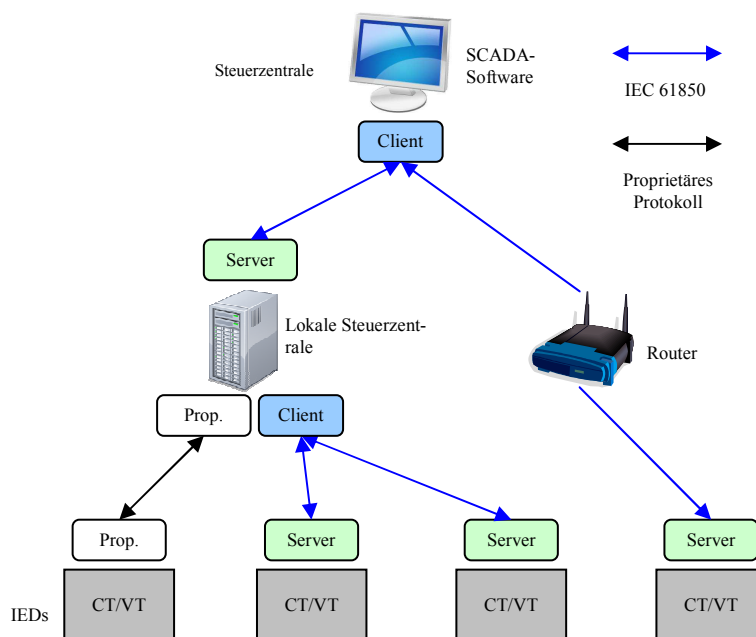


Abbildung 44: Gemischte Topologie

Nahtlose Topologie

Um die Nachteile von den gemischten Topologien zu vermeiden, kann eine nahtlose Topologie verwendet werden (Abbildung 45). Falls ein IED defekt werden sollte, können die anderen IEDs immer noch untereinander und mit der Steuerzentrale kommunizieren. Lokale Steuerzentralen können in dieser Topologie als Protokollkonverter oder als Berechnungszentralen für Filterung und Aufarbeitung der Daten von den IEDs verwendet werden. Wenn ein auf IEC 61850 basierendes System neu entwickelt wird, ist eine nahtlose Topologie zu empfehlen.

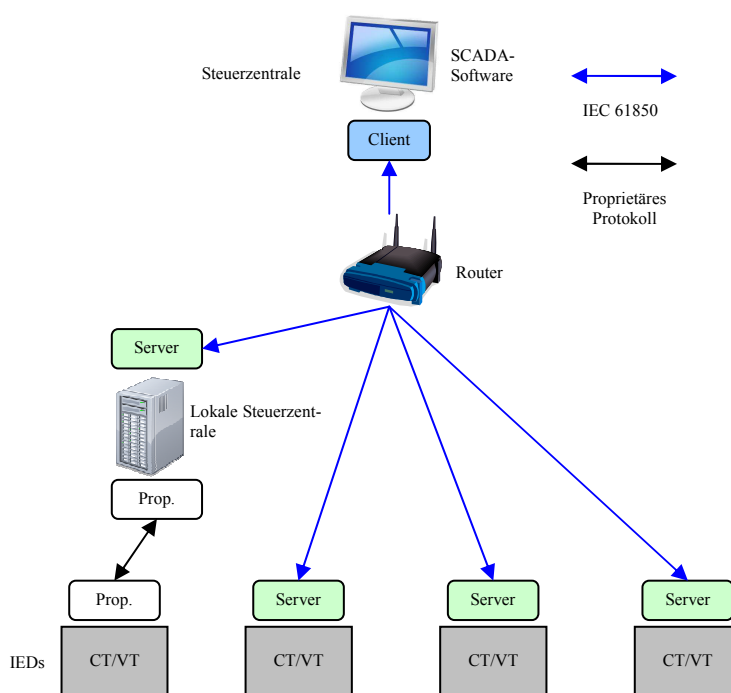


Abbildung 45: Nahtlose Topologie

2.2.4.12 Messwerte mit Zeitstempel

Erfassung von Zeitstempeln

In einem SCADA-System, mit einer nahtlosen oder gemischten Topologie wo IEDs mit verschiedenen Eigenschaften zusammenarbeiten, ist es wichtig, dass die Zeitinformationen auf der gleichen Ebene erfasst werden. Wenn die Zeitstempeln, wie in Abbildung 46 erfasst werden, wird es schwierig die Daten nach der Messung zu verarbeiten, weil die Daten unterschiedliche Zeitstempel haben.

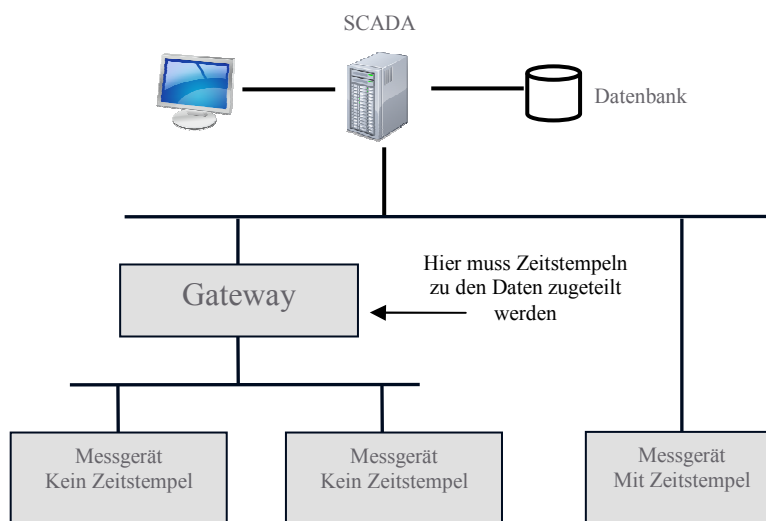


Abbildung 46: Erfassung von Zeitstempeln auf verschiedenen Ebenen

Zeitsynchronisation

Ein wichtiger Teil in einem SCADA-System ist daher die Zeitsynchronisation. Wenn die Messgeräte im System verschiedene Zeiteinstellungen haben werden auch verschiedene Zeiten an die Messwerte angehängt, was auch einen Vergleich der Messwerte unmöglich macht. Ein System für Zeitsynchronisation kann unterschiedlich implementiert werden. Eine Möglichkeit ist ein lokaler Network Time Protocol (NTP) Server mit dem sich die Steuerzentralen und die IEDs synchronisieren können. Der lokale NTP-Server wird mit einem externen NTP-Server (Internet) synchronisiert. Mit NTPv4 ist es möglich Genauigkeiten bis zu 10 Millisekunden über das Internet zu erreichen und bis zu 200 Mikrosekunden übers LAN. Eine weitere Möglichkeit ist eine Zeitsynchronisation nach dem Berkeley-Algorithmus wo ein Master die Slaves nach ihrer Uhrzeit abfragt. Der Master berechnet dann von den Uhrzeiten der Slaves und seiner eigenen Uhrzeit einen Mittelwert aus. Dieser Mittelwert wird dann als die neue Uhrzeit angenommen und wird zu den Slaves durch ein Inkrement oder ein Dekrement in Zeit übermittelt. Versuche mit dem Berkeley-Algorithmus haben gezeigt, dass Genauigkeiten bis zu 20-25 Millisekunden erreicht werden können. Eine dritte Möglichkeit wäre eine Zeitsynchronisation mittels eigenem Kabel zur Zeitsynchronisation z.B. IRIG-B anstatt über Ethernet-Kabel.

2.2.4.13 SCADA-Software

Kommerzielle SCADA-Software gibt es sehr viele und die meisten unterstützen mehrere Übertragungsprotokolle. Es gibt auch Open Source SCADA-Software, welche nicht so umfangreich sind wie die kommerziellen Produkte aber den Vorteil besitzen, dass diese dem Benutzer die volle Kontrolle

überlassen. Die in den folgenden Abschnitten erläuterten Softwareprodukte für SCADA Anwendungen sind mit Ausnahme des Open Source Produktes Mango – M2M alle kommerziell verfügbare Produkte.

Mango – M2M

Mango M2M (Machine to Machine) ist eine Open Source SCADA-Software. Mango ist in Java geschrieben und läuft als ein Servlet auf einem Application Server wie z.B. Tomcat. Das heißt, dass es möglich ist durch den Webbrowser auf Mango zuzugreifen. Das Programm ist mit Protokollen wie z.B. Modbus und BacNet kompatibel. Es ist außerdem möglich, Mango so zu erweitern um Kompatibilität zu anderen Protokolle herzustellen. Mango bietet auch einige Tools für die Visualisierung von Prozessen und besitzt eine integrierte Datenbank. Es ist auch möglich eine externe SQL-Datenbank zu verwenden.

Siemens – SICAM PAS

Siemens bietet für Automation von Umspannwerken das Produkt SICAM PAS an. SICAM PAS unterstützt viele Protokolle wie z.B. IEC 61850, Modbus, Profibus, IEC 60870-5, etc. Beim Kauf wird das Programm an die Anwendung angepasst, aber um viele wichtige Features (z.B. IEC 61850, Visualisierung und Steuerung übers Internet) verwenden zu können, müssen optionale Einheiten hinzugekauft werden. In SICAM PAS können Automationsaufgaben mittels CFC (Continuous Function Chart) Diagrammen definiert werden. Um den Prozess zu visualisieren wird das SICAM PAS CC Programm verwendet (Abbildung 47). Ein SQL Datenbank ist in der SICAM PAS Standardversion inkludiert. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass SICAM PAS nur auf einem Windows Betriebssystem läuft.

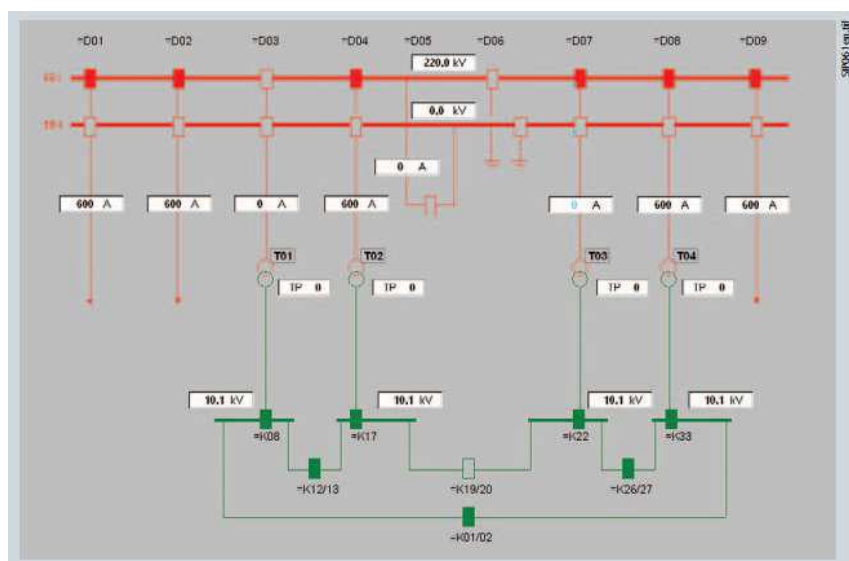


Abbildung 47: Visualisierung mit Siemens SICAM PAS CC

ABB – MicroSCADA Pro

Das SCADA-System für Umspannwerke von ABB heißt MicroSCADA Pro. Es bietet ungefähr die gleichen Optionen wie Siemens SICAM PAS an. Zum Beispiel unterstützt es viele Protokolle wie IEC 61850, Modbus, etc. und es ist auch an individuelle Anwendung anpassbar.

Areva – PACiS

Das PACiS SCADA-System von Areva bietet die gleichen Optionen wie die Produkte von Siemens und ABB an.

AutomationX – aX RESY

AutomationX hat das SCADA-System aX RESY entwickelt. RESY ist eine Lösung für den Energiebereich und hat Branchenmodule für Strom, Gas, Wasser, Abwasser und Wärme. Im allgemein ist es ein Software für Netzmanagement und Netzführung.

Copa-Data – zenOn

Das zenOn von Copa-Data ist ein Programm, das in mehreren Bereichen eingesetzt werden kann, wie z.B. Produktion, Prozessindustrie oder im Energiebereich. Die Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten vom Produktionsmanagement bis hin zur Prozessregelung ist in Abbildung 48 illustriert. ZenOn ist auch mit mehreren Protokollen (IEC 61850, Modbus, etc) kompatibel.

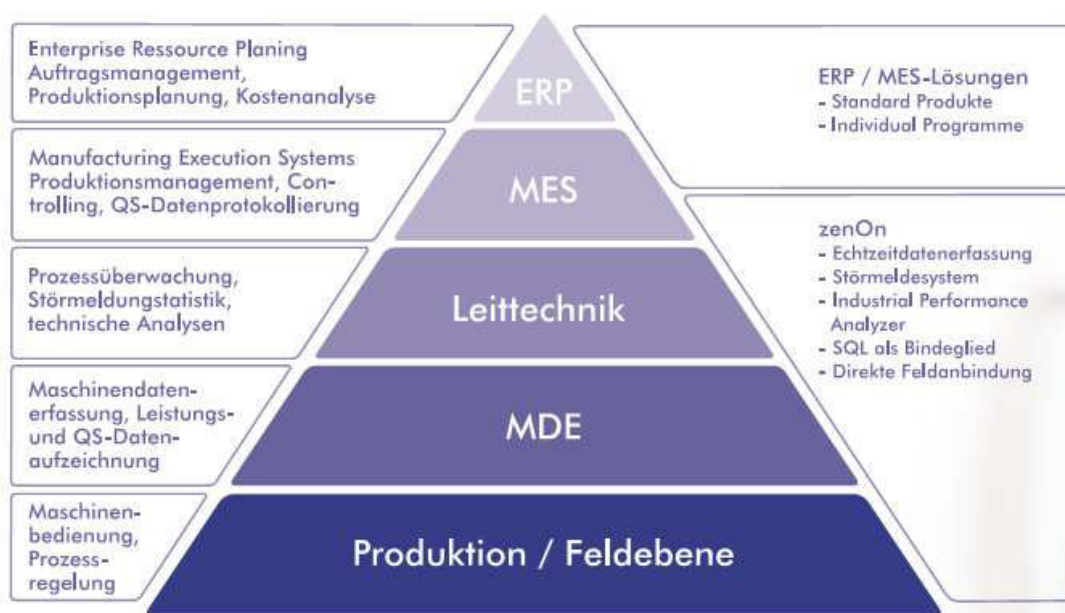


Abbildung 48: Ebenen wo zenOn verwendet werden kann

Kommentare

Die Systeme von ABB, Siemens und Areva sind für Umspannwerke entwickelt worden und haben daher auch viele Funktionen integriert, die ausschließlich für die Steuerung und Kontrolle eines Umspannwerkes gebraucht werden. Der Funktionsumfang der beschriebenen SCADA-Softwareprodukte unterscheidet sich kaum, die Schnittstellen sind aber auf die hauseigenen Peripheriegeräte abgestimmt.

AutomationX and Copa-Data bieten für ihre Produkte bereits in der Grundversion einen breiten Funktionsumfang an, wobei nicht alle Funktionen ständig gebraucht werden. Der Vorteil liegt vor allem auch in der Unterstützung von externen Komponenten anderer Hersteller.

2.2.4.14 Implementierung von IEC 61850

Wenn ein kommerzielles SCADA-System zur Verwendung kommt, dann ist es wichtig, dass es mit IEC 61850 kompatibel ist. Für Open Source Produkte wie Mango zum ist eine eigene Implementierung von IEC 61850 notwendig wofür es verschiedene Möglichkeiten gibt:

Kommerzieller Quellcode

Die Implementierung von IEC 61850-8.1 kann als kommerzieller Quellcode erworben werden. IEC 61850-8.1 beschreibt wie IEC 61850 auf das Manufacturing Message Specification (MMS) Protokoll abgebildet werden kann. Es gibt Mögliche Bezugsquellen sind z.B. Triangle MicroWorks und Sisco Inc. Die Kosten belaufen sich für beide ungefähr auf 14.000 € / Stück. Der Quellcode kann in Mango einfach integriert werden. Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass das SCADA-System direkt mit den IEDs kommunizieren kann.

Kommerzieller OPC-Server

Ein OPC-Server/Client mit einem IEC 61850 Interface ist eine weitere Möglichkeit (Abbildung 49) Kompatibilität mit IEC 61850 herzustellen. Auch die OPC-Kompatibilität muss für Mango entwickelt werden, aber es gibt OPC-Pakete in Java als Open Source Programmcode. Die Kosten für einen IEC 61850 kompatiblen OPC-Server/Client (AX-S4 MMS von Sisco Inc.) betragen ungefähr 2.000 € / Stück. Ein Vorteil dieser Lösung sind die geringen Kosten, falls die meisten IEDs mit IEC 61850 kompatibel sind. Ein weiterer Vorteil ist der geringere Implementierungsaufwand im Vergleich zur Lösung mit kommerziellen Quellcode. Nachteilig gestaltet sich die Bindung an den Lieferanten (Support) der Software im Falle von IEC 61850 Kommunikationsproblemen. Ein weiterer Nachteil ist, dass der OPC Server/Client nur auf Betriebssystemen von Microsoft funktioniert.

AX-S4 MMS Architecture

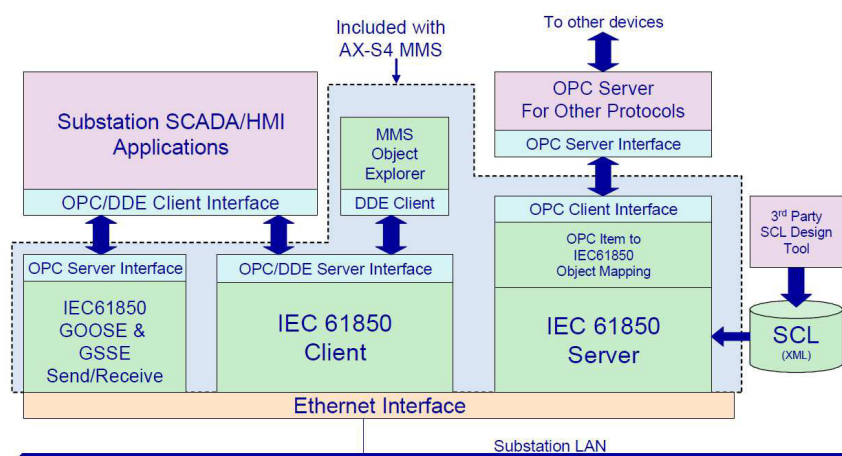


Abbildung 49: Architektur von AX-S4 MMS

Webservices für IEC 61850

Es ist auch möglich IEC 61850 auf Webservices basierend auf XML abzubilden. Im "IEC 61400-25-4 Communications for monitoring and control of wind power plants" ist eine Abbildung auf SOAP beschrieben. Die abgebildeten Services sind die gleichen wie die Services im IEC 61850, dies ermöglicht auch die Abbildung in IEC 61400-25-4 für IEC 61850 zu verwenden.

SOAP

SOAP (Simple Object Access Protocol) basiert auf XML. Für SOAP gibt es auch Open Source Lösungen für Java die in Mango implementiert werden können. Ein Nachteil dieser Lösung ist das notwendige Gateway zwischen SCADA system und den IEDs. Hier muss eine Umwandlung von IEC 61850 zu anderen Kommunikationsprotokollen (Modbus etc.) geschehen.

XML-RPC

XML-RPC ist ein Vorgänger zu SOAP. Es gibt keine vorgegebene Abbildung von IEC 61850 auf XML-RPC, aber durch die Ähnlichkeiten mit SOAP ist es möglich so einen Abbildung selbst zu implementieren.

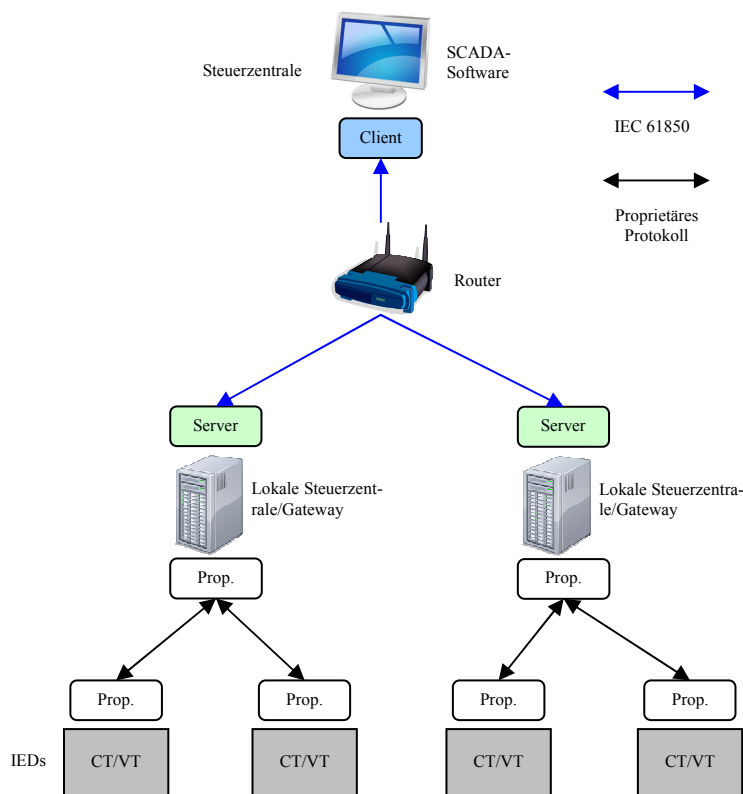


Abbildung 50: Architektur einer Lösung basierend auf XML

Kommentare

Die Abbildung von IEC 61850 auf SOAP oder XML-RPC ist zusammenfassend betrachtet die kostengünstigere Lösung. Das Interface zwischen der SCADA-Software und der Steuerzentrale muss manuell implementiert werden, dafür fallen keine Investitionskosten an. Ein zusätzlicher Aufwand entsteht durch die notwendigen Steuerzentrale/Gateways zwischen der SCADA-Software und den IEDs (Abbildung 50). Die mit IEC 61850 kompatiblen IEDs haben alle IEC 61850-8.1 implementiert, welche aber nicht mit SOAP oder XML-RPC kompatibel sind. Es ist daher nicht möglich Geräte zu verwenden die mittels IEC 61850 direkt mit der SCADA-Software kommunizieren. Dies ist ein entscheidender Nachteil für XML basierende Lösungen. Die zu erwartenden Kosten für die Gateways belaufen sich unter jenen der IEC 61850-8.1 Interfaces.

2.2.4.15 Geräte mit IEC 61850 Kompatibilität

Von verschiedenen Herstellern gibt es Messgeräte und Steuergeräte die mit IEC 61850-8.1 kompatibel sind.

Steuergeräte zur Automatisierung

Als Steuergeräte zur Automatisierung elektrischer Energienetze können beispielsweise Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), RTUs und verschiedene Computer eingesetzt werden. Alle Geräte in Tabelle 9 haben für das IEC 61850 Protokoll Unterstützung.

Tabelle 9: Automatisierungsgeräte

	ABB/ RTU560	ABB/ COM600	A-Eberle/ REG-D	Areva/ C264	Automa- tionX/ XEA300	Beckhoff/ TwinCAT PLC	Siemens/ 6MD6*	SEL/ SEL-2411
Spannungs- ebene	Mittel/Hoch	-	Nieder	Nieder	-	?	Mittel/Hoch	Nieder?
Eigene Programme	IEC 61131-3	Ja	Ja	Ja	IEC 61131-3	Ja	?	Ja
Fertige Programme	Ja	Ja	Ja	Ja	?	Ja	Ja	Ja
Zeitsynch.	GPS, SNTP, IRIG-B	?	?	SNTP, IRIG- B	NTP	Ja	IRIG-B	IRIG-B
Andere Protokolle	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	IEC 60870-5, Profibus, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc	Modbus, DNP3.0, IEC 60870-5, etc
Mess- funktionen	RMS	Keine	RMS	RMS/ Waveform	Keine	RMS	RMS	RMS
I/O Ausbau	Ja	Nein	Ja	Ja	?	Ja	Ja	Ja

Messgeräte

Viele Steuergeräte, wie in Tabelle 9 ersichtlich, haben auch eine Messfunktion integriert. Alle Geräte in Tabelle 10 sind ausschließlich für Messzwecke mit hoher Genauigkeit und einer Vielzahl von Messparametern geeignet und haben IEC 61850 Unterstützung.

Tabelle 10: Messgeräte

	Areva/ M571	Areva/ M871	Camille Bauer/ SINEAX CAM	QNE/ ONSpyDER
Spannungsebene	Nieder	Nieder	Nieder	Nieder/Mittel
Eingänge VAC	6 (2 x 3 Phasen)	6	3	1 (3 Phasen)
Eingänge IAC	1 (3 Phasen)	4	4	1 (3 Phasen)
Messfunktionen	RMS/Waveform	RMS/Waveform	RMS	RMS
I/O Ausbau	Nein	Ja	Nein	Nein
Zeitsynch.	NTP, IRIG-B	NTP, IRIG-B	NTP	?
Speicher	Ja	Ja	Ja	Ja
Andere Protokolle	Modbus, DNP3.0, etc	Modbus, DNP3.0, etc	Modbus	Ja

PC basierte Leistungsmessgeräte (z.B. Dewetron) bieten die Möglichkeit, die aufgenommenen Messwerte mit der mitgelieferten Software DEWESoft auszulesen, bieten jedoch keine Unterstützung von IEC 61850 (oder Modbus, DNP3.0 etc). Die alternative Möglichkeit besteht darin, die DCOM-Schnittstelle (Distributed Component Object Model) von DEWESoft für die Kommunikation mit anderen Programmen heranzuziehen, um die Messwerte auszulesen. Die Messwerte von DEWESoft können auch in einer Datenbank zwischengespeichert werden. Ein SCADA System mit entsprechender DCOM Schnittstelle ermöglicht somit die Anbindung an eine IEC 61850 Protokollstruktur.

Gateways

Gateways sind Geräte mit Konvertierungs-Funktion zwischen verschiedenen Protokollen. Einige Geräte aus Tabelle 9 können auch als Gateways verwendet werden. COM581 von ABB und SEL-3332 von SEL bieten die gleiche Ausstattung, die implementierten und zu konvertierenden Protokolle müssen jedoch vor dem Kauf ausgesucht werden.

Eine weitere Alternative ist ein OPC Server/Client. Zu diesem OPC Server/Client können Treiber für verschiedene Protokolle zugefügt werden und es ist damit möglich Protokolle in beide Richtungen zu konvertieren.

2.2.4.16 SCADA-System im SimTech Labor: Konzept

Allgemein

Die gesamte Leittechnik zur Steuerung und Betrieb des SimTech Labors soll in einer zentralen Schaltstelle zusammenlaufen. Mit Hilfe der Leittechnik kann die Verschaltung des Labornetzes konfiguriert werden bzw. der jeweilige Zustand des Labornetzes erfasst werden. Die Kommunikation aller Schalt- und Messgeräte soll über einen gemeinsamen Bus laufen, welcher auf dem IEC 61850 Protokoll aufbaut. Auch die gesteuerten AC- und DC Simulatoren, die Netznachbildungen und die Passiven Lastelemente werden über das gemeinsame SCADA-System gesteuert.

Ausgehend vom Schaltbild in Abbildung 51 sind 16 AC Messungen und 1 DC Messung erforderlich. An jedem Messpunkt sollen Strom, Spannung, Leistung, etc. dreiphasig gemessen werden (RMS und Waveform).

Anforderungen an das SCADA System

- Kommunikation
 - Unterstützung von IEC 61850
 - Gateways zur Interkommunikation von Geräten unterschiedlicher Protokolle und Bussystemen, z.B. von Modbus oder GPIB zu IEC 61850
- Messung
 - 16 AC Messpunkten für Strom-, Spannungs-, Leistungsmessung
 - RMS und Waveform
 - 1 DC Messpunkt mit Strom- und Spannungsmessung
 - Alle Messungen auf Niederspannungsebene
 - Ströme bis 1.000 A
 - Temperaturmessungen
- Schalten
 - Steuern von über 30 Schalter und Erfassung der Schaltzustände
 - Verriegelungslogik im zentralen Steuersystem

- Steuerung
 - Zentrale Steuerung
 - Integration der Netzsimulatoren in das SCADA-System (z.B. auch mittels GPIB Gateways, etc.)
 - Regelfunktionen
 - Ermittlung der Schaltzustände
 - Abgleich der RLC Lasten mit lokaler Regelfunktion
- Redundanz
 - Die Kommunikation für Regelung und Messungen soll unabhängig von einander sein (redundant)
 - Die Messungen an verschiedenen Prüfplätzen müssen unabhängig voneinander sein
 - Messtechnik für SCADA ersetzt nicht die präzise Leistungsmesstechnik an den Prüfplätzen

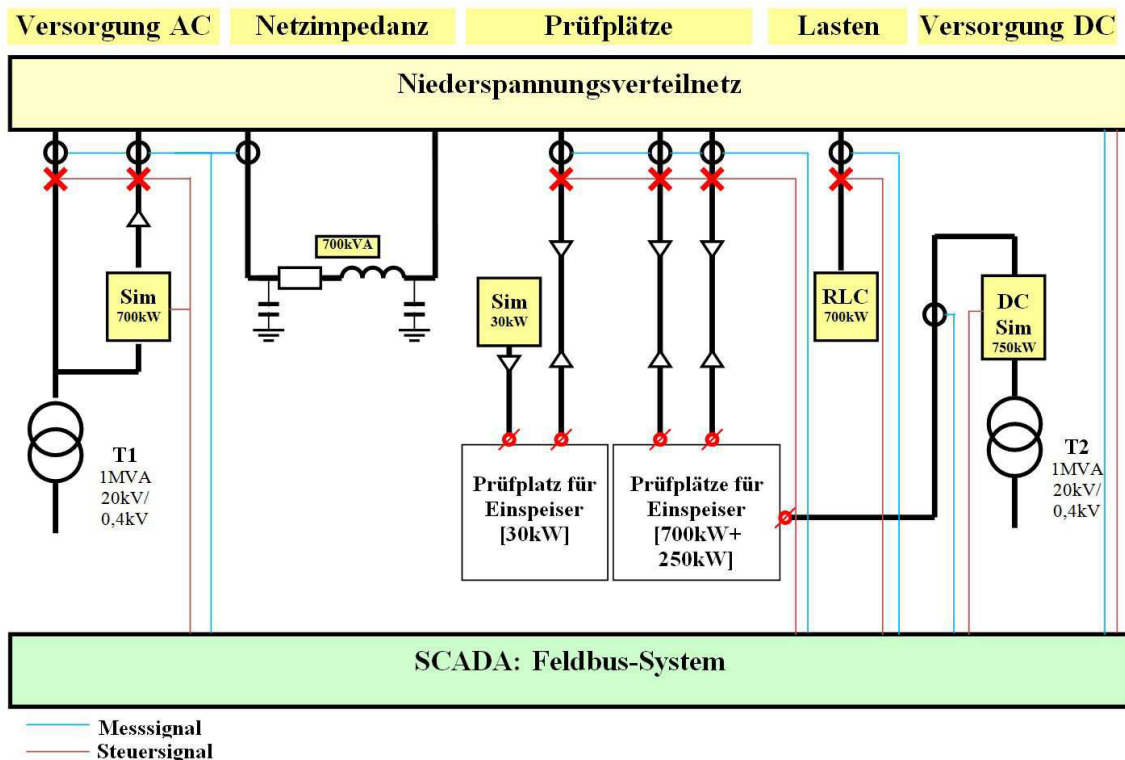


Abbildung 51: Konzeptbild vom SCADA-System im SimTech Labor

Systemvorschläge

Auf Basis des Konzeptbildes werden in den nachfolgenden Abschnitten mögliche Lösungen mit kommerziellen Produkten (Beckhoff und Siemens) und einer Selbstbaulösung beschrieben, mit welchen die oben beschriebenen Anforderungen weitestgehend erfüllt werden können.

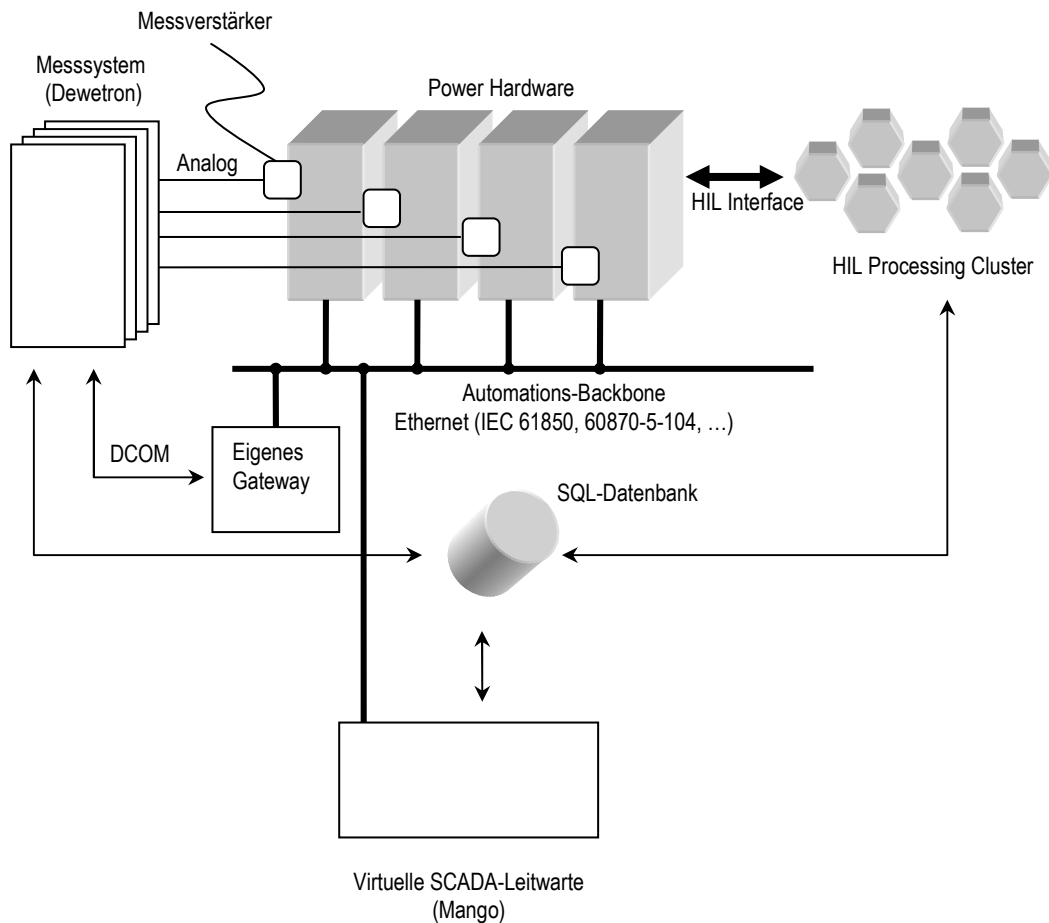


Abbildung 52: Konzeptbild Leittechnik für SimTech Labor

Beckhoff

Beckhoff bietet viele Produkte im Feldbusbereich an und durch das Soft-SPS TwinCAT auch Unterstützung für IEC 61850. TwinCAT kann auf einer beliebigen Betriebssystemplattform installiert werden. Im SimTech Labor könnten folgende Produkte von Beckhoff zur Anwendung kommen. Die Verdrahtung der I/O-Signale erfolgt dezentral an Feldbusgeräten oder zentral an der Steuerung. Die Beckhoff Busklemme ist ein offenes und feldbusneutrales I/O-System, bestehend aus elektronischen Reihenklemmen. Der Kopf einer elektronischen Reihenklemme ist der Buskoppler mit Schnittstelle für den Feldbus. Es stehen Buskoppler für unterschiedliche Bussysteme zur Verfügung.

Regelung

Von Beckhoff gibt es Regler mit verschiedenen Schnittstellen wie z.B. Modbus UDP, PROFIBUS, Ethernet und die programmierbaren Schnittstellen RS485 und RS232. Eine mögliche Reihenklemme wäre eine mit Ethernet Schnittstelle:

- BC9120: Ethernet-TCP/IP-„Economy plus“-Busklemmen-Controller

Technische Daten	BC9120
Programmspeicher	128 kByte
Datenspeicher	128 kByte
Remanente Daten	2 kByte
Persistente Daten	1 kByte
Laufzeitsystem	1 SPS-Task
SPS-Zykluszeit	ca. 1 ms für 1.000 Befehle (ohne I/O-Zyklus, K-Bus)
Anzahl Busklemmen	64 (255 mit K-Bus-Verlängerung)
Max. Byte-Anzahl	2.048-Byte-Input und 2.048-Byte-Output
Feldbus	
Digitale Peripheriesignale	2.040 Inputs/Outputs
Analoge Peripheriesignale	512 Inputs/Outputs
Protokoll	TwinCAT ADS, Modbus TCP
Übertragungsraten	10/100 MBaud, automatische Erkennung der Übertragungsrate
Businterface	2 x RJ 45 (2-Kanal-Switch)

Messung

Beckhoff bietet zwar eine Busklemme für Waveform Messungen an, aber das Eingangssignal der Messklemme muss zwischen -10 und +10 Volt sein. Für die Waveform Messungen kann z.B. eines von den Messgeräten in Tabelle 10 verwendet werden. Für die RMS Messungen ist folgende Klemme von Beckhoff eine Alternative:

- KL3403: 3-Phasen-Leistungsmessklemme

Technische Daten	KL3403
Messwerte	Strom, Spannung, Wirkleistung, Energie, $\cos \varphi$, Spitzenwerte U, I und P, Frequenz
Messspannung	max. 500 V AC 3~ (ULX-N: max. 288 V AC)
Auflösung	16 Bit (21 Bit, intern)
Messstrom	max. 1 A, über Messwandler x A/1 A
Messfehler	0,5 % bezogen auf den Messbereichsendwert (U/I), 1 % berechnete Werte
Messverfahren	True RMS, Echteffektivwertberechnung mit 64.000 Samples/s

Schalter

Für jeden Schalter in Abbildung 51 werden binäre Eingänge und binäre Ausgänge benötigt. Abhängig vom Leistungsschalter muss die richtige Komponente ausgesucht werden.

- Binäre Eingänge: Klemmen mit 2 bis 64 Eingänge und mit verschiedenen Eingangssignalen (5VDC – 120VDC und 120VAC – 230VAC)
- Binäre Ausgänge: Klemmen mit 1 – 64 Ausgänge und mit verschiedenen Ausgangssignalen (5VDC – 120VDC und 24VAC – 400VAC)

Schutz

Mehrere Eingangs-, Ausgangs- und Regelklemmen für Schutzfunktionen stehen zur Verfügung.

SCADA-Software

Es gibt keine SCADA-Software von Beckhoff, deshalb müsste hier ein kommerzielles Produkt eines Drittherstellers oder eine Open Source Lösung verwendet werden (2.2.4.13).

Siemens

Siemens hat viele Produkte, die insbesondere für Umspannwerke entwickelt wurden. Für das SimTech Labor könnten die folgenden Geräte verwendet werden:

Regelung

Zwei Regler die sich eignen würden:

- SIPROTEC 4 6MD63: Bay Control Unit
Für Umspannwerke in Mittelspannungsebene optimiert. Hat verschiedene Regelfunktionen eingebaut. Messfunktion (U, I, P, cos ϕ , etc.). Kompatibel mit IEC 61850, Modbus, PROFIBUS, DNP3.0, etc.
- TM 1703 ACP: Automatisierungseinheit
Ist ein flexibles Gerät für viele Automatisierungsbereiche. Ist mit digitalen und analogen Ein- und Ausgängen ausbaubar. Kompatibel mit IEC 61850, Modbus, PROFIBUS, DNP3.0, etc.

Messung

Für jeden Messpunkt:

- ACCESS 9360: Advanced Power Meter
RMS und Waveform Messungen. Mit oder ohne Display. Modbus RTU Protokoll. Genauigkeit für Spannung und Strom: 0.075%.

Schalter

Jeder Schalter wird mit digitalen Signalen gesteuert. Beide oben genannten Regler besitzen digitale Ein- und Ausgänge für die Steuerung des Schaltverteilers.

Schutz

Siemens bietet viele Komponenten und Produkte für Schutz und Überwachung an. Details dazu müssten mit Siemens abgeklärt werden.

SCADA-Software

Eine Möglichkeit wäre das SICAM PAS von Siemens, siehe Abschnitt 2.2.4.13.

Eigene Lösung

Für den speziellen Einsatz eines SCADA Systems im SimTech Labor würde sich eine Eigenlösung anbieten. Dies bringt im Vergleich zu kommerziellen Lösungen einige Vorteile mit sich:

- Aufbau des Know-Hows bzgl. SCADA und IEC 61850
- Geringe Investitionskosten
- Flexible Umsetzung
- Einfache Wartung

Regelung/Gateway

Die Regelung wird in lokalen Steuerzentralen realisiert. Die Steuerzentralen sind handelsübliche Industrie-PCs oder SPSen, mit einer Bedienoberfläche für Programmierung. Zur Interkommunikation mit Mess- und Steuergeräten (Schaltelemente) müssen die Steuerzentralen auch als Gateways funktionieren (Abbildung 50).

- Beckhoff Cxxxx: Industrie-PC
Die C-Serie von Beckhoff sind in verschiedenen Ausführungen verfügbar.
- AutomationX XEA300: SPS
XEA300 von AutomationX ist eine SPS mit programmierbarer Regelung, inklusive Unterstützung für IEC 61850.
- AutomationX aXcontroller: Industrie-PC

Messung

- Dewetron: Leistungsmessgeräte
Dewetron bietet Leistungsmessgeräte an, die Waveform Messungen und RMS Messungen ermöglichen. Als Schnittstelle zum Messgerät muss ein Gateway programmiert werden, damit die Messwerte auch für die IEC 61850 Kommunikation verfügbar sind.

Schalter

Für die Schalter wird ein System benötigt, das über digitale Ein- und Ausgänge verfügt. Industrie-PCs verfügen normalerweise nicht über digitale Ein- und Ausgänge und daher ist ein Feldbussystem mit Ein- und Ausgangskanälen notwendig.

Schutz

Für das Schutzsystem ist aufgrund Normerfüllung ein kommerzielles System zu empfehlen.

SCADA-Software

Mango M2M (Abschnitt 2.2.4.13) wird als mögliche SCADA Software für die Eigenlösung empfohlen. Dies ist das umfangreichste und leistungsfähigste Open Source Produkt und bietet die oben genannten Vorteile.

2.2.5 Konzept Schutztechnik

Für die Konzeption der Schutzeinrichtungen sind neben dem „normalen“ Störfall auch die Problemfelder Überfunktion und Unterfunktion zu analysieren. Insbesondere die Aufgabenstellung einer in Echtzeit zuverlässig dezentral funktionierenden Inselerkennung ist ein weiterer Schwerpunkt.

2.2.5.1 Allgemeine Anforderungen

Im Zuge der Vorstudie zur Laborkonzeption stellt sich die Frage, in wieweit die derzeitige Schutzphilosophie in Niederspannungsnetzen an die neuen Anforderungen, die sich mit der Einführung von Smart Grids ergeben, angepasst werden müssen.

Intelligente Komponenten fordern neue innovative Ansätze für die Schutzkonzepte. Die zusätzlich erforderlichen Kommunikationseinrichtungen müssen für die Interaktion der intelligenten Komponenten bereitgestellt werden. Das primäre Ziel der Smart Grids Idee ist, die Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen (DEA) in die bestehende Netzstruktur, die einen Beitrag zum Aufrechterhalten der Versorgung im Falle einer ungewollten Inselnetzbildung leisten können. Diese Idee fordert neue Regelungs- und Schutzkonzepte, die die Interaktion der Komponenten unterstützen und für die Zuverlässigkeit des Netzes von Bedeutung sind.

Neue Anforderungen an die Schutztechnik ergeben sich aus den bidirektionalen Stromflüssen, welche durch die steigende Anzahl von DEA auftreten und zu einer Richtungsänderung der Kurzschlussströme führen können. Deshalb ist es notwendig die derzeitigen Schutzkonzepte zu überdenken, neue Funktionalitäten zu integrieren und den Anlagen- und Netzschutz hinsichtlich der neuen Anforderungen anzupassen.

2.2.5.2 Untersuchungen

Untersuchungen hinsichtlich des Schutzkonzeptes legen den Fokus auf den Parallelbetrieb mit dezentraler Energieerzeugungseinrichtung, d.h. wie sich das Auslöseverhalten der Schutzeinrichtung bei Auftreten eines Fehlers bei kleinen Auslösezeiten bzw. großen Auslösezeiten verhält. Weiters soll noch untersucht werden, inwiefern der Fehler mittels Simulation bzw. real nachgebildet werden kann. Die Überlegungen hinsichtlich der Konzeption des Schutzkonzeptes soll das Auftreten aller möglichen auftretenden Fehlerfälle abdecken.

2.2.5.3 Smart-Grid-Niederspannungstopologien

Die folgende Abbildung zeigt die Topologie eines Niederspannungsnetzes mit dezentralen Erzeugungsanlagen. Neben den klassischen Trenn- & Abschaltmöglichkeiten (Trennschalter, Lasttrennschalter, Leistungsschalter) müssen die Abgänge mit dezentraler Einspeisung noch Schaltmöglichkeiten mit Synchronisierung besitzen. Die Leiterlänge ist durch die Anforderung an die Spannungshaltung begrenzt. Die Leiterquerschnitte entsprechen dem eines klassischen städtischen Niederspannungsnetzes und können sich in Abhängigkeit der Anzahl der an der Sammelschiene 2 hängenden Abgänge verändern. Die veränderbare Kompensationseinrichtung dient zur Spannungsregulierung und kann als Spule (Spannungserniedrigung) bzw. aus Kapazität zur Spannungserhöhung ausgeführt werden.

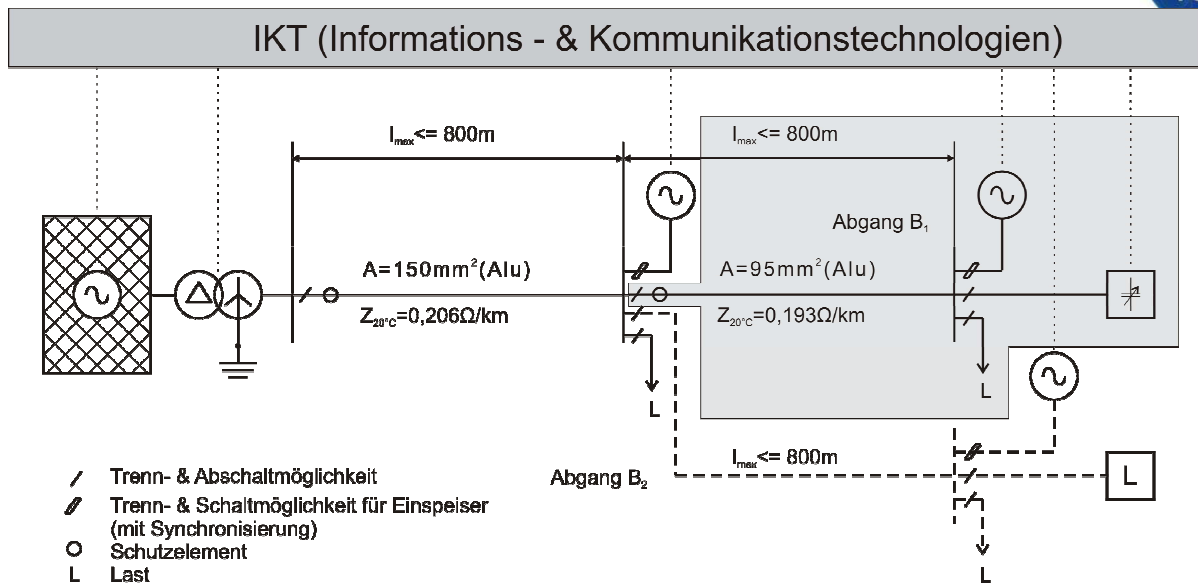


Abbildung 53: Smart-Grid-Niederspannungstopologie

2.2.5.4 Gefährdung des Menschen - Niederspannungsnetze

Aufgrund der Gefahren die durch das direkte bzw. indirekte Berühren entstehen, sind die Schutzmaßnahmen insbesondere der Personenschutz von hoher Bedeutung. Die Gefährdung des Menschen im Falle eines Stromdurchflusses wird durch die Vornorm DIN IEC/TS 60479-1:2005 (VDE V 0140-479-1) begrenzt.

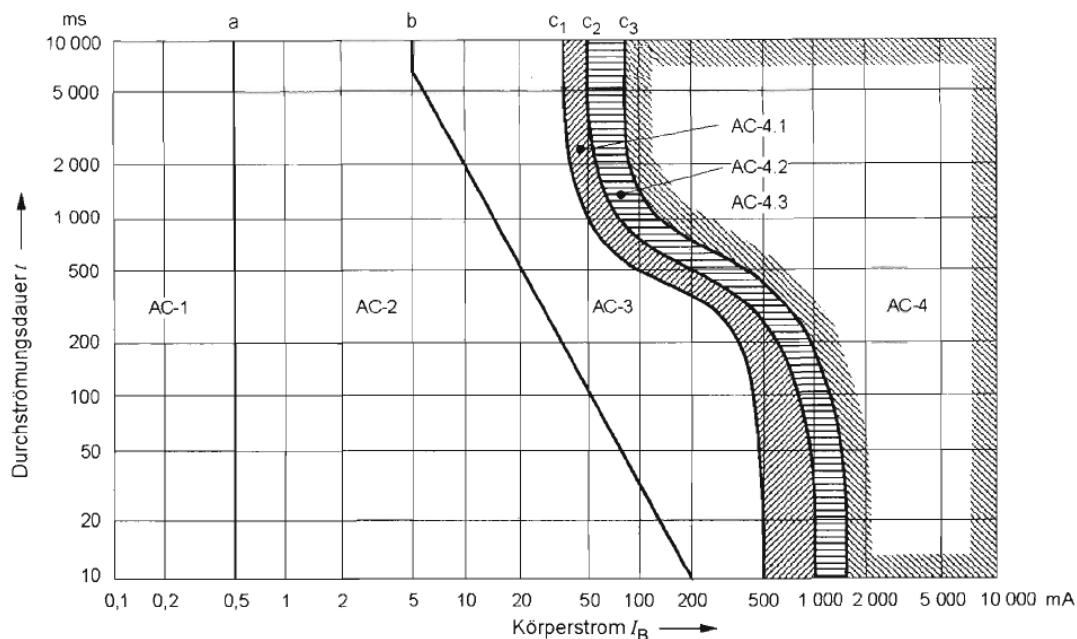


Abbildung 54: Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkung von Wechselströmen auf Personen bei einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen

Die obige Grafik ist in vier Bereiche unterteilt. Diese sind in der folgenden Abbildung 55 beschrieben und die Tabelle wurde der Vornorm DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1) entnommen.

Bereiche	Bereichs- grenzen	Physiologische Wirkungen
AC-1	bis zu 0,5 mA Grenzlinie a	Wahrnehmung möglich, aber im Allgemeinen keine Schreckreaktion.
AC-2	über 0,5 mA bis Grenzlinie b	Wahrnehmung und unwillkürliche Muskelkontraktionen wahrscheinlich, aber im Allgemeinen keine schädlichen physiologischen Wirkungen.
AC-3	Grenzlinie b bis Grenzlinie c ₁	Starke unwillkürliche Muskelkontraktionen. Schwierigkeiten beim Atmen. Reversible Störungen der Herzfunktion. Immobilisierung (Muskelverkrampfung) kann auftreten. Wirkungen zunehmend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer. Im Allgemeinen ist kein organischer Schaden zu erwarten.
AC-4 ¹⁾	über der Grenzlinie c ₁ c ₁ – c ₂ c ₂ – c ₃ über der Grenzlinie c ₃	Es können pathophysiologische Wirkungen auftreten wie Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen oder andere Zellschäden. Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer. AC-4.1 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 5 % AC-4.2 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 50 % AC-4.3 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern über 50 %
1) Bei Durchströmungsdauer unter 200 ms tritt Herzkammerflimmern nur auf, wenn die entsprechenden Schwellenwerte in der vulnerablen Periode überschritten werden. Hinsichtlich des Herzkammerflimmerns bezieht sich Bild 20 auf die Wirkungen des Stromes beim Stromweg von der linken Hand zu den Füßen. Bei anderen Stromwegen muss der Herzstromfaktor berücksichtigt werden.		

Abbildung 55: Zeit/Stromstärke-Bereiche für Wechselstrom von 50 Hz bis 100 Hz, für den Stromweg von einer Hand zu beiden Füßen – Zusammenfassung der Bereiche in Abbildung 54

2.2.5.5 Anforderungen an Netzschutzsysteme mit dezentraler Energieerzeugung (DEA)

- DEA im Inselnetzbetrieb – Aufrechterhaltung der Versorgung von kleinen, definierten / zu definierenden Netzgebilden im Fehlerfall
- Keine negative Beeinflussung der anderen Selektivschutzeinrichtungen
- Keine Beeinträchtigung des Überstrom-Zeitstaffelschutzes aufgrund der fehlenden Richtungserkennung
- Korrektes Auslöseverhalten
 - o Bei kleinen Auslösezeiten an der DEA
 - o Bei großen Auslösezeiten an der DEA

2.2.5.6 Klassischer Niederspannungsschutz – modernes Konzept

Der klassische Niederspannungsschutz ist durch Schmelzsicherungen charakterisiert; diese sind wie andere Sicherungselemente durch ihre Auslösecharakteristik gekennzeichnet. Sie ist zusammen mit dem Nennstrom und dem maximalen Abschaltstrom eine wichtige Kenngröße.

Geeignete Sicherungen zum Personenschutz sind für den regulären Betriebsfall und für die im Kurzschlussfall auftretenden Stromstärken zu dimensionieren.

In Niederspannungsnetzen werden die Abschaltströme durch die Erdung des Sternpunktes des Ortnetz-Transformators im Zusammenwirken mit der Schutzmaßnahme Nullung sichergestellt.

Im Fehlerfall ist ein ausgeprägter Stromfluss von der Fehlerquelle zur Senke vorhanden und somit sind Fehlererkennungsverfahren z.B. Überstrom-Zeitstaffelschutz ausreichend und aufgrund der einfachen Konzeption zweckmäßig. Werden nun im Fehlerfall Kurzschlussströme über die dezentrale Energieerzeugungsanlage (DEA) eingespeist, ist das Überstromkriterium als alleiniges Kriterium zur Abschnittsordnung nicht mehr eindeutig, da sowohl vom Umspannwerk als auch von der dezentralen Energieerzeugungsanlage Kurzschlussströme zur Fehlerstelle fließen und zu einer Anregung („Anr“) der Überstrom-Schutzeinrichtung oder allfälliger Überstromanzeiger führen – siehe nachstehende Abbildung 56.

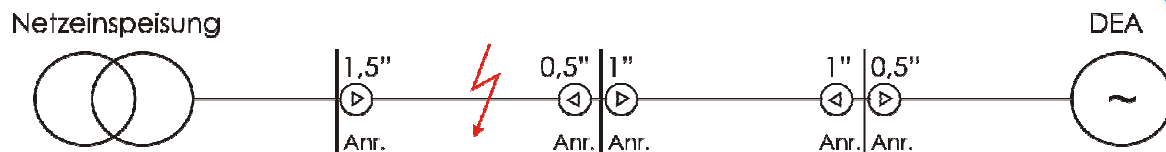


Abbildung 56: Anredeverhalten bei Überstromschutzanlagen und dezentralen Energieerzeugungsanlagen

2.2.5.7 Schutzmaßnahme Nullung

In Österreich ist die Nullung gemäß Nullungsverordnung (1998) gesetzlich vorgeschrieben. Hier wird im Wesentlichen gefordert, dass bei einem Leiter-Erde-Fehler (Körperschluss) im Regelfall ein so großer Strom fließen muss, dass die vorgelagerten Schutzanlagen sicher und so schnell wie erforderlich abschalten (s. ÖVE/ ÖNORM 8001-1/A4, 2008). Diese Forderung wird durch ein entsprechendes Zusammenwirken der Abschaltcharakteristik der vorgesehenen Schutzanlage, z.B. Sicherung, und der Größe des Fehlerstromes erreicht.

Das TN-C-S Netz ist eine Kombination aus TN-C und TN-S Netz, der PEN-Leiter (protective earth neutral) teilt sich am Hausanschlusspunkt in PE (Schutzleiter) und N-Leiter (Neutralleiter) auf. Der PE-Leiter wird auf den Hauptpotentialausgleich (HPA) geführt. Vom HPA aus werden Wasserleitungen, Heizung etc. über den Potentialausgleich (PA), siehe Abbildung 57 verbunden. Der Fehlerstrom breitet sich gemäß dem roten Pfad in der untenstehenden Abbildung 57 aus. Der Fehlerstromkreis schließt sich über den geerdeten Sternpunkt des Trafos. Ein Teil des Fehlerstromes wird über den HPA abfließen, die Aufteilung des Stromes ist von den Impedanzenverhältnissen abhängig.

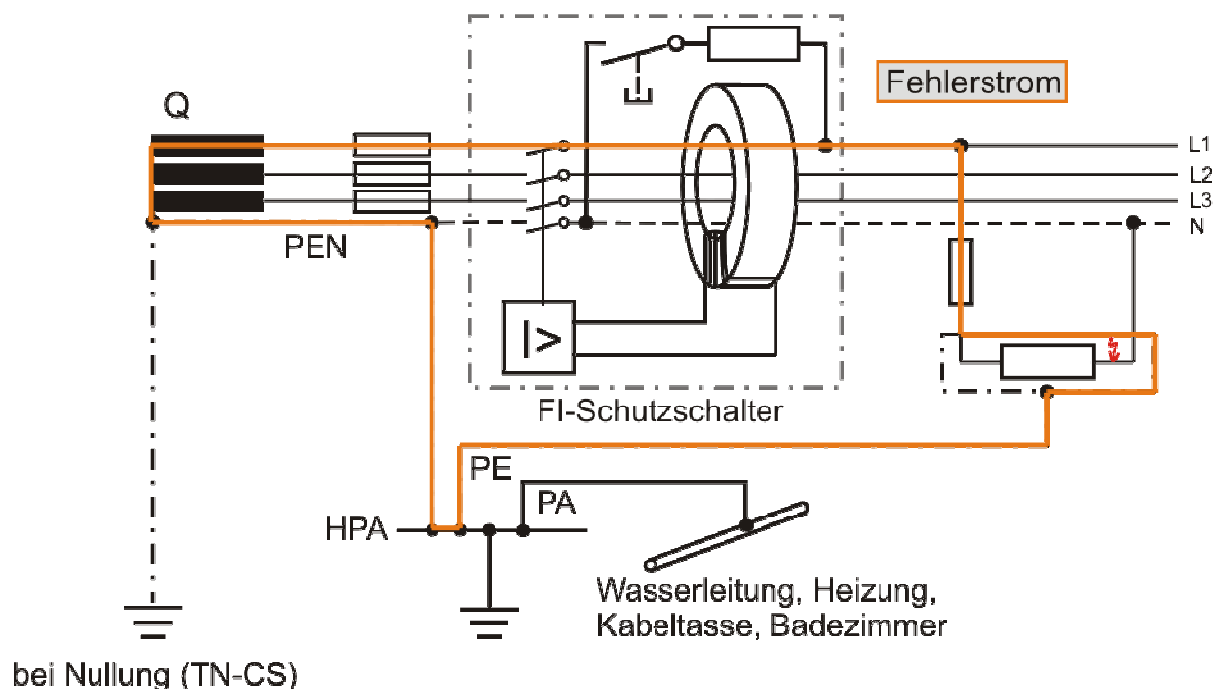


Abbildung 57: Schutzmaßnahme Nullung

Ein Untersuchungsmodell als Grundlage für Simulationen und Sicherheitsbelange in Niederspannungsnetzen wurde konzipiert und in Abschnitt 2.3.2 genauer beschrieben. Die Realisierung dieses Untersuchungsmodells wird durch Herausführen des Sternpunktes am Prüfrafo und die flexible Konfigurationsmöglichkeit des Erdleiters an S2 ermöglicht. Dies erlaubt die Erdungsvarianten für IT und TN Netz, wobei beim Betrieb als IT Netz besonders auf den Personenschutz geachtet werden muss.

2.2.5.8 Anforderungen an Schutzsysteme bei dezentralen Energieerzeugungsanlagen

Vorhandene Selektivschutzeinrichtungen werden durch dezentrale Energieerzeugungseinrichtungen nicht negativ beeinflusst. Die üblichen Überstrom-Zeitstaffelschutz-Verfahren werden durch dezentrale Energieerzeugungsanlagen aufgrund der fehlenden Richtungserkennung beeinträchtigt.

Auslöseverhalten bei kleinen Auslösezeiten der dezentralen Erzeugungsanlage

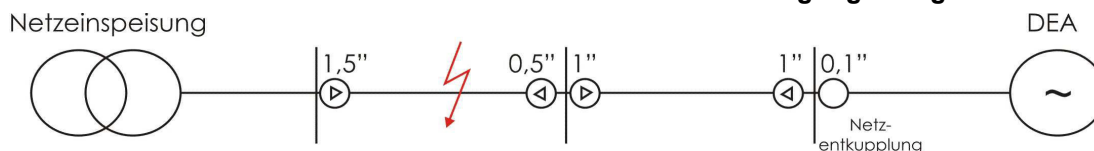


Abbildung 58: Phase 1 - Parallelbetrieb mit dezentraler Energieerzeugungseinrichtung, Fehlereintritt

Die dezentrale Energieerzeugungsanlage ist wirksam mit dem Netz verbunden: Es kommt zu Stromflüssen und Spannungsverhältnissen, die fallweise zu Anregemeldungen führen.

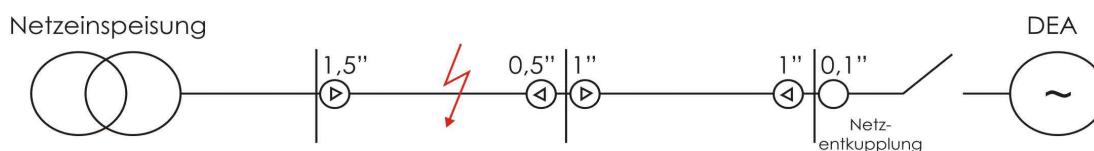


Abbildung 59: Phase 2 - Bildung eines passiven Verteilnetzes

Die dezentrale Energieerzeugungsanlage wird zuerst vom Netz getrennt, und das Netz weist dann die Struktur eines passiven Verteilnetzes auf. Ab diesem Zeitpunkt arbeiten die Schutzeinrichtungen so, als ob es keine dezentrale Energieerzeugungsanlage im Netz gäbe.

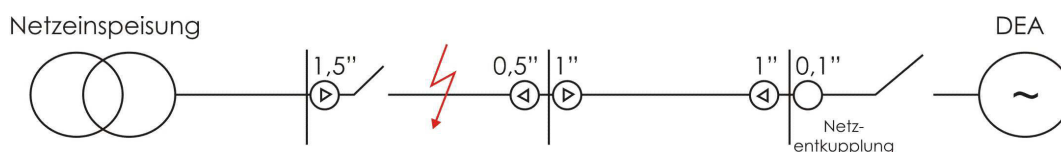


Abbildung 60: Phase 3 - Definitive EVU-seitige Abschaltung des Fehlers

Entsprechend dem Überstrom-Zeitstaffelschutzkonzept wird der Fehler EVU-seitig definitiv abgeschaltet.

Auslöseverhalten bei großen Auslösezeiten der dezentralen Erzeugungsanlage

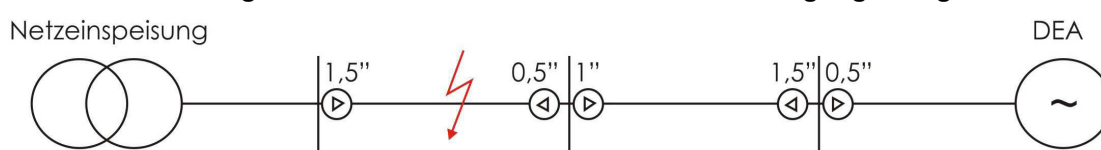


Abbildung 61: Phase 1 - Parallelbetrieb mit dezentraler Energieerzeugungseinrichtung, Fehlereintritt

Die dezentrale Energieerzeugungsanlage ist wirksam mit dem Netz verbunden, und es kommt fallweise zu Anregemeldung.

Netzeinspeisung

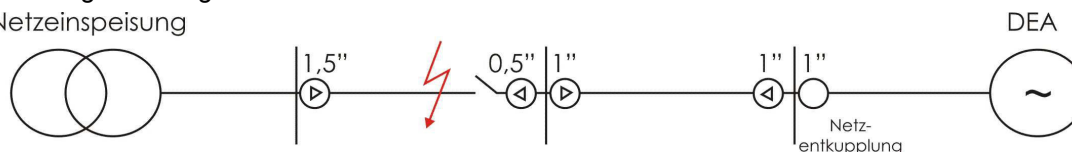


Abbildung 62: Phase 2 - Erste Auslösung durch den Netzschutz (DEA-seitig)

Durch den Netzschutz wird die Fehlerstelle, von der dezentralen Energieerzeugungsanlage aus gesehen, zuerst abgeschaltet. Es kann bei ungünstiger Konstellation sogar zur vorübergehenden Bildung einer autonomen Netzinsel kommen.

Netzinselbildung

Tritt in dem Netzteil, in welchem sich die Erzeugungsanlage befindet, eine ungewollte und damit unkontrollierbare Inselnetzbildung auf, kommt es zum Verlust der zentralen Netzdienstleistungen wie Frequenz- und Spannungshaltung.

Bei Nichtabschalten der Eigenerzeugungsanlage würde es bei fehlenden Regel- und Steuermöglichkeiten zu irregulären Spannungszuständen kommen.

Als Inselerkennungsmerkmal wird wegen der erfahrungsgemäß massiv gestörten Wirk- und Blindleistungsbilanz einer zufällig gebildeten Netzinsel die Abweichung der Netzspannung in ihrer Amplitude und Frequenz herangezogen. Daher wird die Entkupplungsstelle dann abgeschaltet, wenn die Netzspannung zu hohe (oberer Grenzwert) oder zu tiefe (unterer Grenzwert) Werte der Spannungsamplitude annimmt. Ebenso wird bei zu hohen oder zu tiefen Frequenzen abgeschaltet.

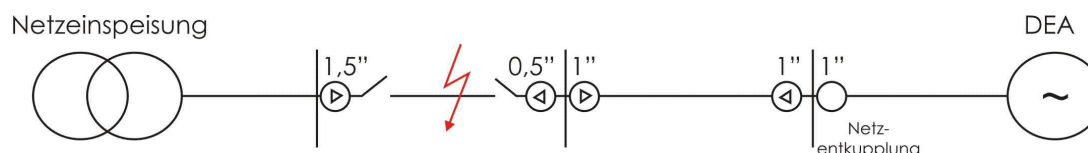


Abbildung 63: Phase 3 - Definitive EVU-seitige Abschaltung des Fehlers

Entsprechend dem Überstrom-Zeitstaffelschutzkonzept wird der Fehler EVU-seitig definitiv abgeschaltet.

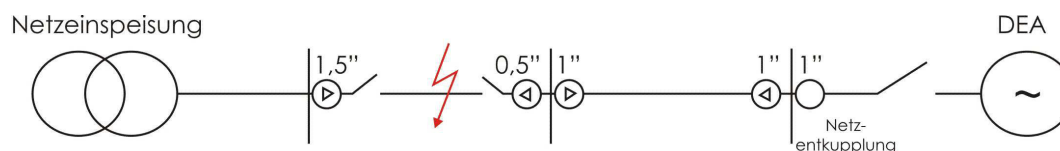


Abbildung 64: Phase 4 - Trennung der dezentralen Energieerzeugungsanlage vom Netz

Durch die Inselbetriebsüberwachung, die in der Netzentkupplung realisiert ist, wird nach kurzer Zeit auch die Erzeugungsanlage vom Netz getrennt, und das gesamte Netz ist in einem definierten Zustand: Die Fehlerstelle ist freigeschaltet, und es gibt keinen unkontrollierten Inselnetzbetrieb.

2.3 Testszenarien

Technologien und Systeme der dezentralen Erzeugung, Speicherung und des Verbrauchs werden im SimTech Labor betrieben und getestet. Dies beinhaltet auch die Untersuchung der gegenseitigen elektrischen- und thermischen Systemauswirkungen und Interaktionen. Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse sind möglichst reale Betriebsbedingungen im Labor, welche flexibel an unterschiedliche Situationen bzw. Prüfanforderungen angepasst werden können.

2.3.1 Einsatz unterschiedlicher Technologien (Technologieportfolio)

Bei der Konzeption zur Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) in das Verteilnetz wird auf möglichst reale Betriebsbedingungen geachtet. Es wurde hierbei versucht eine breit gefächerte Auswahl an unterschiedlichen Erzeugungstechnologien zu analysieren und auszuwählen, aber dennoch so zu bestimmen, dass mit Hilfe dieser eine realistische Analyse der gegenseitigen elektrischen- und thermischen Systemauswirkungen und Interaktionen ermöglicht wird. Anforderungen, Spezifikationen, Eigenschaften, Einsatz und Kombinationsmöglichkeiten von DEA wurden hierbei eingehend untersucht. Ziel ist die Auswahl und Abstimmung von Technologien und Systemen (State of the art und zukünftige Technologien) der Erzeugung, Speicherung und des Verbrauchs des dezentral strukturierten Energiesystems.

Abbildung 65: Dezentrale Energietechnologien: Windkraft Photovoltaik, elektrische Energiespeicher

2.3.1.1 Dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA)

Der primäre Fokus bei dezentralen Erzeugungsanlagen liegt auf elektronischen Spannungs-umrichtern. Diese stellen die Schlüsseltechnologie bei der Konvertierung von primär erzeugtem Gleichstrom oder Frequenz-/Spannungs-variablem Wechselstrom in netzkonformen Wechselstrom dar. Wechselrichter werden heutzutage in Windkraftwerken, Photovoltaikanlagen, Stirlinggeneratoren, Doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren etc. verwendet und unterliegen laufenden Verbesserungs- und Entwicklungsprozessen. Um diese Entwicklung mitzutragen sollen im SimTech Labor diese Geräte getestet und weiterentwickelt werden können.

Wechselrichter finden unterschiedliche Einsatzgebiete als Schnittstelle zwischen Netz und:

- Photovoltaik Generator
- Erzeugungsanlagen mit DC Primärversorgung
- Generator angetrieben von Verbrennungskraftmaschinen (nur bedingt)
- Elektrische Speichersysteme (Batterien)

Wechselrichter welche im Niederspannungsnetz eingesetzt werden, sind bis zu einer Nennleistung von ca. 650kW am Markt erhältlich.

Eine Vielzahl unterschiedlicher Hersteller und Typen verschiedener Leistungsklassen sind verfügbar. Ein modulares Betriebskonzept im SimTech Labor soll eine flexible Anschlussmöglichkeit in mehreren Stufen ermöglichen:

- Bis 30kW
- Bis 250kW
- Bis 500kW
- Bis 650kW

Es gibt eine unüberschaubare Vielzahl von Photovoltaik Wechselrichtern mit einer Nennleistung bis zu 100kW. Der Anschluss und Betrieb (auch im Verbund) dieser Geräte wird in der elektrischen Verschaltung berücksichtigt. Wechselrichter größerer Leistung weisen einige Besonderheiten auf und erhöhen damit auch die Anforderungen an die Auslegung des SimTech Labors.

Dazu wurde folgende Marktrecherche handelsüblicher Großwechselrichter (>100kW) durchgeführt (Stand 04/2010).

Tabelle 11: Übersicht zur Marktrecherche von Großwechselrichter

Hersteller	AC Leistung	Netzspannung	Beschreibung	
ABB	100kW (PVS800) 250kW (PVS800)	300V	TN und IT Netz	
Conergy	300kW (IPG 300K)	126-129V (L-N)	L1, L2, L3, N und PE,	
Control Techniques	350kW (SPV 350) 700kW (SPV 700)	3x340V		
Delta	100kW (CI 100)			
Diehl AKO	100kW (Platinum 100 CS)	400V		
	100kW (Platinum 100 CTL)	3x 220	IT Netz	
Ingeteam	100kW (Ingecon SUN 100U)	3x 480V bzw. 3x 208V	480 oder 208 Modell	
	100kW (Ingecon SUN 100TL)	3x400V bzw. 3x220V (TL)		
	500kW (Ingecon SUN 500 TL) (125kW Module)	220V	IT Netz	
PVPowered	260kW (PVP-260kW)	480V (+-10%)		
Refusol	630kW (Refusol 630k)	3 AC 315 V	externer Netztransformator notwendig	
SatCon	(500kW) E uropean Model	265V		
	(500kW) UL Model	480V		
	(500kW) UL Model (->1443A)	200/208V		
SIEMENS	(2x350kW) (716kW) (Sinvert 700MS)	400V		
	400V (350kW) (Sinvert 350M)	M Serie		
SMA	200...350kW	400V 380V	(Sunny Central Serie)	
	(250...500kW)	270V		
	630kW	315V		
Solar Konzept	150kW (SKN 413)	400V	Einspeisung 3 phasig	
Sputnik	330kW (SolarMax 330C-SV)	400V		
Voltwerk	110kW (VC WL 110)	400V	Benötigte Netzform: IT-Netz	
	270kW (VC WL 300 bzw. VIS 540)	270V		
Xantrex	630kW GT630E	375V		
	250kW GT250E	315V		

Großwechselrichter haben unterschiedliche Niederspannungen am Ausgang und speisen über einen Netztransformator in das Nieder- oder Mittelspannungsnetz ein.

Für die Realisierung der angegebenen Primärspannungen des Koppeltransformatoren haben die Hersteller der PV Wechselrichter einen gewissen Freiraum, um die Geräte bei diesen Spannungen zu opti-

mieren. Um dieser Situation im Labor gerecht zu werden, sollen diese Anschlussspannungen möglich sein.

Gleichbleibende Leistung bei geringer Spannung hat höhere Ströme zur Folge. Um die Überdimensionierung der elektrischen Infrastruktur zu vermeiden wird ein Koppeltrafo mit unterschiedlichen Anzapfungen am Abgang zum Prüfplatz vorgesehen.

2.3.1.2 Koppeltransformator

Ein Niederspannungs-Trenntransformator zum Ankoppeln von Großwechselrichtern mit von der Nennspannung abweichender Ausgangsspannung wird benötigt, um nicht das gesamte Niederspannungsnetz (Schaltverteiler) auf den weiten Spannungsbereich auslegen zu müssen. Dieser wird in der Nähe der Prüfplätze aufgestellt und hat folgende Kennwerte:

Trafotyp: Trockentrafo

Kurzschlussleistung $S_k=800\text{kVA}$

Primärspannung : 400V

Sekundärspannung: mehrere Anzapfungen, manuell umstellbar (Schrauben), Stern oder Δ Konfiguration:

- 400V
- 375V
- 315V
- 300V
- 270V
- 208V

- Strombelastbarkeit der Sekundärwicklung beachten (bei allen Anzapfungen 800kVA)
- Aufstellungsort am 700kW bzw. 250kW Prüfplatz bei Bedarf
- Verschließbare Anschlussbox oder ferngesteuerte Konfigurationsmöglichkeit.
- Ösen zum Krantransport wenn mobil
- oder Fixinstallation mit Fernschaltung auf der Bühne im Bereich vom Prüfplatz.

2.3.1.3 Prüfplätze

Ein Prüfplatz ist ein zusammenhängender Bereich im Labor, an welchem die zu betreibenden Komponenten (Device under Test DUT) aufgestellt, elektrisch angeschlossen und betrieben werden kann. Ferner sollen an dem Prüfplatz Messgeräte installiert und Messungen von Fachpersonal durchgeführt werden können.

Insgesamt sollen im Laborbereich folgende Anforderungen erfüllt sein:

- 3 Prüfplätze für auswechselbare Komponenten der DER
- 3 zusätzliche Prüfanschlüsse (im Schaltverteiler vorbereitet oder herausgeführt)
- insgesamt 6 Prüfanschlüsse unterschiedlicher Leistungsfähigkeit
- Anschlüsse größerer Leistung und Anschlüsse kleinerer Leistungen
- ein Bedientisch pro Prüfplatz, von jedem Bedientisch kann auf Grundfunktionen der Leittechnik zugegriffen werden.
- eine Bedieneinheit in der Leitwarte
- manuelle Interaktion am Prüfplatz möglich

Die Prüfplätze sollen über folgende Anschlüsse verfügen:

- AC Versorgung (Netz oder Netzsimulator, über Schaltverteiler auswählbar)
- DC Versorgung

- Kommunikationsleitungen (SCADA, Messbus, etc.)
- Interface zur Messtechnik
- Sekundärversorgungen (AC)
- Anbindung zu HIL

Prüfplatz 1: Wechselrichterprüfstand 30kW,

komplette Integration der bestehenden Einrichtung des Wechselrichterprüfstandes

Prüfling ist nicht besonders groß, wird neben dem Bedientisch platziert.

Versorgung des 30kW Simulators direkt von Trafo T1

Messtechnik für diesen Prüfbereich bereits vorhanden

Zusätzliche 16A AC Anschlüsse für Geräte

4x Ethernet zum Anschluss der Messgeräte und des Prüflings (Steuerung interner Funktionen) 2x SCA-DA Interface (EC 60870-5-104, IEC 61850), 1x frei konfigurierbar, 1x TechBase LAN

Prüfplatz 2: Wechselrichterprüfstand 700kW mit jeweils einem Anschluss zum 250kVA Netz und 700kVA Netz

Anschlusskasten für die Abgänge mit integrierter Messtechnik (SCADA)

Prüfplatz ist eine ausreichend große Schallschutz- und Temperaturzelle (Außenabmessungen 6x3,5m) mit Flügeltüren auf der Kopfseite

Prüfzelle wird in den Boden versenkt um den Niveauunterschied auszugleichen und Rampen zu vermeiden

Aggregat entweder auf der Zelle drauf oder auf Ebene im Nebenraum

Messtechnik wird lokal fix installiert

Anschlussklemmen werden in Prüfzelle fix installiert, optionaler Abgriff an den Anschlussschrank außerhalb

Zusätzliche 16A AC Anschlüsse für Geräte

4x Ethernet zum Anschluss der Messgeräte und des Prüflings (Steuerung interner Funktionen) 2x SCA-DA Interface (EC 60870-5-104, IEC 61850), 1x frei konfigurierbar, 1x TechBase LAN

Fibre Optic (?) RT-Simulation System

Prüfplatz LVF:

Anschlussschrank in der Hochstromversuchshalle. Leitungsabgang nur von der 700kVA Schiene.

Aufstellen eines Prüflings direkt am Anschlussschrank oder mit Verlängerung am Freifeldprüfplatz (betriebliche Organisation mit PSC)

Zusätzliche 16A AC Anschlüsse für Geräte

4x Ethernet zum Anschluss der Messgeräte und des Prüflings (Steuerung interner Funktionen) 2x SCA-DA Interface (EC 60870-5-104, IEC 61850), 1x frei konfigurierbar, 1x TechBase LAN

Zusätzliche Leitungsabgänge vom Schaltverteiler (Optionale Prüfplatzanschlüsse):

- 1x 250kVA
- 1x 700kVA

2.3.1.4 Netzimpedanzen

Für die Messung zur leitungsgebundenen Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ist es notwendig, einen Prüfling bei definierten (auch veränderbaren) Netzimpedanzen zu betreiben. Netzimpedanzen besitzen üblicherweise einen ohmschen und einen induktiven Anteil, und bilden damit je nach Bauteilwert unterschiedliche Leitungslängen nach. Netzimpedanznachbildungen mit definierten Werten (z.B.

Normnetzimpedanz) sind die Voraussetzung für leitungsgebundene Flickermessungen. Außerdem ermöglichen zuschaltbare Impedanzen eine stabile geschlossene Regelschleife für Power-Hardware-in-the-loop Versuchsaufbauten. Für eine sinngemäße Auslegung der Leitungsnachbildung sollen folgende Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

- Einstellbar (binäre Schaltstufen?) für unterschiedliche Leitungslängen-Äquivalent
- unterschiedliche Werte bei unterschiedlichen Übertragungsleistungen (je höher der Impedanzwert, desto kleiner die Übertragungsleistung)
- Impedanzwerte in Phase und Nullleiter
- Bypass (Netzimpedanz=0)
- Impedanzen für unterschiedliche Versuchsnetze (2 Versuchsnetze 700kVA, 250kVA)
- Wertebereich soll sich überlappen
- Unter Last schaltbar (Freilaufpfad der Speicherbauteile (Spulen) um bei Last ausschalten zu können.)
- Berücksichtigung der Kapazitäten zu Erde (siehe Ersatzschaltungen)

Zur Simulation/ Einstellung der Längs- (R, L) und Querimpedanzen (C) des elektrischen Verteilnetzes sind 2 Varianten möglich. T-Ersatzschaltung und π -Ersatzschaltung.

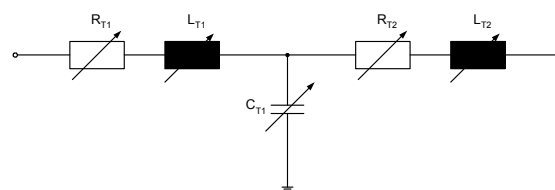


Abbildung 66: Leitungsimpedanznachbildung nach T-Ersatzschaltung

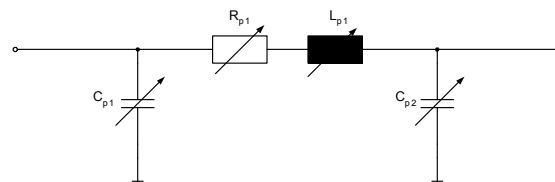


Abbildung 67: Leitungsimpedanznachbildung nach π -Ersatzschaltung

Referenzwerte

- Größe der Impedanzen: ca. 1%...5% der Generatorimpedanz
- Übertragungsleistung der Impedanz für a) 50kVA...650kVA, b) 50...250kVA
- R/X Verhältnis beachten! ($\sim 1...3$)
- Parallele bzw. serielle Verschaltung beider Netzimpedanzen möglich (a und b)

2.3.1.5 RLC Lasten

In elektrischen Verteilnetzen ist eine Vielzahl von dezentralen Verbrauchern angeschlossen. Um dieser realen Situation auch im Labor gerecht zu werden, sind auch elektrische Lasten/Verbraucher als Teil dezentraler Energietechnologien zu inkludieren. Geräte und Systeme, welche für die korrekte Funktionsweise elektrische Energie aus dem Verteilnetz beziehen haben oft unterschiedliche Charakteristika. Dies können einerseits rein ohmsche Verbraucher (elektrische Bodenheizung, Lampen etc.) oder Lasten mit signifikanten Blindleistungsanteil (Motoren, trapezförmiger Lastfluss bei Grossbetrieben, Leuchtstofflampen) und entsprechenden Ein- und Ausschaltströmen sein, andererseits auch nichtlineare Lasten aus einer Vielzahl von Leistungselektronischen Baugruppen (z.B. Computernetzteile).

Übersicht unterschiedlicher einphasiger Lasttypen (Schaltbild):

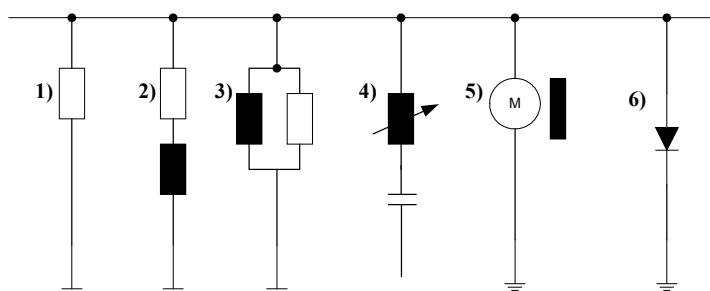


Abbildung 68: 1) ohmsch, 2) ohmsch-induktiv in Serie, 3) ohmsch-induktiv parallel, 4) Kompensationsanlage, 5) Motorlast, 6) nichtlineare Last (Leistungselektronik)

Dezentrale Erzeugungsanlagen können somit im Labor auch gemeinsam mit elektrischen Lasten betrieben werden. Besonders für die Anpassung der Erzeugungsleistung mit der Verbrauchsleistung ist im Falle eines Inselbetriebes von Bedeutung.

Das Prüfverfahren zur Inselbetriebserkennung von Erzeugungsanlagen sieht auch eine einstellbare Last für Wirk- und Blindleistung bis zur Nennleistung des Prüflings vor (VDE 0126-1-1 (DEU), CEI 11-20, V2 (ITA), IEEE 1547.1/UL1741 (USA)). Auch für allgemeine Lastnachbildungen soll eine konfigurierbare Last folgende Kriterien erfüllen:

- Gesamtleistung 750kW
- Modul A) 250kW, 250kVAr, $Q_f=1$ (Leistung 3phasig)
- Modul B) 500kW, 500kVAr, $Q_f=1$ (Leistung 3phasig)
- Einstellbar (ca. binäre Schaltstufen) in hoher Auflösung (Feinstufe)
- R, L und C unabhängig steuerbar
- Einphasig und dreiphasig steuerbar (Symmetrisch / asymmetrisch)
- A und B einzeln als auch kombinierbar (Gesamt A+B= 750kW, 750kVAr)
- Konfiguration Stern / Dreieck
- Kühlung der Verlustleistung:
 - o Lüfterkühlung: drehzahlgeregelte Lüftersteuerung, Lüftungskanäle ins Freie, Positionierung der Lasten in Nähe zum Luftaustritt ins Freie, Vermeidung von Kondensat, Feuchte von draußen vermeiden.
 - o Lüfterkühlung mit Wärmetauscher: kleine Rohre zum Rückkühler, trotzdem Lärmentwicklung des Gebläse, genügende Wärmeabfuhr?
 - o Wasserkühlung: Instandhaltung (Wartung) und Sicherheit! H_2O+e^- !!
- Messung der Spannungen, Ströme und Leistungen (P und Q) von R, L und C
- Hohe Messgenauigkeit vom Einstellwert der Last (eventuell mehrstufiges Meßsystem)
- Datenanbindung zum Auslesen der Messwerte
- Anschluss an das zentrale Steuerungssystem (SCADA Interface, IEC 60870-5-104, IEC 61850)
- Fernsteuerbar
- Programmierbar (Statische Lasten oder vorgegebenes Lastprofil)
- Toleranzen:
 - o R: $\pm 10\%$
 - o L: $\pm 5\%$
 - o C: $\pm 5\%$

- Toleranz der größten Schaltstufe muss durch entsprechende Maßnahmen abgedeckt werden können. Weißbereiche im Widerstandsverlauf sind nicht erlaubt.

Die Gesamtleistung von 750kW kann durch eine geeignete Parallelschaltung von 3 Modulen á 250kW erzielt werden. Eine Umschaltvorrichtung ist notwendig, um die angegebenen Leistungswerte sowohl in Stern- als auch in Dreieckkonfiguration zu realisieren. Eine binäre Abstufung Einzelelemente mit ausreichendem Überlappungsbereich aufgrund Bauteiltoleranzen ist eine bewährte Bauform.

Induktive Verbraucher könnten in Form eines kombinierten Maschinensatzes im Labor realisiert werden. Eine nähere Beschreibung dafür findet sich in Abschnitt 2.3.1.9.

Nichtlineare Lasten, wie Schaltnetzteile und ähnliche, können bei Bedarf installiert werden, entsprechende Anschlüsse werden im elektrischen Schaltverteiler dafür vorgesehen. Es ist nicht beabsichtigt, elektronische Verbraucher physikalisch nachzubilden, dies wird voraussichtlich in die Simulation verlagert (HIL).

2.3.1.6 Prü fzelle

Dezentrale Erzeugungsanlagen sollen Lebensdauertests unterzogen und bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen betrieben werden. Dabei kann die Anforderung auch einfach der Betrieb bei STC sein. Außerdem entwickeln rotierende Generatoren, wie auch elektronische Leistungsumformer, aufgrund des nicht optimalen Wirkungsgrades betriebliche Abwärme und unerwünschten Betriebslärm. Deshalb ist es notwendig, diese Anlagen im Prüfbetrieb in einer klimatisierbaren und schallgeschützten Zelle aufzustellen. Aufgrund der zu erwartenden Anlagen im Testfall können folgende Kennwerte für die begehbare Klima-Prüfzelle angegeben werden:

- Prüfvolumen 29 m³
- Prüfraumabmessungen B/T/H: 4000/2600/2800 mm mind.
Inkl. Innenbeleuchtung
- Türdurchgang B/H: 2600/2800 mm mind. Kopfseitig
- Temperaturbereich -40 °C bis +90 °C
- Prüfgutabsicherung einstellbare Temperaturbegrenzung
- Feuchtebereich bis 95 % relative Feuchte
- Ethernet interface (TCP/IP,) zur Anbindung an SCADA System (SCADA Interface, IEC 60870-5-104, IEC 61850)
- Prüfgut max. 2000kg -> 1200kg/m² Bodenbelastbarkeit
- Abmessungen des Prüfgutes
 - Xantrex GT630: H x B x T 215 x 250 x 80 cm
 - SMA Sunny Central 500HE: BxHxT = 2800 / 2120 / 850 mm
- Einhaltung aller geforderten Temperatur- und Feuchtigkeitsverläufe der Klimaprüfungen bei maximaler Abwärme des Prüfgutes
 - 10.11, 10.12 und 10.13 aus der Norm IEC 61215 Ed.2.0 [11]: 85% relative Feuchte bei 85°C
 - ENEL Guida connessione Ed I 12-2008 [12]: 93% relative Feuchte bei 40°C
- Abwärme des Prüfgutes: z.B. 630kW, bei 97% Wirkungsgrad -> 19kW
- Türen des Prüfgutes vorne und hinten müssen vollständig geöffnet werden können

- Schallschutz: Dämpfung der Geräuschemission von 80 dB auf mind. 60dB (Normale Zelle Schalldämmmaß 10-12dB, bei Sonderlösung bis zu 20dB möglich)
- Aufstellungsort ebenerdig, Absenkung zur ebenen Einführung des Prüfgutes
- Prü fzelle wird in den Boden versenkt um den Niveauunterschied auszugleichen und Rampen zu vermeiden (Achtung auf ausreichende Unterlüftung!)

2.3.1.7 DC Versorgung als Generator

Steuerbare DC Netzgeräte werden erfolgreich eingesetzt unter anderem für die Simulation und Substitution reeller DC Quellen wie Batterien, Solarpanels, Brennstoffzellenstacks.

Mit derartigen Geräten lässt sich eine sehr hohe Dynamik der Ausgangsgrößen wie DC-Strom, -Spannung, -Leistung und simuliertem Innenwiderstand realisieren. Die Anwendung zur Speisung von Photovoltaik-Wechselrichtern stellt eine vergleichsweise schwierige Anforderung dar, weil ein hoher Spannungsbereich und ein hoher Strombereich mit hoher Systemdynamik abgedeckt werden soll.

Wesentliche Anforderungen an eine Gleichstromversorgung:

- Eingangsspannung 3x400V
- Ausgangsspannung 0...1000V
- Ausgangsstrom 0...1000A
- Ausgangsleistung 750kW
- Modularer Aufbau (z.B. 250kW + 500kW)
- Geringe Restwelligkeit
- Hoher Wirkungsgrad
- Integrierbar in Systemkühlungskonzept
- Mindestens 4 unabhängige DC Strings
- Flexible Steuerung (Programmierung von Skripts, Eignung als PV Simulator)
- Integration in SCADA System
- Versorgung über einen sekundären Trafo um gegenseitige Beeinflussung mit DUT am AC Netz zu vermeiden.

2.3.1.8 Verbrennungskraftmaschinen

Klein- und Kleinstkraftwerke finden immer mehr Einzug in die Haushalte und Gewerbegebäude. Diese Erzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK, combined head and power - CHP) sind elektrisch an das Niederspannungsnetz und thermisch an die vorhandene Heizungsanlage oder ein Fernwärmenetz angekoppelt. Die Anlagen werden zumeist wärmegeführt betrieben und das Nebenprodukt Strom wird entweder lokal verbraucht oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Typische Beispiele solcher Anlagen sind:

- Mikrogasturbine CHP (60-100kWel, 150kWth)
- Gas micro CHP (75 kWel, 220kWth)
- Biodiesel CHP, (5-100kWel)
- Stirlingmotoren (CHP) (5-10kWel)
- Brennstoffzelle (5-10kWel)
- Dieselgenerator (100e von kW)
- Fesstoff-CHP (Pellets) (5-10kWel)

Um diesen Anlagen der dezentralen Erzeugungstechnologien auch in einer experimentellen Versuchsumgebung betreiben zu wollen sind einige Aspekte zu berücksichtigen:

- Brennstoff
 - Gasanschluss (Berechtigung)
 - Dieseltank
 - Pelletslager
- Abgassystem (Rohre, Filter, Wartung)
- Hydraulik
- Sicherheitsmaßnahmen
- Betriebskosten
- Gleichzeitigkeitsfaktor bei thermischen Verbrennungskraftmaschinen (Kühlleistung von HKLS)

Die zu erwartende Häufigkeit von Prüf- und Versuchsszenarien mit beschriebener Verbrennungskraftmaschinen steht nicht dafür, das Laborkonzept auf diese Anlagen auszulegen, weil allein der Aufwand für die Bereitstellung von Brennstoff und die Abführung der Abgase in der permanenten Laborinstallation sehr aufwändig ist. Diese Technologien werden bedarfsorientiert im SimTech Labor an Freifeldprüfplätzen mit lokalen Tanks/Brennstoffbehältern betrieben und die elektrischen Verbindungen mit dem Schaltverteiler und die Datenverbindung mit dem SCADA System mit „fliegenden“ Kabeln hergestellt.

Die meisten Klein-KWK Anlagen wandeln die mechanische Energie über drehzahlvariable AC oder DC Generatoren in elektrische Energie um und sind auf der Netzseite mit einem elektronischen Umrichter ausgestattet. Eine steuerbare AC oder DC Quelle könnte den Generator (inkl. Verbrennungskraftmaschine mit Kraftstoffeinsatz) ersetzen und der Wechselrichter bildet nach wie vor die Netzschnittstelle. Damit können kleine KWK Anlagen ohne Kraftstoffeinsatz und weitere Betriebskosten im SimTech Labor mit entsprechenden Erzeugungsprofilen und simulierter Dynamik nachgebildet werden.

2.3.1.9 Option: Maschinenbank

Die Verwendung einer flexibel gestalteten Maschinenbank ermöglicht die Simulation der Verbrennungskraftmaschine od. Rotors mit drehzahlvariablen und steuerbaren Maschinen

(z.B. Drehzahlvariabler Motor / Generator (Windsimulator) (5-50kW)).

Der Vorteil liegt in der hohen Flexibilität, die Anlagen sowohl im Motor als auch im Generatorbetrieb laufen zu lassen. Außerdem benötigen elektrische Maschinen im Labor keinen Brennstoff, sind emissionsfrei und (fast) wartungsfrei.

Das Übersichtsschaltbild in Abbildung 69 zeigt eine mögliche Ausführung der Maschinenbank im SimTech Labor.

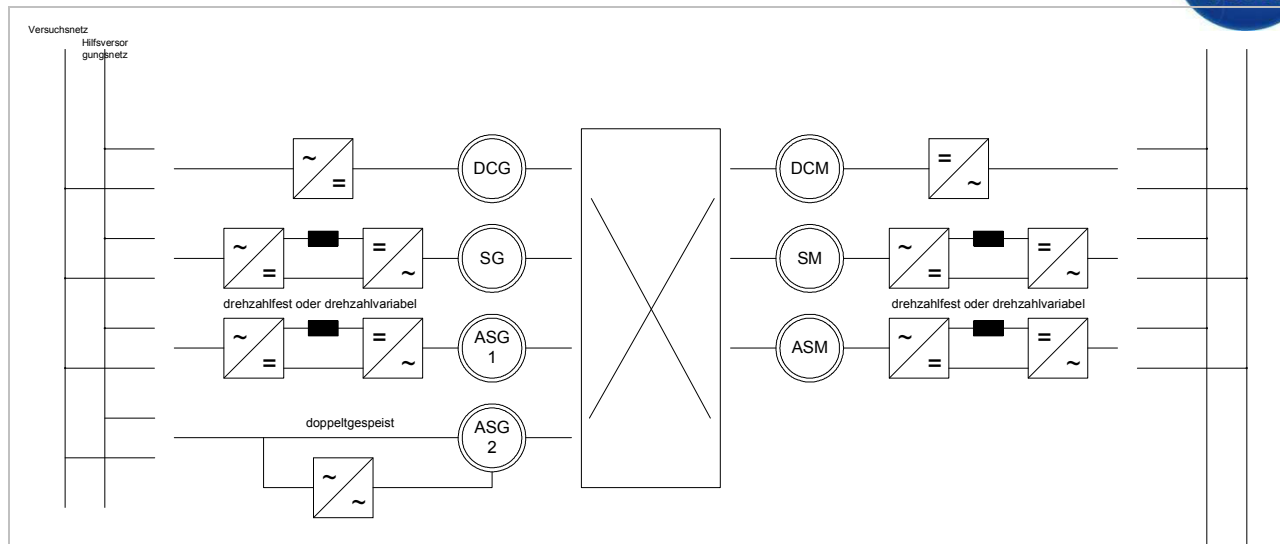


Abbildung 69: Mögliche Konfiguration eines Maschinensatzes mit unterschiedlichen Antriebstechnologien

DCG: Gleichstromgenerator

DCM: Gleichstrommaschine

SG: Synchrongenerator

SM: Synchronmaschine

ASG: Asynchrongenerator

ASM: Asynchronmaschine

X: die Maschinen können mit den Generatoren flexibel über Flanschkupplungen mechanisch miteinander verbunden werden. Die Maschinen sollen im Motor- wie auch im Generatorbetrieb laufen.

DER mit einer Nennleistung größer 700kW werden bei den Testaufbauten nicht in Betracht gezogen. Die maximale Übertragungsleistung des Prüfnetzes beträgt 700kVA (bzw. 700kW).

Reale Komponenten mit höheren Gesamtleistungen als die maximale Leistung des Versuchsnetzes werden maßstäblich im Modell berücksichtigt. z.B. Windturbinen großer Leistung (MW) werden nur als Modelle nachgebildet, diese müssen aber noch verifiziert werden. (Evtl. durch Messungen an realen Anlagen). Der Maschinensatz bietet hierbei die entsprechende flexible Plattform für skalierte Systemtests.

2.3.1.10 Option: Batterien

- Chemische Speicher
 - Bleiakkus
 - Div. Batterietechnologien
 - Redox-Flow Batterie
- Elektrische Speicher
 - Supercaps
- Mechanische Speicher
 - Schwungrad (Flywheel)

Folgende Aspekte müssen bei der Verwendung von Batterien berücksichtigt werden:

- Sicherheitsmaßnahmen bei chemischen Speichern
 - Personenschutz
 - Explosionsschutz
 - Umweltschutz

- Entlüftung
- Gewicht / Transport
- Wartung / Betriebskosten

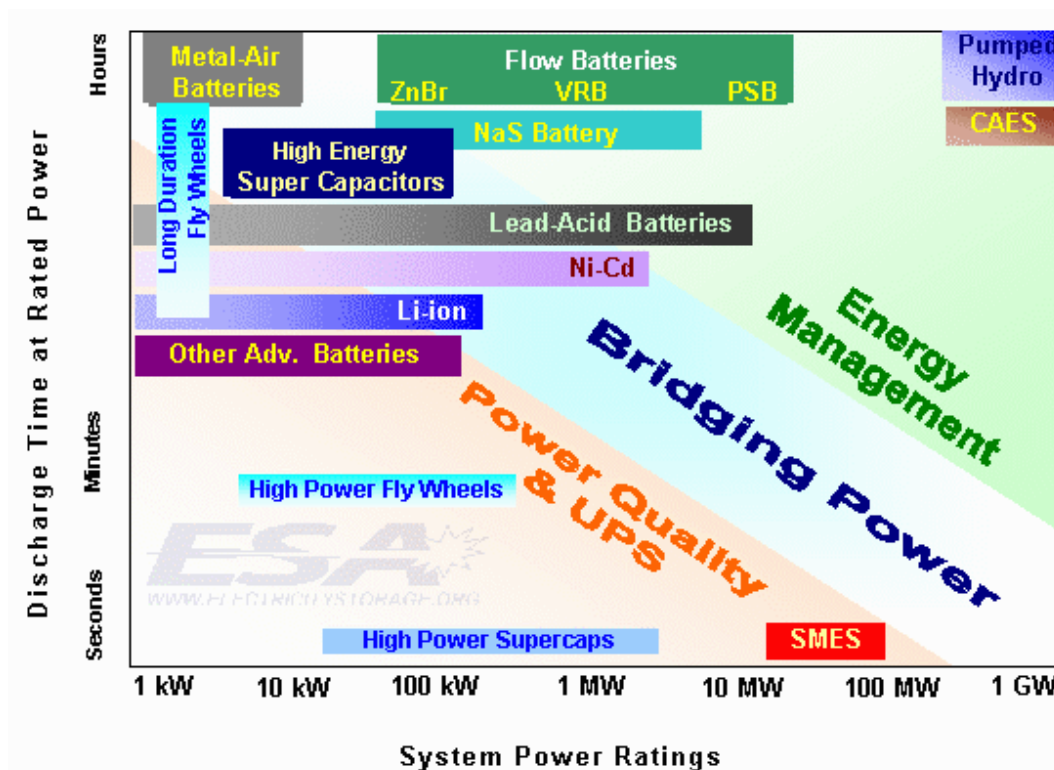


Abbildung 70: Leistungs- und Energieübersicht der Batterietechnologien zum Speichern elektrischer Energie.

Es ist nicht die Aufgabe des SimTech Labors, Einzelprüfungen an Batterien vorzunehmen, vielmehr sind elektrische Energiespeicher als Teil des gesamten elektrischen Energiesystems im Zuge von Systemanalysen in Erwägung zu ziehen.

Systemanalysen (Inselbetrieb etc.) <-> Komponentenprüfung

Es wird aufgrund der oben genannten Aspekte kein permanenter Aufstellungsort für chemische Speicher vorgesehen, elektrische und mechanische Speicher lassen sich als Komplettsystem (inkl. Passender Leistungselektronik) leicht am Prüfplatz einer DEA installieren. Sollte der Bedarf für den Betrieb chemischer Energiespeicher entstehen, so wird ein Freifeldprüfplatz mit geeigneter elektrischer Verbindung angedacht.

2.3.2 Evaluierung von Betriebs- und Testszenarien

Um die Hardwareanforderungen dem zukünftigen Betrieb anzupassen, wurden alle möglichen und gewünschten Testfälle und Prüfbedingungen erfasst. Dabei ist der Normalbetrieb als auch der Störungsbetrieb relevant. Weiters wurden die Konfigurationsmöglichkeiten des Verschaltungskonzeptes, die Messtechnik, der Raumbedarf und die Hardware-Spezifikationen abgestimmt.

Die geplanten Testfälle lassen sich in folgende Bereiche unterteilen:

- Systemanalysen
- Netzsimulationen
- Komponententests

2.3.2.1 Systemanalysen (Hardware-in-the-loop)

- Untersuchung der gegenseitigen elektrischen (und thermischen) Systemauswirkungen und Interaktionen (->Schnittstelle zu RT-System)
- PHIL an Einzelkomponenten (Überschaubare Komplexität)
- Test der Inselbetriebsfähigkeit und Re-Synchronisierung mit übergeordnetem Netz
- Wechselwirkungen zwischen Komponenten beim Anschluss mehrerer Erzeuger und Verbraucher (inkl. Leistungslängen)
- Einfluss von Spannungsreglern, sog. FACTS (seriell und parallel), in Zusammenspiel mit dezentralen Erzeugungseinheiten.

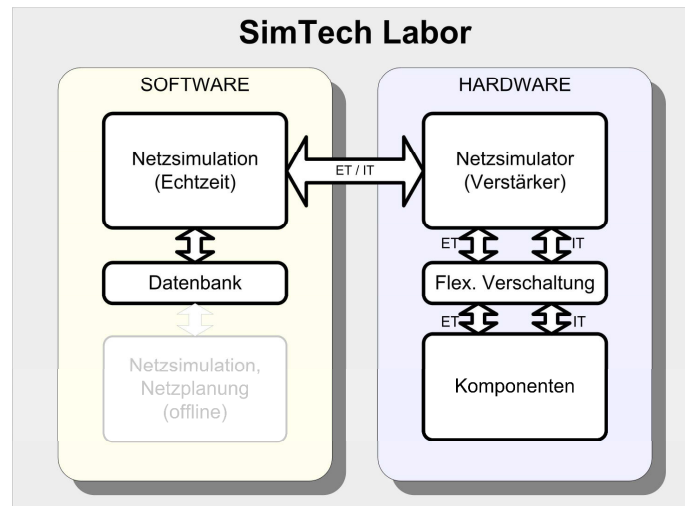


Abbildung 71: SimTech Labor Übersicht: Systemanalysen

2.3.2.2 Netzsimulationen

Für eine detaillierte Beschreibung der Netzsimulationen sei auf 2.2 verwiesen. Die resultierenden Anforderungen an die Infrastruktur reduzieren sich auf aktuelle Computerhardware mit den entsprechenden Softwarepaketen. Eine weitere Voraussetzung ist eine zentrale Datenbank mit entsprechenden Modellen von Komponenten der dezentralen Energieversorgung, Betriebsmittel und Systemen unterschiedlicher Spannungsebenen von elektrischen Netzen. Einerseits kann auf die Datenbank von offline Netzrechnungstools zugegriffen werden, andererseits stehen die gleichen (oder modifizierten) Modelle für die Echtzeitsimulation im Zusammenspiel mit Hardware-in-the-loop Untersuchungen zu Verfügung.

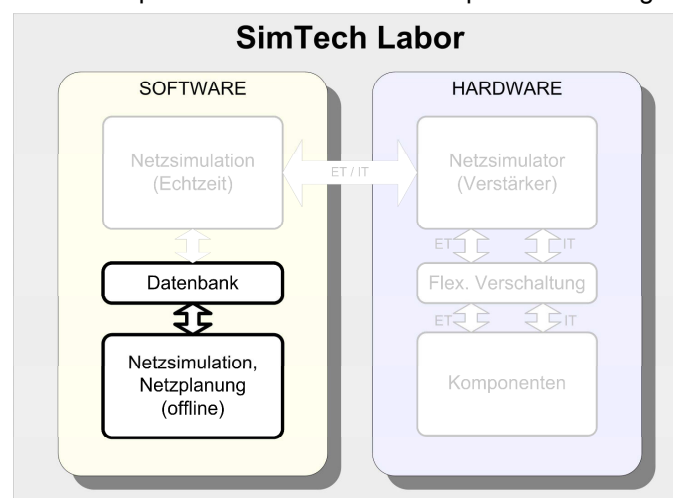


Abbildung 72: SimTech Labor Übersicht: Offline Netzsimulationen

2.3.2.3 Komponententests

Die Prüfungsumgebung besteht aus einem oder mehreren Netzsimulatoren, die Tests bei verschiedenen Netzfrequenzen und Spannungsformen für Wechselrichter unterschiedlicher Nennleistung ermöglichen. Netzimpedanznachbildungen und variable lokale Lastnachbildungen können flexibel konfiguriert werden. Mit Hilfe eines dynamischen Simulators können beliebige I/U Kennlinien generiert werden um damit unterschiedliche DC Generatoren nachzubilden. Das beschriebene Testsetup für Komponenten (Photovoltaikwechselrichter) ermöglicht realitätsnahe Untersuchungen und Tests von Wechselrichtern für unterschiedliche Länder. Alle Betriebs- und Prüfbedingungen gelten sowohl für ein- als auch für dreiphasige Konfiguration.

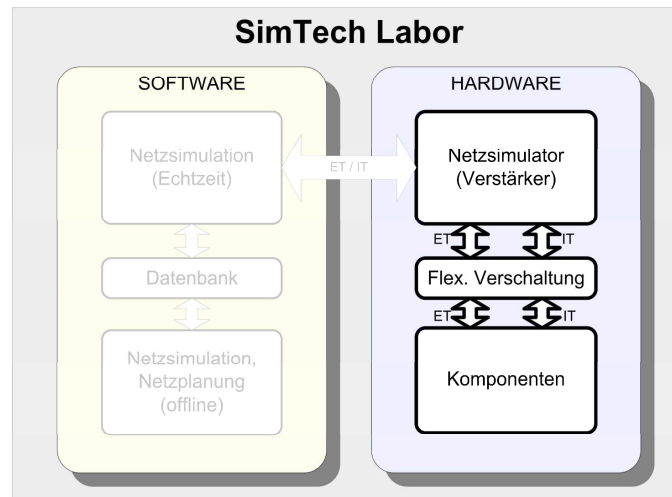


Abbildung 73: SimTech Labor Übersicht: Komponententests

Betriebstests (Standardtests)

- Umwandlungswirkungsgrad $\eta = P_{AC}/P_{DC} = f(P_{DC}, \dots)$ bei verschiedenen Bedingungen - daraus Bestimmung des Spitzenwirkungsgrades sowie des europäischen Wirkungsgrades *)
- Stationärer und dynamischer MPP-Tracking-Anpassungsgrad $\eta_{MPPT} = f(P_{DC}, \dots)$ (mit vorgegebenen Ganglinien / Einspeiseprofil)
- Ein- und Ausschaltleistung DC-seitig, Standby Leistung AC-seitig
- Oberschwingungsanalysen entsprechend der EN 61000-3-2
- Prüfungen der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche und -schwankungen nach EN 61000-4-11/EN 61000-6-1/ EN 61000-4-13
- Leitungsgebundene Funkstörspannungen AC-seitig bei verschiedenen Leistungen
- Messungen des Verhaltens bei hohen Umgebungstemperaturen

Prüfung der eingebauten Schutzeinrichtungen

- Statischer und dynamischer Test der Spannungs- und Frequenzüberwachungseinrichtungen (entsprechend der gegebenen Grenzen), inkl. Messung der Abschaltzeiten.
- Test der Inselerkennung nach den jeweiligen Vorschriften und nationalen Standards (z.B. VDE 0126-1-1 [13], UK ER G83/1 [14],...) bei angepasster Last, Impedanzsprung
- Beeinflussung durch Rundsteuersignale (der Netzspannung überlagerte tonfrequente Rundsteuersignale im Bereich 200 Hz bis 2 kHz)
- Verhalten bei Netzausfall und Kurzschlüssen (z.B. durch Auslösen von Sicherungen oder Sicherungsautomaten) bei Betrieb mit Nennleistung und Messung der dabei auftretenden Spannungstransienten (belastender Test)

2.3.2.4 Systemanforderung

Die resultierenden Systemanforderungen an die Infrastruktur gemäß den bereits beschriebenen Prüf-szenarien wurden auf das in 2.2 erarbeitete Verschaltungskonzept angewendet. Alle Betriebs- und Prüfbedingungen gelten sowohl für ein- als auch für dreiphasige Konfiguration. Dies gilt für:

- Normalbetrieb
- Störungsbetrieb
- Test- und Prüfbedingungen: Gewünschte – Mögliche

Das Verschaltungskonzept soll folgende Möglichkeiten bieten:

- Dichte / Anzahl der DEA und Verbraucher beliebig, bis zu einer Gesamtleistung, die von der Leistungskapazität des Prüfnetzes begrenzt wird.
- Anschlusskombinationen: 1-phasige Anschlüsse (230V, 50Hz), 3-phasige Anschlüsse (400V, 50Hz), Erdungskonfigurationen, Transformatorkonfigurationen.
- Kombinationen von unterschiedlichen DEA und Technologien mit unterschiedlichen Leistungen
- Kombinationen von Anschlussleitungen zwischen Verteilnetzes und DER und DER untereinander (Abzweiglänge, Konfiguration des Transformators):
- Betrieb als Ringnetz, Strahlennetz oder als Maschennetz (konfigurierbar)

In der nachfolgenden Tabelle 12 werden die Anzahl der erforderlichen Systemkomponenten für die beschriebenen Prüffälle zusammengefasst.

Tabelle 12: Ermittlung der erforderlichen Betriebsmittel für unterschiedliche Prüf-szenarien

Test- oder Prüf-szenario		P	SIM	NN	RLC
Prüfung Netzschnittstelle		1	1	-	-
Messung Performance		1	1	-	-
EMV (Verhalten b. Netzstörung, U/f/Hx)		1	1	1	-
Dyn. Netzstützung		1	1 (Stromtragfähigkeit)	(1)	-
Stat. Netzstützung (P/Q)		1	1	1	-
Inselbildung (AI)		1	1	(1)	1
Inselfähigkeit	Min	1	1	1	1
	max	n	1	k	m
Wechselwirkungen zwischen Komponenten	Min	2	1	2	m
	Max	n	1	k	m
FACTS (seriell)	Min	1	1	2	1
	Max	n	1	k	m
FACTS (parallel)		2	1	1	1

P: Prüfplatz

SIM: 3phasiger Simulator (Annahme: 4 Quadranten Verstärker!!) , alternativ Netzanschluss

NN: Netznachbildung

RLC: Last

VR: Längselement (z.B. Längsregler, Voltage regulator)

k, m, n, : ganzzahlige Variable (je nach Anwendung und Umfang der Untersuchung)

Systemanalysen und Komponententests mittels Hardware-in-the-loop

Wie in Deliverable 2.2 bereits beschrieben, kann mithilfe eines Echtzeit Simulationssystems ein Teil der elektrischen Komponenten und Netze als mathematische Modelle nachgebildet werden, deren Verhalten simuliert und mittels einer geeigneten Schnittstelle (power interface) mit realen Komponenten und realen Netzen (bzw. realen Netznachbildungen, soll heißen real existierenden Bauteilen) gekoppelt (HIL Hardware in the loop) werden. „Hardware in the loop“ Modell Nachbildung einer Netzsimulation für beliebige „virtuelle Netze“, welche über einen realen Netzsimulator in das dezentrale Energiesystem eingekoppelt werden kann. Eine Rückkopplung der Auswirkungen auf die nachgebildete Netzanbindung ermöglicht relevante Analysen über gegenseitige Wechselwirkungen (Komponente-Netz; Netz-Komponente). Für diese Art der HIL Simulation werden Leistungsverstärker (im sogenannten power interface) benötigt.

Besondere Anforderungen im Störungsbetrieb

Sicherheit im Niederspannungsnetz

Durch die Kombination zentraler / dezentraler Energieerzeugungseinheiten ergeben sich in Smart Grids bidirektionale Kurzschlussströme (Fehlerströme) im Fehlerfall, die ein Fehlverhalten bzw. Nichtauslösen von Schutzelementen mit sich bringen können und damit die Netzsicherheit und in weiterer Folge die Personensicherheit gefährden können. Um Antworten für Fragestellungen im Zusammenhang mit der Smart Grid Thematik zu finden wird folgendes Untersuchungsmodell (Abbildung 74) als Grundlage für Simulationen und sicherheitsrelevante Untersuchungen vorgeschlagen.

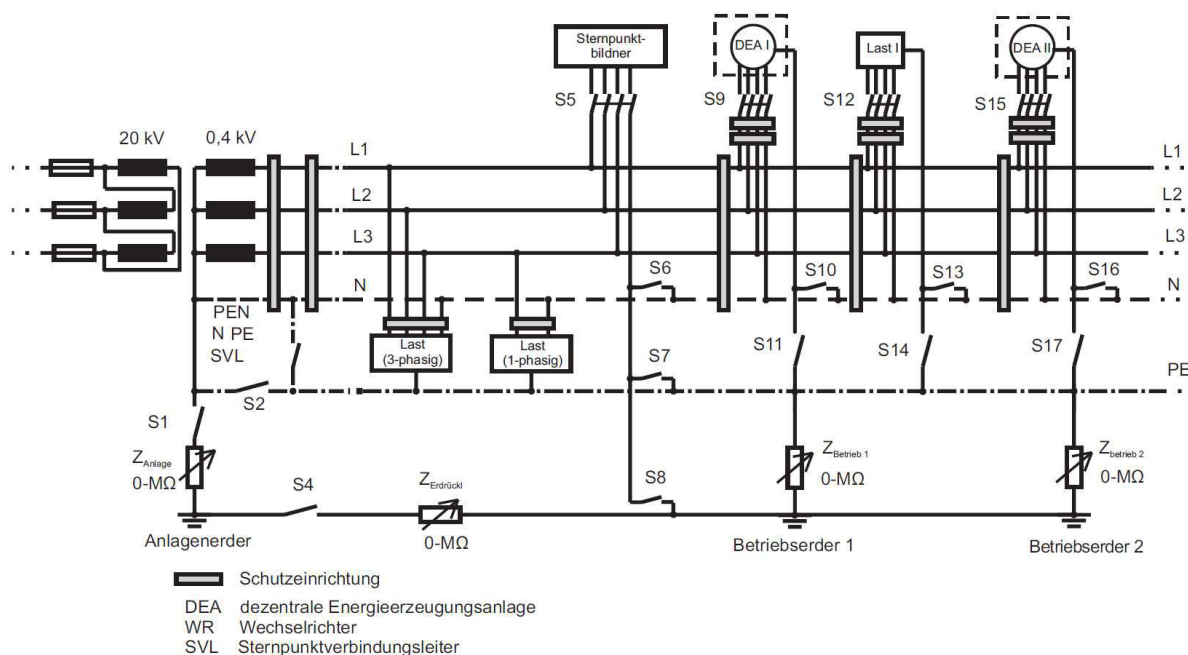


Abbildung 74: Untersuchungsmodell für Sicherheitsbelange in Niederspannungsnetzen [16]

Die Realisierung dieses Untersuchungsmodells wird durch Herausführen des Sternpunktes am Prüfrafo und die Konfigurationsmöglichkeit des Erdleiters an S2 ermöglicht. Dies erlaubt die Erdungsvarianten für IT und TN Netz, wobei beim Betrieb als IT Netz besonders auf den Personenschutz geachtet werden muss.

Überspannungsbetrieb

Die italienische Netzanschlussnorm für dezentrale Erzeugungsanlagen DK5940 [15] sieht für die Prüfung der sog. Over Voltage Protection (Überspannungsschutz) eine Beaufschlagung mit 275 Volt (Phasen-Spannung) vor. Dies wird auch bei der Auslegung des Versuchsnetzes und den Betriebsmitteln berücksichtigt indem eine Betriebsspannung mit $\pm 20\%$ Abweichung vom Nennwert erlaubt ist.

Zusammenfassung

Eine breit gefächerte Auswahl an unterschiedlichen Erzeugungstechnologien wurde für den Einsatz im SimTech Labor analysiert. Der primäre Fokus bei dezentralen Erzeugungsanlagen liegt auf elektronischen Wechselrichtern. Diese stellen die Schlüsseltechnologie bei der Konvertierung von primär erzeugtem Gleichstrom oder Frequenz-/Spannungs-variablem Wechselstrom in netzkonformen Wechselstrom dar.

Kleine KWK Anlagen können ohne Kraftstoffeinsatz und weitere Betriebskosten im SimTech Labor mit Hilfe steuerbarer AC und DC Quellen, entsprechenden Erzeugungsprofilen und simulierter Dynamik nachgebildet werden. Damit entfallen die aufwändigen Anforderungen an die Vorbereitung und Installation für DER mit Verbrennungskraftmaschinen. Für den Betrieb im Anlassfall ist ein Freifeldprüfplatz vorgesehen.

Eine realistische Analyse der gegenseitigen elektrischen Systemauswirkungen und Interaktionen wird durch das flexible Verschaltungskonzept und den gleichzeitigen Betrieb von dezentralen Erzeugungsanlagen, Speichersystemen und Verbrauchern ermöglicht.

Der Einfluss der thermischen Interaktion wird nur im Rahmen von synthetischen Erzeugungsprofilen mit Kopplung an elektronische Wechselrichter nachgebildet. Auf diese Weise können die Anforderungen von Technologien und Systemen (State of the art und zukünftige Technologien) des dezentral strukturierten Energiesystem in flexibler Weise im SimTech Labor entsprochen werden.

Es wurden alle gewünschten Testfälle und Prüfbedingungen, welche im Labor durchführbar sein sollen, beschrieben und die Konfigurationsmöglichkeit des Verschaltungskonzeptes abgestimmt. Die geplanten Testfälle lassen sich in folgende Bereiche unterteilen:

- Netzsimulationen
- Komponententests
- Systemanalysen

Netzsimulationen und Komponententests in beschränktem Maße gehören bereits zu den laufenden F&E Aktivitäten, wobei Untersuchungen zu dynamischen und statischen Netzstützungs-Funktionen von DER in zukünftigen Anschlussrichtlinien für Mittelspannung und Niederspannung verankert sind. Die Struktur des Verschaltungskonzeptes mit den integrierbaren Technologien bietet die geeignete Plattform zur Untersuchung von innovativen Smart Grids Ansätzen (Zellebetrieb, Inselbetrieb, Micronetze, ET und IKT).

Zukunftsweisende Spannungsregelungen (z.B. mittels FACTS) sind Thema heutiger F&E Projekte um die NS und MS Netze zu regeln und Netzausbau zu optimieren. Diese Betriebsfälle runden das Portfolio der Betriebs- und Testszenarien im gezeigten Verschaltungskonzept des SimTech Labors sinnvoll ab.

2.4 Ausbaustufen

Als Grundlage für die spätere Planungsgrundlage werden unterschiedliche Ausbaustufen in Betracht gezogen, welche in iterativer Form analysiert werden. Hier kommen unterschiedliche Kriterien zur Geltung, welche in optimaler Weise erfüllt werden sollen: Raumangebot - technischer Entwurf - Finanzierung.

Der erste Schritt dabei war die Ermittlung der räumlichen und örtlichen Rahmenbedingungen und die Auswahl der Installationsfläche. Das Technische Konzept für Simulation, elektrischer Verschaltung, Messtechnik, Technologieportfolio wird entworfen. In unmittelbarer Abhängigkeit zur ersten Grobkostenschätzung und der zur Verfügung stehenden Fläche (Raumplan) werden eine Reihe von weiteren möglichen Ausbaustufen (Skalierung von Hardware und Funktionalität in Abhängigkeit vom Finanzierungsplan) diskutiert. Für die best geeignete Ausbauvariante wird ein zugehöriges Raum Funktionsdiagramm erstellt, um den Platzbedarf frühzeitig und möglichst genau abschätzen zu können. Dabei werden die Arbeitsabläufe durchgespielt und eventuelle Barrieren entschärft. Da das Modell der Ausbaustufen und der Raumplan laut Projektplan eng miteinander verbunden sind, werden diese im folgenden Abschnitt 2.4.1 zusammengefasst.

Abschließend wird die Grobkostenschätzung für die Endvariante dargestellt.

2.4.1 Modell für Ausbaustufen und Raumplan

In diesen Arbeitspaketen wird eine Reihe von möglichen Ausbaustufen für die Laboreinrichtung und deren Auswirkung auf die wissenschaftlichen Untersuchungsmöglichkeiten diskutiert. Diese stehen in unmittelbarem Zusammenhang zur Grobkostenschätzung und der zur Verfügung stehenden Fläche (Raumplan für existierende Immobilie). Dabei wird die Machbarkeit und Integrationsmöglichkeit der in 2.4.1 definierten Ausbaustufen in den zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten eruiert. Die Skalierung von Hardware, Infrastruktur und Funktionalität unter Berücksichtigung des Anforderungskataloges erfolgt in einem iterativen Prozess in Abhängigkeit vom Finanzierungsplan.

2.4.1.1 Variante 300/15

- Maximale Systemleistung: 300kVA
- Anzahl der Prüfplätze: 15
- Erzeugungstechnologien: verschiedene
- Räumlichkeiten: EnergyBase, Wien Floridsdorf
- Echtzeitsimulationssystem: z.B. RTDS
- AC Simulator: Linearverstärker
- Schaltanlage & Systemtechnik: auf Bühne (1. Stock) und im Technikraum (TG)
- Anzahl der Klimaprüfzellen: 5

2.4.1.2 Variante 500/8

Da die Anzahl der elektrischen Abgänge und damit die Anzahl der Prüfplätze entscheidend für die Gesamtkosten sind, wurde deren Anzahl reduziert. Gleichzeitig konnte die Systemleistung erhöht werden, da einerseits der Gesamtaufwand für den Schaltverteiler nicht wesentlich steigt und andererseits die steuerbare Wechselspannungsquelle (AC Simulator) in wesentlich günstigere SMPT-Technologie ausgeführt werden soll.

- Maximale Systemleistung: 500kVA
- Anzahl der Prüfplätze: 8

- Erzeugungstechnologien: elektronische Leistungsumrichter, Maschinensatz, CHP nur bei Bedarf.
- Räumlichkeiten: Techbase, Halle „SimTech“, Längsteilung
- Echtzeitsimulationssystem: z.B. RTDS oder Opal-RT
- AC Simulator: Linearverstärker 30kW, Swiched mode power supply 500kW
- Schaltanlage & Systemtechnik: auf 2 Bühnen und auf Bühne im Korridor
- Anzahl der Klimaprüfzellen: 2

2.4.1.3 Variante 700/6

- Maximale Systemleistung: 700kVA
- Anzahl der Prüfplätze: 6, davon 3 stationäre Prüfplätze
- Erzeugungstechnologien: elektronische Leistungsumrichter
- Räumlichkeiten: Techbase, Halle „SimTech“, Querteilung
- Echtzeitsimulationssystem: z.B. Opal-RT
- AC Simulator: Linearverstärker 30kW, Swiched mode power supply 700kW
- Schaltanlage & Systemtechnik: auf Bühne und auf Bühne im nebenliegendem Raum für elektrische Betriebsmittel (Umformerraum, Technik Antriebstechnik)
- Anzahl der Klimaprüfzellen: 1
- DC Versorgung als wesentliche Komponente!

Die wesentlichen Aspekte dieser Ausbauvariante sind:

- Der Leistungsbereich bis 700kW deckt die Nennleistung des größten momentan am Markt befindlichen Einzel PV-Wechselrichters ab (630kW).
- Der Leistungsbereich bis 700kW entspricht einer typischen Leistung im Niederspannungsverteilnetz.
- Die Anzahl an unterschiedlichen Prüfplätzen wurde gemäß dem zur Verfügung stehenden Raum reduziert.
- Die bestehende Infrastruktur kann wiederverwendet werden, bzw. sinnvoll erweitert (z.B. 20kV Netzanbindung)
- Optimale Nutzung bestehender Laborfläche (z.B. Betriebsraumes mittels erhöhtem Prüfmittelboden)
- eigener Zugang zu Leitwarte, Zugang zu Hallentor vereinbart
- Zugänglichkeit zu Prüfmittelböden hinsichtlich Wartung (Verwendung des Hallenkranes auf allen Prüfmittelböden)
- Aggregate für Klimakammer im Betriebsraum
- Einhausung von Lärm- und Wärme erzeugenden Geräten im Achsabschnitt 1 möglich
- Eine Klimaprüfzelle, dafür hohe Anforderung an Spezifikation
- Platz für Prüfgutlager, Prüfgutvorbereitung, Arbeitswege, Sonderinstallationen
- Kurze Anbindung an bestehendes Power Service Center (PSC)
- Aufstellung Klimatechnik am abgesetzten Dach
- Integration von RT-Simulationssystem leicht über Bedienraum möglich

Zusammenfassung

Als Grundlage für die spätere Planungsgrundlage wurden unterschiedliche Ausbaustufen in Betracht gezogen, welche in iterativer Form analysiert wurden. Hier kamen unterschiedliche Kriterien zur Ge-

ltung, welche in optimaler Weise erfüllt werden sollten: Raumangebot - technischer Entwurf - Finanzierung.

Der erste Schritt dabei war die Ermittlung der räumlichen und örtlichen Rahmenbedingungen und die Auswahl der Installationsfläche. Das Technische Konzept für Simulation, elektrischer Verschaltung, Messtechnik, Technologieportfolio wurde entworfen. In unmittelbarer Abhängigkeit zur ersten Grobkostenschätzung und der zur Verfügung stehenden Fläche (Raumplan) wurden eine Reihe von weiteren möglichen Ausbaustufen (Skalierung von Hardware und Funktionalität in Abhängigkeit vom Finanzierungsplan) diskutiert. Die „Variante 700/6“ wurde als die zu implementierende Ausbaustufe erarbeitet.

2.4.2 Wirtschaftliche Umsetzungsstrategie (Grobkostenschätzung)

Für die in 2.3 und 2.4 erarbeiteten Komponenten und Infrastruktur werden Angebote eingeholt. Der Aufwand für Planung, Installation, Inbetriebnahme wurde auf Basis des erstellten Konzeptes abgeschätzt.

Variante 300/15

Der Aufwand für Planung, Installation, Inbetriebnahme dieser Variante beläuft sich auf ca. 5.1 Mio € und setzt sich aus den folgenden Projektteilen zusammen:

RT-Simulator: Simulationsrechner, Softwarelizenzen, Peripherie (I/O Geräte), Richtpreise von RTDS

AC Simulator: steuerbare Wechselspannungsquelle bis 290kW in Lineartechnologie

DC Quellen: keine.

Herstellungskosten Elektro: 2 Mittelspannungstrafo, MS-Kompaktschaltanlage, Schaltverteiler inkl. Leit- und Messtechnik für Schaltanlage, RLC Lasten, Serienimpedanzen, Ankopplung an das 20kV Mittelspannungsnetz und Verbindung zu EnergyBase Anschlussgebühren seitens des Netzbetreibers..

Mess- u Kommunikationstechnik: Präzisions-Leistungsmesstechnik für 4-Leitermessung

Herstellungskosten HKLS: Klimaprüfzellen inkl. Aggregate, Heizung, Lüftung, Kühlung von Geräten und Systemen, inkl. Schallschutz

Bauliche Maßnahmen: Durchbrüche für Türen und Leitungen, Aufbau für Gerätebühne, Einhausung Leitwarte, Aufstellung Prüftransformatoren

Planung, Inbetriebnahme

Variante 700/6

Der Aufwand für Planung, Installation, Inbetriebnahme wird auf Basis des erstellten Konzeptes auf ca. 7.5 Mio € beziffert und setzt sich aus den folgenden Projektteilen zusammen:

RT-Simulator: Simulationsrechner, Softwarelizenzen, Peripherie (I/O Geräte), Richtpreise von OPAL-RT.

AC Simulator: steuerbare Wechselspannungsquelle bis 700kW in SMPS Technologie

DC Quellen: steuerbare Gleichstromquelle bis 700kW in SMPS Technologie, modularer Aufbau, Richtpreis von namhaften Hersteller.

Herstellungskosten Elektro: 2 Mittelspannungstrafo, MS-Kompaktschaltanlage, Schaltverteiler inkl. Leit- und Messtechnik für Schaltanlage, RLC Lasten, Serienimpedanzen, Anpasstrafo, Für die Ankopplung an das 20kV Mittelspannungsnetz wird der bestehende Anschluss im Gebäude TechBase um ein MS Schaltfeld erweitert. Da dies noch im Rahmen der vertraglich zugesicherten Anschlussleistung liegt, entstehen keine weiteren Anschlussgebühren seitens des Netzbetreibers.

Mess- u Kommunikationstechnik: Präzisions-Leistungsmesstechnik für 4-Leitermessung

Herstellungskosten HKLS: Klimaprüfzelle inkl. Aggregat, Heizung, Lüftung, Kühlung von Geräten und Systemen, inkl. Schallschutz

Bauliche Maßnahmen: Bodenbearbeitung zur Absenkung der Klimaprüfzelle, Durchbrüche für Türen und Leitungen, Aufbau für Gerätebühne, Einhausung Leitwarte, Aufstellung Prüftransformatoren

Planung, Inbetriebnahme

2.5 Umsetzungskonzept

2.5.1 Organisatorisches und Wirtschaftliches Umsetzungskonzept (Businessplan)

Um den laufenden Betrieb wirtschaftlich sicherstellen zu können, ist die detaillierte Erarbeitung eines Business-Planes von zentraler Bedeutung. Ausgehend von den technisch/wissenschaftlichen Möglichkeiten des Labors soll abgeschätzt werden, welche Kundengruppen (inklusive nat. und int. Projekte im Rahmen von Forschungsprogrammen) in welchem finanziellen Ausmaß an diesen wissenschaftlichen F&E-Leistungen Interesse haben. Des Weiteren wurde eine genaue Abschätzung der gesamten anfallenden Kosten den zu erwarteten Erlösen gegenübergestellt. Eine Mitarbeiter-, Risiko- und SWOT-Analyse runden den Inhalt des Businessplanes ab.

Die folgenden Abschnitte sind Auszüge aus dem internen Businessplan. Aus Vertraulichkeitsgründen wurden die Kapitel betreffend Marketing, Investitions- und Arbeitsplan sowie die Erlösplanung nicht in diesem Dokument abgebildet.

2.5.1.1 Wettbewerbsvorsprung / Erfolgsfaktoren

AIT verfügt über langjährige nationale und internationale Erfahrung im Bereich der Analyse und Prüfung von Komponenten und Systemen der dezentralen Energienutzung, sowie in der Forschung, Produkt- & Systementwicklung in enger Kooperation mit der Industrie und beschäftigt sich aktuell mit Fragen der elektrischen Netzanbindung von dezentralen Stromerzeugern.

Die Nutzung von Synergien mit den bestehenden Labors und Freifeld-Prüfeinrichtungen von AIT im Bereich der Energietechnik soll - kombiniert für Ausbildungs- und Forschungszwecke - durch ein weiteres Labor ergänzt werden, das den systemischen Ansatz der Einbindung dezentraler Erzeugungsanlagen in bestehende Stromnetze verfolgt. Gemeinsam mit einem leistungsfähigen Rechnercluster, in dem verschiedenste Netzberechnungssoftware dazu dienen sollen, Netzabschnitte, zu modellieren und zu simulieren, die den Anforderungen an neue, dezentralere Energiestrukturen gerecht werden wird diese Infrastruktur für Forschung, Ausbildung und die innovative Wirtschaft Möglichkeiten bieten, den Übergang zu „smarten“ Strukturen der Energienetze wissenschaftlich zu begleiten. Ein besondere Aspekt ist, dass dieses Labor darüber hinaus Teil eines Ende 2005 gestarteten EU-Labornetzwerkes („Network of Excellence“) sein wird: – DERLab (European Laboratory for distributed energy resources).

Der wesentliche Vorzug der Geschäftsidee ist die einzigartige Kombination von bewährten experimentellen Versuchsaufbauten hoher Leistung mit numerischen Echtzeitsimulationsverfahren um die völlig neuen technologischen und organisatorischen Anforderungen an das sich verändernde Stromversorgungssystem untersuchen zu können.

Um eine entsprechende Auslastung im Betrieb zu erreichen soll auch ein unabhängiger Betrieb von Simulationsanalysen und Komponententests im Kundenauftrag durchgeführt werden können.

2.5.1.2 Zielgruppe

Einsatzmöglichkeiten der Projektergebnisse und deren potentieller Nutzen nach Umsetzung des Sim-Tech Labors:

Zusätzlich zur Funktionalität, jegliche Komponenten der dezentralen Energietechnologien, Netzabschnitte und Netzzustände zu modellieren und zu simulieren, die den Anforderungen an neue dezentralere Energiestrukturen gerecht werden, wird diese Infrastruktur für Forschung, Ausbildung und innovative Wirtschaft die Möglichkeiten bieten, den Übergang zu „smarten“ Strukturen der Energienetze wissenschaftlich zu begleiten.

Durch die Systemgebundenheit des Elektrizitätssystems (d.h. physikalische Einheit von Erzeugung, Übertragung und Verteilung sowie Verbrauch) sind die weiterführenden Projektergebnisse für Verbrau-

cher (Kunden), Erzeuger (Anlagenbetreiber) sowie Verteilnetzbetreiber, aber auch für öffentliche Stellen (Ministerium, Regulierungsbehörde, etc. von Bedeutung (Abschnitt 3).

2.5.1.3 Unternehmensziele und Visionen

Aus der Strategie für Mittelfristplanung von AIT:

- AIT focuses on infrastructure related R&D and provides a highly advanced research environment in the selected research areas for the industry and public organisations.
- AIT performs research and development to provide basic innovations and a research environment for the next generation of technological solutions. Methods and technologies of tomorrow are developed to realise the innovations of the future. This requires pre-competitive research with a time horizon of at least five years until industrial pick-up takes place leading to a mid- to long-term market implementation.
- According to the increasing complexity of technological and innovation systems, a system approach coupled with high expertise in selected technological areas is provided to realise competitive, innovative solutions. This system approach, requiring multi-disciplinary teams and appropriate critical masses of human resources, forms the basis for competitive research and a key position in Europe in selected areas.
- AIT develops into an international network node in the related research areas. Technological expertise is complemented with comprehensive experience in foresight processes allowing supporting technology policy makers on the long term hand.
- The business domains of AIT are tightly connected to the thematic industry and to public authorities. This requires the streamlining of business and research activities according to the (long term) needs of our customers and ensures technology transfer and implementation.

Vision SimTech Labor 2011-2015

- SimTech Labor als DIE nationale F&E Stelle im Bereich intelligenter elektrischer Stromversorgungsstrukturen
- AIT positioniert sich mit dem SimTech Labor als „global player“ in Forschungsfragen der verteilten Stromerzeugung und intelligenten Stromnetze
- Die Wirtschaft im Bereich der dezentralen Stromerzeugungskomponenten, elektrotechnischer und netztechnischer Komponenten, Schutztechnik, Leistungselektronik, etc.. findet im SimTech Labor den idealen Kooperationspartner für Forschungsfragen.

2.5.1.4 Standortwahl

Laborhalle am Standort Techbase Wien Floridsdorf, etwa 300m² Laborfläche

Technologie-Cluster Techbase Wien Floridsdorf, ENERGYbase, Netzwerk: AIT, Siemens City (Der Siemens-Konzern erweitert unweit des Techbase bis 2010 den bereits bestehenden Standort zur „Siemens City“. Dieser Hightech-Campus für 13.000 Beschäftigte wird alle in Wien vertretenen Siemens-Sparten und Niederlassungen vereinen), Klima-Wind-Kanal, ENERGYbase (Hightech-Unternehmen, renommierte F&E-Einrichtungen sowie moderne Bildungsangebote – FH Technikum Wien - ergänzen sich hier zu einem dynamischen und innovativen Umfeld)

Bereits laufende Forschungsprojekte mit der TU Wien (z.B. Institut für Computertechnik – ICT) runden das Netzwerk ab.

2.5.1.5 Produkte/Dienstleistungen

Die Tätigkeiten im Rahmen des SimTech-Labors werden integral in die Aktivitäten des bestehenden Geschäftsfeldes Elektrische Energiesysteme eingebaut.

Systemanalysen, Netzintegration DEA

- Eruierung neuer Ansätze zum aktivem Netzbetrieb (z.B. aktive Spannungsregelung)
- Simulation dynamischer Vorgänge im Stromnetz
- Betrieb des Stromnetzes (Steuerungs-, Überwachungsstrategien)
- Integration von Leistungselektronik-basierten Einrichtungen (FACTS-basierte Einrichtungen)
- Power Quality und Custom Power Devices, Einfluss von DEA auf der Spannungsqualität
- Simulation und Erforschung von Netzsicherheit und Netzzuverlässigkeit
- Integration von dezentralen Energieeinheiten
- Vorhersage von Verbrauch und Erzeugung

Einsatz von Technologien

Unterschiedlichste Technologien dezentraler Erzeugung werden im SimTech Labor zur Anwendung kommen:

Erzeugung:

Photovoltaik Wechselrichter, PV Simulator, (sofern die Sicherheitsbestimmungen erlauben: Mikrogasturbine CHP, Biodiesel Generator CHP, Stirlingmotoren (CHP), Fuel Cell), Mikro Wind Turbine, Leistungselektronik Plattform (z.B. MARS), Optional: Rotierende Generator Simulator (Maschinenbank)

Verbraucher

RLC Lasten, Empfindlichen Lasten (elektronische Lasten, Beleuchtungseinrichtungen),
Optional: Rotierende Last (Motoren)

Speichertechnologien

sofern die Sicherheitsbestimmungen erlauben (evtl. an einem Freiprüfplatz): Blei Batteriebank, Redox Batterie, Flyweel, Supercaps

IKT

Kommunikationsinfrastruktur gängiger Protokolle und Anwendungen (für Komponenten und Systeme): Hub, Konzentrator, Repeater, Gateway

Akkreditierte Komponentenprüfung

- PV Wechselrichter bis 30kW
- PV Wechselrichter bis 700kW
- Dezentrale Erzeugungsanlagen mit elektronischer Netzschnittstelle

Performance Tests

- Wirkungsgradmessung
- MPPT Messung
- Lebensdauertests
- EMV Tests

2.5.1.6 Wettbewerber und deren Produkte/Dienstleistungen

Auf nationaler Ebene kommt dem SimTech Labor ein Alleinstellungsmerkmal zu. Eine detaillierte Wettbewerberanalyse von europäischen und internationalen Instituten kann Abschnitt 2.1.1 entnommen

werden. Eine Vielzahl von Laboreinrichtungen sind im Bereich dezentrale Energietechnologien und Smart Grids tätig, erfüllen aber nur in wenigen Ausnahmefällen den spezifizierten Umfang und die Flexibilität des SimTech Labors.

Forschungsinstitute mit Prüfinfrastruktur

Siehe Abschnitt 2.1.1.

Kommerzielle Prüfinstitute für Komponententests an dezentralen Erzeugungsanlagen/ Wechselrichter in Europa:

- Windtest,
- Bureau Veritas,
- Berner Fachhochschule - Hochschule für Technik und Architektur,

2.5.1.7 Marktentwicklung

- Marktpotential und Marktwachstum von Photovoltaik
ca. 7,3GW installierte Photovoltaik Leistung weltweit im Jahr 2009
insgesamt ca. 22GW
Weitere Wachstumsraten ca. 15-20% vorhergesagt.
- Starker Trend zu Mini-BHKWs in Ein- und Mehrfamilienhäusern
- E-Mobility als zentraler Ansatz mobiler dezentraler Speicher

Weltweit ist der Anteil von solarenergetischen Systemen in den letzten Jahren stark steigend. Das betrifft insbesondere den Bereich der netzgekoppelten Photovoltaik aber auch andere Erzeugungstechnologien auf Basis erneuerbarer Energieträger. Im Gegensatz zu zentralen Großkraftwerken auf Basis fossiler Energieträger haben erneuerbare Energieträger die Eigenschaft lokaler, dezentraler Verfügbarkeit. Das Ziel dabei ist, möglichst viele dezentrale Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien in das öffentliche Versorgungsnetz zu integrieren. Ein geeignetes Mittel dafür sind simulationstechnische und experimentelle Untersuchungen mittels „Rapid.-Prototyping“ Technologien und der damit verbundenen Infrastruktur für die Industrie.

Das SimTech Labor bietet dem AIT die Möglichkeit durch die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur an der vordersten Front der Technologieentwicklung mitzuwirken. Neue Produkte der Industrie können, unter der Verwendung der in das SimTech Labor integrierten Power Hardware-in-the-Loop Simulationsumgebung, beliebigen Verwendungsszenarios ausgesetzt werden. Durch den Aufbau des SimTech Labors wird eine Laborumgebung geschaffen, die in Österreich einzigartig ist. Zusätzlich zur Funktionalität, jegliche Komponenten der dezentralen Energietechnologien, Netzabschnitte und Netzzustände zu modellieren und zu simulieren, die den Anforderungen an neue dezentralere Energiestrukturen gerecht werden, wird diese Infrastruktur für Forschung, Ausbildung und innovative Wirtschaft die Möglichkeiten bieten, den Übergang zu „smarten“ Strukturen der Energienetze wissenschaftlich zu begleiten.

2.5.1.8 SWOT Analyse

Stärken	Schwächen
+ Einzigartiges Konzept (Hardware-in-the-loop für Netz und reale Komponenten) + erstes und einziges Lab in Österreich	- eigenes Know-how muss signifikant vertieft werden - Fehlen der kritischen Masse in neuen Aktivitäts-

+ analoge reale Komponenten <-> digitale Verarbeitungssysteme + laufende Forschungsprojekte (z.B. DG DemoNet) + gute Vernetzung mit entscheidenden Akteuren (Netzbetreiber, Wirtschaft) in Österreich + kompetenter Forschungspartner für die Industrie + Erfahrung mit EU-Projekten, Erfahrung in der Zusammenarbeit im Rahmen der IEA + Untersuchungen auf Komponenten- und Systemebene + unabhängiger Betrieb unterschiedlicher Laborbereiche + systematisches, interdisziplinäres Know-How + Unabhängig	feldern - vollständige Betriebsbereitschaft des Labors frühestens in 2 Jahren
Chancen	Risiken
❖ Politische Rahmenbedingungen für DEA in Europa: Die verpflichtenden politischen Ziele den Anteil Erneuerbarer Energien auf 20% des Energiebedarfs von 2020 zu steigern, führt zu einer hohen Durchdringung dezentraler Energieerzeuger im elektrischen Energienetz ❖ Exponentielles Marktwachstum. ❖ Bedarf an neuen Anforderungen und technischen Lösungen. Die neuen Szenarien der elektrischen Energieversorgung getrieben von Umweltauflagen (Klimawandel, Kyoto-Protokoll), Marktliberalisierung, etc., bedürfen neuer Herangehensweisen und technischer Lösungen. ❖ Bedarf an abgestimmten Normen und Standards. DEA als Schlüsseltechnologien in intelligenten und aktiven elektrischen Netzen der Zukunft, erfordert weitere Bemühungen hinsichtlich Standardisierung, Zertifizierung, Anforderungen an Integration und Betrieb, Entwicklung von Modellen/Werkzeugen, etc.	➤ Das Thema Smart Grids entwickelt sich international nicht so, was aber nur darin begründet sein könnte, dass der unwahrscheinliche Fall eintritt, dass die Liberalisierung wieder zurückgenommen wird oder den Aspekten des Klimaschutzes keine weitere Bedeutung mehr eingeräumt wird. ➤ AIT sich dabei nicht entsprechend positionieren kann (übermächtige Konkurrenz) ➤ die Industrie akzeptiert AIT nicht als Partner (zu teuer, Industrie zu klein, ...) ➤ die laufenden Kosten zu hoch sind (Erlösbedarf wird zu groß)

2.5.2 Technisches Umsetzungskonzept

Das technische Umsetzungskonzept basiert auf den Ergebnissen aus 2.2 und 2.4. Da die Kapitel im Wesentlichen schon die Anforderungen wiedergeben und die bevorzugte technische Umsetzvariante beschreiben, werden diese hier nicht noch einmal erläutert.

3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

3.1 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

„State-of-the-art“ an F&E Infrastruktur für Smart Grids und dezentrale Energietechnologien

Jedes Labor für dezentrale Energietechnologien im internationalen Umfeld ist auf die jeweiligen Anwendungen und Anforderungen zugeschnitten. Die Darstellung dieser Labors dient hierbei als Bestandserhebung (Was gibt es bereits?) und als Beispiel für eine mögliche technische Ausführungen im Hinblick auf die für das SimTech Labor zutreffenden Anwendungen. Eine umfassende Datenbank mit URLs von internationalen experimentellen Versuchsanlagen im Bereich dezentrale Energietechnologien wurde eingerichtet: <http://delicious.com/simtechconcept>.

Die Kombination eines leistungsfähigen Simulationsrechners mit einem physikalischen Niederspannungsnetz und all seinen Komponenten in einer geschlossenen Regelschleife (Power Hardware-in-the-loop) ist in Europa einzigartig und hebt sich dadurch von den bereits bestehenden Labors ab. Möglicherweise könnte sich das SimTech Labor auch an ein Finanzierungs- und Betriebsmodell der dargestellten Labors anlehnen oder eine synergetische Partnerschaft eingehen. Das „Network of Excellence DERLab“ ist dafür die geeignete Plattform.

Bedarfserhebung in Österreich:

Es herrscht Einigkeit über die Notwendigkeit einer F&E Infrastruktur. Der Bedarf deckt insbesondere die Forschungsintentionen der Bedarfsträger (EVU und Hersteller) in den Bereichen die nicht selbst realisiert werden können:

- Systematische Untersuchungen
- Experimentelle und Simulationsmodellen
- Vernetzung unterschiedlicher Technologien von Netzsystem, Erzeugung, Verbrauchern und Speichern in Kombination mit allen Informationstechnologien

Wichtig: nationale Eigenständigkeit auf dem Gebiet der Forschung in Smart Grids (nicht zuletzt in Hinblick auf Ausarbeitung der Wirtschaftlichkeit, Fragen der Normung und eigenständigen Lösungsansätzen). Außerdem wurde der „Strategische Nutzen von einer nationalen Forschungsstelle“ hervorgehoben.

Strukturänderungen und sich daraus ergebender Handlungsbedarf aus heutiger Sicht ergeben sich im Mittel- und Niederspannungsnetz, verbraucherseitig, Integration von IKT in elektrische Netze, Personenschutz und Anlagenschutz. Es herrscht Notwendigkeit vermehrter IKT sowohl für wirtschaftliche und vertragliche Abwicklung des Netzbetriebes. Die Bedeutung der Abstimmung zwischen Experiment und Simulation wurde unterstrichen und die Mittelspannungsebene soll massiv in die Simulation mit einbezogen werden.

Simulation im SimTech Labor

Die Simulationssoftwarearchitektur des SimTech Labors wird von hoher Flexibilität gekennzeichnet sein. Auch wenn eine vollständig automatisierte Austauschmöglichkeit von Daten und Modellen schwer zu realisieren scheint, so werden doch geeignete Schnittstellen geschaffen und Konverter entwickelt, um möglichst durchgängiges Arbeiten für die Zwecke des SimTech Labors zu erreichen. Die Interoperabilität von Datenformaten wird eine reibungslosere Problemlösung erlauben. Ein generisches Datenformat bietet unter anderem den Vorteil, eine geeignete Datenbanken aufbauen zu können, welche durch den Betrieb und die sich im Betrieb ergebenden Anforderungen ständig erweitert wird und somit zu einem gewissen Grad das „Wissen des Labors“ darstellt.

Komplexe Simulationsaufgaben wie gekoppelte Simulation (Co-Simulation) von elektrischen, thermischen und Kommunikationsnetzen sollen im SimTech Labor bewältigt werden. Diese Simulationstechnik gewinnt zunehmend an Bedeutung zumal mit der Etablierung der „smart grids“ in der elektrischen Energietechnik Kommunikations- und Steuer-/Regeltechnik stärker eingesetzt werden.

PHIL Proof of Concept

Die „proof of concept“ Versuche hinsichtlich Power Hardware-in-the-loop, welche im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden, waren erfolgreich und zeigten Möglichkeit und Grenzen von Power HIL. Bei der Auswertung der Versuche waren zwei Kriterien wichtig, zum einen die Genauigkeit, zum anderen die Stabilität der Anordnung.

Es wird nun in weiterer Folge nötig sein, die Simulations- und Kopplungsverfahren zu verbessern. Es hat sich herausgestellt, dass bestimmte Impedanzverhältnisse im Netz sich nicht simulieren lassen, da die PHIL Simulation instabil werden würde. Hier muss geeignete Abhilfe geschaffen werden, besonders in Hinblick auf zu simulierende Fehlersituationen im Netz können ungünstige Impedanzverhältnisse auftreten. Diese Untersuchungen sind Gegenstand weiterführender Betrachtungen.

Technisches Konzept zur Umsetzung des SimTech Labors

Bei der Erarbeitung des SimTech Concepts kamen unterschiedliche Kriterien zur Geltung, welche in optimaler Weise erfüllt werden sollen: Raumangebot - technischer Entwurf - Finanzierung. Daraus wurde das technische Konzept für Simulation, elektrischer Verschaltung, Messtechnik, Technologieportfolio entworfen. Das Simulationskonzept wurde bereits in eine Ausschreibungsspezifikation übernommen, der Anschaffungsprozess läuft. Die nächsten Schritte sind die genaue Spezifikation und Planung der elektrischen Betriebsmittel, des Schaltverteilers und der Messtechnik. Auf Basis der Grobkostenschätzung ist die ausgewählte „Variante 700/6“ im Techbase Gebäude mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln abgestimmt.

Businessplan

Das SimTech Labor ist in die Marketingstrategie von AIT einbezogen, darüber hinaus ist durch die Einbindung in das europäische Labornetzwerk (DERLab) auch eine zweite überwiegend global ausgerichtete Marketingstrategie damit verbunden.

Erlöse werden im Zusammenhang von nationalen und europäischen Forschungsprojekten erwartet. Die Forschungsrahmenprogramme des BMVIT stellen dafür die geeigneten thematischen Förderschienen dar. Erlöse werden von Prüfdienstleistungen für Komponenten der dezentralen Energietechnologien und deren Integration in elektrische Netze erwartet. Die technische Ausführung berücksichtigt alle wesentlichen Aspekte, welche zur Durchführung dieser Prüfungen notwendig ist.

Weg zur Umsetzung

Im Zuge dieses Projektes wurde ein umfassendes Konzept zur Realisierung einer Forschungs- und Entwicklungsumgebung (SimTech Labor) zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten erstellt. Primär sind diese Projektergebnisse für die Umsetzung des SimTech Labors von fundamentaler Bedeutung, weil sie als Grundlage für die Planungs- und Errichtungsmaßnahmen dienen.

- Mit dem Projekt **SimTech Concept** wurde ein wichtiger Schritt hin zu einer optimalen Integration dezentraler Stromeinspeiser in das Verteilnetzsystem der österreichischen Stromversorgung gesetzt. Es wird in einer experimentellen Laborumgebung analysiert, welche Wechselwirkungen, Auswirkungen und Begrenzungen bei einem Verteilnetzbetrieb mit Einspeisern und Verbrauchern bestehen, um die Aufgaben der Versorgungssicherheit und -qualität in Verteilnetzen auch zukünftig bewältigen zu können.

- Moderne Mess-, Steuer- und Managementsysteme werden (unter Berücksichtigung der optimalen Ausnützung bestehender Assets der Stromnetze) verwendet, um optimale Betriebsweisen für das derzeitige und zukünftige Stromnetzsystem aufzuzeigen.
- Mit der Realisierung des SimTech Labors wird Österreich zu einem der europäischen Vorreiter und Know-how-Träger, wenn es um Fragestellungen der Einbindung dezentraler Stromerzeuger in bestehende Netze, umfassende Systemanalysen und Simulationswerkzeuge für Energiesysteme geht.

Mit Hilfe dieser Projektergebnisse ist eine sinnvolle und erfolgreiche Umsetzung des SimTech Labors möglich.

Relevanz der Projektergebnisse und Zielgruppen des SimTech Labors

Zusätzlich zur Funktionalität, jegliche Komponenten der dezentralen Energietechnologien, Netzabschnitte und Netzzustände zu modellieren und zu simulieren, die den Anforderungen an neue dezentralere Energiestrukturen gerecht werden, wird diese Infrastruktur für Forschung, Ausbildung und innovative Wirtschaft die Möglichkeiten bieten, den Übergang zu „smarten“ Strukturen der Energienetze wissenschaftlich zu begleiten.

Durch die Systemgebundenheit des Elektrizitätssystems (d.h. physikalische Einheit von Erzeugung, Übertragung und Verteilung sowie Verbrauch) sind die weiterführenden Projektergebnisse für Verbraucher (Kunden), Erzeuger (Anlagenbetreiber) sowie Verteilnetzbetreiber, aber auch für öffentliche Stellen (Ministerium, Regulierungsbehörde, etc...) von Bedeutung.

3.1 Ausblick

Die Projektergebnisse bilden die Basis für die Errichtung des SimTech Labors und damit langfristig für ein umfassendes Know-How in Technologien der verteilten Stromerzeugung, Modellbildung, Simulation von Netzen und Analyse von Power Quality. AIT, ENERGY Department kann sich somit weiterhin als Forschungs- und Entwicklungspartner für zukünftige Projekte positionieren und eine internationale Vernetzung als österreichische Forschungsdrehscheibe erreichen.

Der Zuwachs an Know-how und Qualifikation und entstehende Technologievorsprung im Bereich Integration von dezentralen Stromerzeugungsanlagen von österreichischen Firmen (Netzbetreibern, Produzenten, Consulting Firmen, Forschungsinstituten,...) ermöglicht die Sicherung bestehender Hochqualifizierter Arbeitsplätze und schafft außerdem Möglichkeiten dieses Wissen und diesen Technologievorsprung in Zukunft in anderen Ländern umzusetzen und entsprechende Dienstleistungen (Consulting, etc.) oder Produkte (z.B. intelligente Regelsysteme, Simulationswerkzeuge) anzubieten.

Am Standort TechBase befindet sich bereits eine Laborinfrastruktur für passive Netze in Form eines Wechselrichter- und Hochleistungslabors, in das die neu zu installierenden Systeme und Komponenten synergetisch integriert werden können. Grundlegende Untersuchungen über Anforderungen und Lösungsansätze für ein derartiges Laborumfeld wurden im Rahmen dieses Projektes erarbeitet und stellen eine ausgezeichnete Basis für die geplanten Forschungs- und Investitionsvorhaben dar (Abbildung 75).

Die grundlegenden Methoden und Algorithmen zur Anwendung von PHIL Verfahren im Bereich Smart Grids werden im Rahmen eines folgenden Forschungsprojektes erarbeitet. Außerdem werden die entsprechenden Kompetenzen ausgebaut und das bestehende Team erweitert.

Die Kombination eines leistungsfähigen Simulationsrechners mit einem physikalischen Niederspannungsnetz und all seinen Komponenten in einer geschlossenen Regelschleife (Power Hardware-in-the-

loop) ist in Europa einzigartig und hebt sich dadurch von den bereits bestehenden Labors ab.

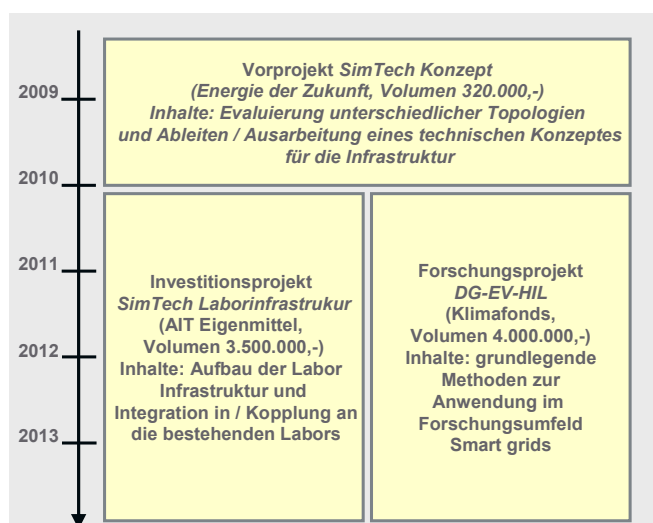


Abbildung 75: Big Picture des Forschungsvorhabens *Smart-Grids-P-HIL* bestehend aus Konzeptprojekt, Investitionsprojekt und Forschungsprojekt.

4 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Andreas Lugmaier et. al., Roadmap Smart Grids Austria, 2010
- [2] W. Friedl: „Normenrecherche“ im Zuge des SimTech Concept – Konzeption des SimTech Labors zur Echtzeitsimulation von elektrischen Netzen und Komponenten, Präsentation, Wien am 18. 08. 2008
- [3] E. Schmutzner: Normen und Vorschriften für Elektrotechniker, Skriptum 2009, WIFI Steiermark
- [4] ETV 2002/A1 2006: Änderung der Elektrotechnikverordnung 2002
- [5] Fragebogen zur Bedarfserhebung:
<http://energyit.ict.tuwien.ac.at/SimTech/SimTechConceptFragebogen/SimTechConcept.html>
- [6] Wie Ren, „Accuracy evaluation of Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) Simulation“, Phd Thesis, The Florida State University, College of Engineering, 2007.
- [7] IEC 61000-4-13 Oberwellen und Harmonische
- [8] Alex B. McCarthy and Faya Peng: Comparing GPIB, LAN/LXI, PCI/PXI Measurement Performance in Hybrid Systems, IEEE Autotestcon 2006, 2006
- [9] Karlheinz Schwartz: IEC 61850, IEC 61400-25 and IEC 61970: Information models and information exchange for electric power systems, Distributech 2004, 2004
- [10] Anders Johnsson, Jörgen Svensson: Wind power communication – Design and implementation of test environment for IEC61850/UCA2, Elforsk Rapport 02:16, 2002
- [11] IEC 61215 Ed.2.0, Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik-(PV-) Module - Bauartprüfung und Bauartzulassung (IEC 61215:2005)
- [12] ENEL Guida per le connessioni alla rete elettrica di enel distribuzione Ed I-213 12-2008,
- [13] VDE 0126-1-1, Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz, 2006.
- [14] UK ER G83/1 Recommendations for the Connection of Small-scale Embedded Generators (Up to 16A per Phase) in Parallel with Public Low-Voltage Distribution Networks, 2008
- [15] DK5940 Criteri di allacciamento di impianti di produzione alla rete BT di ENEL distribuzione, 2006.
- [16] M. Aigner, C. Raunig, E. Schmutzner, L. Fickert, Smart Safety - Personensicherheit als unabdingbare Voraussetzung für Smart Systems und Verteilte Energiesysteme, SG Week Salzburg 2010.

5 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: <i>SimTech Concept</i> Projektphasen	8
Abbildung 2: Definitionsbild Smart Grids (Quelle: www.smartgrids.at)	22
Abbildung 3: Entwurf eines Zeitrahmens für Smart Grid Elemente (www.smartgrids.at)	23
Abbildung 4: SimTech Labor als Experimentier- und Entwicklungsplattform für verschiedene Forschungsthemen des Smart Grids	26
Abbildung 5: Mindmap zu Forschungsthemen im Detail im SimTech Labor	27
Abbildung 6: Pyramidenförmiger Aufbau der Rechtsordnung in Österreich	28
Abbildung 7: ÖVE/ÖNORM E 8001-x-x bzw. ÖVE EN1 „Errichtung von Niederspannungsanlagen“	30
Abbildung 8: Gliederung der Maschinenrichtlinie	32
Abbildung 9: Ablaufschema CE-Kennzeichnung	33
Abbildung 10: Grundkonzept des SimTech Labors	41
Abbildung 11: Reduzierung der Schnittstellen durch ein generisches Datenformat	44
Abbildung 12: Darstellung der einzelnen Softwarepakete (Von der Lastflusssimulation bis hin zur echtzeitfähigen Simulation) und deren Schnittstelle, sowie der Rolle des generischen Datenformates (ODM)	45
Abbildung 13: CHIL und HIL im Vergleich	50
Abbildung 14: Aufbau einer PHIL Simulation	52
Abbildung 15: Allgemeines Umrichter Gesamtsystem	54
Abbildung 16: Modell des power interface (PI)	55
Abbildung 17: Modell zur Charakterisierung des power interfaces	56
Abbildung 18: Sprungantwort des Spannungsverstärkers	56
Abbildung 19: Leistungsfähigkeit des target systems in Abhängigkeit	57
Abbildung 20: Usecase 1: einfacher Spannungsteiler	58
Abbildung 21: Usecase 2: Nichtlineare Diodenschaltung	58
Abbildung 22: Usecase 3: Netzimpedanzsimulation mit dezentraler Erzeugungsanlage	59
Abbildung 23: Usecase 4: Netzwerksimulation mit realer RL Last	59
Abbildung 24: Netzwerksimulation mit dezentraler Erzeugungsanlage	60
Abbildung 25: Simuliertes PHIL Modell, sowie exaktes Modell für Usecase 4	60
Abbildung 26: Vergleich der Ausgangsspannung von PHIL und exaktem Modell	61
Abbildung 27: Vergleich zwischen dem Fehler aus der Simulation (rot) und dem gemessenen Fehler am Ausgang des Spannungsverstärkers (grün)	61
Abbildung 28: realisierbare Netzstrukturen mit 3 Knoten	65
Abbildung 29: Anspeisung Labornetz	68
Abbildung 30: Entwurf Netzschema	68
Abbildung 31: Mögliche Topologien für unterschiedliche Messdatenerfassung	70
Abbildung 32: Prinzipieller Datenfluß des Simtech Systems	71
Abbildung 33: Verschiedene Arten optischer Kommunikationsmedien	72
Abbildung 34: Datenfluss anhand eines Sensors	73
Abbildung 35: Topologie des OPAL RT Systems	73
Abbildung 36: OPAL RT Cluster Komponenten	74
Abbildung 37: Steigerung der Performance durch Erhöhung der Clusterknoten-Anzahl	74
Abbildung 38: GPIB vs. Ethernet	75
Abbildung 39: Das Prinzip eines SCADA-Systems	77
Abbildung 40: Typische Einsatzbereiche der für SimTech relevanten Kommunikationsprotokollen	78
Abbildung 41: Ein „Rugged“ IEC 61850 Switch	79

Abbildung 42: Einsatz von OPC in einem System	80
Abbildung 43: Zentralisierte Topologie	81
Abbildung 44: Gemischte Topologie	82
Abbildung 45: Nahtlose Topologie	82
Abbildung 46: Erfassung von Zeitstempeln auf verschiedenen Ebenen	83
Abbildung 47: Visualisierung mit Siemens SICAM PAS CC	84
Abbildung 48: Ebenen wo zenOn verwendet werden kann	85
Abbildung 49: Architektur von AX-S4 MMS	86
Abbildung 50: Architektur einer Lösung basierend auf XML	87
Abbildung 51: Konzeptbild vom SCADA-System im SimTech Labor	90
Abbildung 52: Konzeptbild Leittechnik für SimTech Labor	91
Abbildung 53: Smart-Grid-Niederspannungstopologie	96
Abbildung 54: Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkung von Wechselströmen auf Personen bei einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen	96
Abbildung 55: Zeit/Stromstärke-Bereiche für Wechselstrom von 50 Hz bis 100 Hz, für den Stromweg von einer Hand zu beiden Füßen – Zusammenfassung der Bereiche in Abbildung 54	97
Abbildung 56: Anregeverhalten bei Überstromschutzeinrichtungen und dezentralen Energieerzeugungsanlagen	98
Abbildung 57: Schutzmaßnahme Nullung	98
Abbildung 58: Phase 1 - Parallelbetrieb mit dezentraler Energieerzeugungseinrichtung, Fehlereintritt ..	99
Abbildung 59: Phase 2 - Bildung eines passiven Verteilnetzes	99
Abbildung 60: Phase 3 - Definitive EVU-seitige Abschaltung des Fehlers	99
Abbildung 61: Phase 1 - Parallelbetrieb mit dezentraler Energieerzeugungseinrichtung, Fehlereintritt ..	99
Abbildung 62: Phase 2 - Erste Auslösung durch den Netzschutz (DEA-seitig)	100
Abbildung 63: Phase 3 - Definitive EVU-seitige Abschaltung des Fehlers	100
Abbildung 64: Phase 4 - Trennung der dezentralen Energieerzeugungsanlage vom Netz	100
Abbildung 65: Dezentrale Energietechnologien: Windkraft Photovoltaik, elektrische Energiespeicher ..	101
Abbildung 66: Leitungsimpedanznachbildung nach T-Ersatzschaltung	105
Abbildung 67: Leitungsimpedanznachbildung nach π -Ersatzschaltung	105
Abbildung 68: 1) ohmsch, 2) ohmsch-induktiv in Serie, 3) ohmsch –induktiv parallel, 4) Kompensationsanlage, 5) Motorlast, 6) nichtlineare Last (Leistungselektronik)	106
Abbildung 69: Mögliche Konfiguration eines Maschinensatzes mit unterschiedlichen Antriebstechnologien	110
Abbildung 70: Leistungs- und Energieübersicht der Batterietechnologien zum Speichern elektrischer Energie	111
Abbildung 71: SimTech Labor Übersicht: Systemanalysen	112
Abbildung 72: SimTech Labor Übersicht: Offline Netzsimulationen	112
Abbildung 73: SimTech Labor Übersicht: Komponententests	113
Abbildung 74: Untersuchungsmodell für Sicherheitsbelange in Niederspannungsnetzen [16]	115
Abbildung 75: Big Picture des Forschungsvorhabens <i>Smart-Grids-P-HIL</i> bestehend aus Konzeptprojekt, Investitionsprojekt und Forschungsprojekt	129

6 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vergleichskriterien für Smart Grids Forschungslabors.....	12
Tabelle 2: DERLab Partner	13
Tabelle 3: Laboreinrichtungen für DG und Smart Grids international	13
Tabelle 4: Steuerbare AC Quellen im Einsatz.....	17
Tabelle 5: Übersicht des Expertenbeirates	36
Tabelle 6: Marktübersicht verfügbarer Spannungsverstärker im gewünschten Leistungsbereich.....	53
Tabelle 7: Eigenschaften und Leistungsmerkmale des Prüfgenerators [7].....	67
Tabelle 8: Überblick über die für SimTech relevanten Kommunikationsprotokollen.....	78
Tabelle 9: Automatisierungsgeräte.....	88
Tabelle 10: Messgeräte	88
Tabelle 11: Übersicht zur Marktrecherche von Großwechselrichter	102
Tabelle 12: Ermittlung der erforderlichen Betriebsmittel für unterschiedliche Prüfscenarien	114

7 GLOSSAR

CHIL	Controller Hardware-in-the-loop
CHP	Combined Heat and Power (dt: Kraft-Wärme Kopplung)
DEA	Dezentrale Erzeugungsanlage
DER	Dezentrale Energieressource
DG	Distributed Generation (Verteilte Energieerzeugung)
DUT	Device under test, Prüfling, Testobjekt
EIWOOG	Elektrizitätswirtschafts und -organisationsgesetz
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
FACTS	Flexible AC Transmission System (dt: flexibles Drehstromübertragungssystem)
FACTS	Flexible Alternate Current ...
GIS	Geographisches Informationssystem
HIL	Hardware-in-the-loop
I/O	Input / Output
IEA	International Energy Agency – Internationale Energieagentur
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IT Netz geerdet	(frz. Isolé Terre) der Sternpunkt des einspeisenden Transformators im NS-Netz ist nicht geerdet
kVA	Kilo Voltampere
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme Kopplung
LAN	Local Area Network
MS	Mittelspannung
MS/s	Megasamples pro Sekunde
NS	Niederspannung
NTP	Network Time Protocol (NTP)
ODM	Open Data Model
ÖVE	Österreichische Verband für Elektrotechnik
PHIL	Power Hardware-in-the-loop
PLC	Power Line Carrier
PWM	Pulsweitenmodulation
RTDS	Real-Time Digital Simulator
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SMPS	Switched mode power supply, getaktete Stromversorgung
TN Netz	(frz. Terre Neutre) Niederspannungsnetz mit Nullung (Erdung) am Sternpunkt
VEÖ	Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (Jetzt: Österreichs Energie)

IMPRESSUM

Verfasser

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Donau-City-Straße 1, 1220 Vienna

E-Mail: office@ait.ac.at

Homepage: www.ait.ac.at

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH