

# **WINDGUARD**

## **Certification**

### **Projekt im Rahmen der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“**

Auszug aus Gesamtvorhabenbeschreibung:

Innovatives **Allround FRT**-Testsystem zur Sicherung der Netzstabilität. (**ALLFRED**)

**STROMNETZE**

Forschungsinitiative der Bundesregierung

Förderkennzeichen: 0325721

---

#### **Antragsteller**

**WindGuard Certification GmbH**

Rainer Klosse; r.klosse@windguard.de

Tel. +49-4451-9515-271

Oldenburger Straße 65; 26316 Varel

**WINDGUARD**  
**Certification**

#### **Assoziierter Projektpartner**

**SMA Solar Technology AG**

Alexander Schwabauer

Alexander.Schwabauer@SMA.de

Tel. +49-561-9522-421011

Sonnenallee ; 34266 Niestetal



#### **Assoziierter Projektpartner**

**GE Wind Energy GmbH**

Dr. Christoph Gringmuth,

Christoph.Gringmuth@ge.com

Tel. +49 5971-980-1777

Holsterfeld 16 ; 48499 Salzbergen



#### **Unterstützender Partner**

**EWE-Netz GmbH**

Dr. Enno Wieben,

Tel +49 4 41 / 48 08 – 2110,

Cloppenburger Straße 302 ; 26133 Oldenburg.



## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Thema und Zielsetzung des Vorhabens	4
2.1	Entstehung Überlast	4
2.2	Funktionsweise und Defizite bisheriger Tests	4
2.3	Gremien verlangen nach neuen Tests	5
2.4	Ziel des Forschungsvorhabens Allfred	5
3	Stand von Wissenschaft und Technik, Neuheit des Lösungsansatzes, Patentlage	6
3.1	Verbrauch von Netzkapazität	6
3.2	Erweiterung der Einheiten- Anlagengröße	8
3.3	Dynamische Überspannung Spannung (HVRT)	9
3.4	Schaltgruppen von Transformatoren	9
3.5	Vektorsprünge im Netz	11
3.6	Vorfehler Blindleistungsbeanspruchung	11
3.7	Schaltfolgen im Verlauf des Spannungsfehlers	11
3.8	Varianz der Kurzschlussleistung auch im Verlauf eines Netzfehlers	12
3.9	Varianten-Vergleich zum Spartransformator	13

## 1 Zusammenfassung

Das Auftreten der Netzstörung Anfang 2012 in Ostdeutschland hat offenbart, dass die derzeitige Praxis der Prüfung von Erzeugungsanlagen (EZA) keine ausreichende Sicherheit zur Wahrung der Netzstabilität gewährleistet. Als Folge wird die Energiewende auf dieser Ebene behindert.

Um den Fortschritt der Erneuerbaren in diesem Punkt zu fördern, entwickelt und demonstriert das Forschungsprojekt „ALLFRED“ ein neuartiges Testsystem zur Feststellung der Netzfehlereigenschaften von solaren Erzeugungseinheiten (Solar-EZE, oder PV Wechselrichter) und Windenergieanlagen bzw. Windenergie-Erzeugungseinheiten (Wind-EZE). Es dient der Steigerung der Netzstabilität und der Versorgungssicherheit. Dabei kooperieren eine Zertifizierungsstelle (die WindGuard Certification) und zwei Hersteller von Wind- und Solarstrom-Erzeugungsanlagen (SMA und GE-Wind). Des Weiteren hat ein Versorgungsnetzbetreiber (EWE) seine Unterstützung zu diesem Projekt bekundet. Es wird ein skalierbares, adaptierbares und kostengünstiges Testsystem konzipiert und seine Funktionsweise demonstriert, ein System, das bisher nicht abgefragte, für die Netzstabilität relevante Fault-Ride-Through (FRT)-Ereignisse abdeckt. Das Ergebnis dient als wichtige Entscheidungsgrundlage für richtliniengestaltende Gremien wie FGW, BDEW, FNN und VDE, um wirkungsvolle und ausgewogene Vorgaben zur Nachweisführung von Fehlverhalten von Erzeugungsanlagen während dynamischer Netzfehler zu definieren.

Da SMA und GE Wind assoziierte Partner sind, wird auf eine Teilvorhabenbeschreibung (TVB) verzichtet. Die in der TVB zu beschreibenden Punkte sind in der Gesamtvorhabenbeschreibung eingearbeitet worden.

Die Relevanz des Vorhabens wird von dem Netzbetreiber, EWE-Netz GmbH, bestätigt. Dieser unterstützt das Forschungsprojekt durch Kommentierung des Zwischenberichtes und des Endberichtes, siehe Unterstützungsschreiben.

*Anmerkung:* Mit der Bezeichnung Erzeugungseinheit (EZE) ist eine einzelne Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie gemeint, z.B. eine Windenergieanlage oder ein Abschnitt eines Solarfelds mit einem Wechselrichter. Mit der Bezeichnung Energieerzeugungsanlage (EZA) ist die Zusammenfassung mehrerer EZE zu einer Gesamtanlage vergleichbar einem Kraftwerk gemeint, wie z.B. Ein Windpark oder ein Solarpark. Diese Bezeichnungen entstammen den Definitionen in relevanten Regelwerken der /FGW TR8/ bzw. der /BDEW MSR/. Die FRT Funktion ist in diesem Zusammenhang durch die EZE zu leisten.

## 2 Thema und Zielsetzung des Vorhabens

### 2.1 Entstehung Überlast

Die fluktuierende Einspeisung von elektrischem Strom aus Wind- und Solarenergie stellt spezifische Herausforderungen an die Netzverträglichkeit und -regelung. Bei hoher solarer Einstrahlung und hohen Windgeschwindigkeiten müssen die regenerativen Erzeugungsanlagen (EZA) im Fall einer Netzstörung einen großen Teil der Stabilitätsfunktionalität zur Verfügung stellen, die bislang durch konventionelle Kraftwerke bereitgestellt wurde. Kommt es in einer solchen Situation mit hoher regenerativer Einspeisung zu einer kurzen Störung im Hochspannungsnetz, so müssen die EZA und somit auch die einzelnen Erzeugungseinheiten (EZE) - Solarwechselrichter und Windenergieanlagen - diesen Störfall sicher beherrschen.

Eine Netzstörung durch lokale Überlastung im Hoch- oder Höchstspannungsnetz wird mittels automatisierter Schalthandlungen (Freischaltung von Netzabschnitten) behoben. Trotzdem kommt es hierbei zu kurzzeitigen Spannungseinbrüchen oder auch zu lokalen Spannungsspitzen.

Nach dem momentanen Stand der Netzrichtlinien sollen EZE in der Lage sein, einen kurzzeitigen Spannungsfehler sicher zu beherrschen, d. h. ihn zu durchfahren indem die EZE während dieser Störung das Netz durch Blindstrom stützen. Die EZE verfügt dann über Low-Voltage-Ride-Through (LVRT) und High-Voltage-Ride-Through (HVRT) bzw. übergreifend Fault-Ride-Through (FRT) Eigenschaften. Die Netzrichtlinien gehen jedoch nicht auf die Vielfältigkeit von Netzfehlern ein bzw. verlangen keine vollständige Validierung der Funktionalität der EZE (HVRT, Vektorsprung). Die Netzstörung Anfang 2012 in Ostdeutschland hat gezeigt, dass nicht alle EZE, die die derzeitigen LVRT-Anforderungen erfüllen, in der Lage waren, während der Störung am Netz zu verbleiben und somit die Netzstabilität entscheidend geschwächt haben. Im Ergebnis bedeutet dies, dass etliche EZA im Fehlerfall nicht in der Lage sein werden, das Netz stabil zu halten, so dass bei größeren Störungen auch ein länderübergreifender Black-Out befürchtet werden muss.

Um solche alltagsbeeinträchtigenden und volkswirtschaftlich schädlichen Ereignisse vermeiden zu können, ist Handlungsbedarf offensichtlich: Sowohl die unterschiedliche Charakteristik von Spannungseinbrüchen als auch die generell bislang unberücksichtigten Überspannungsspitzen müssen methodisch betrachtet werden. Außerdem müssen die EZE auf die neuen Testmethoden vorbereitet werden.

### 2.2 Funktionsweise und Defizite bisheriger Tests

Bisher durchgeführte Tests im Rahmen der Funktionsvalidierung von EZE wie Windenergieanlagen (WEA) oder Solarwechselrichter (PV-WR) beschränken sich nach FGW TR3 auf einige Basistests. Dies ist darauf zurückzuführen, dass EZE oftmals an Standorten mit relativ weicher Netzanbindung getestet werden. Die konventionellen Testeinrichtungen verringern dabei die vorhandene Netzkapazität bzw. Kurzschlussleistung an der Anschlussstelle des Prüfings erheblich. Daher können in der Regel nur begrenzte, nicht dem vollen Umfang der in

Richtlinien geforderten FRT-Funktionalitäten getestet werden. Zudem wird so die Größe der zu vermessenden Einheiten oder Anlagen deutlich eingeschränkt.

Folgende Netzstörungen werden von derzeitigen Tests nicht erfasst:

1. Dynamische Überspannung im Netz (HVRT, High-Voltage-Ride-Through);
2. Schaltgruppen von Transformatoren (Dy-Transformatoren verändern die Vektoren der Spannung in sich);
3. Vektorsprünge im Netz (alle drei Phasen vor- oder nachteilend im Verlauf eines Netzfehlers);
4. Vorfehler-Blindleistungsbeanspruchung;
5. Schaltfolgen, die bei erfolglosen Fehlerklärungen von Netzstörungen auftreten („Erfolgreiche Automatische Wiedereinschaltung“ (AWE) bzw. „Schutzversager“);
6. Unterschiedliche Netzimpedanzen bzw. Kurzschlussleistungen („Weichheit“ des Netzes).

### **2.3 Gremien verlangen nach neuen Tests**

Derzeit wird bezüglich der neuen TAB Hochspannung (VDE AR N 4120) diskutiert, wie Netzstörungen, wie sie 2012 in Ostdeutschland auftraten, zukünftig vermieden werden können. Die VDE AR N 4120 steht kurz vor der Verabschiedung. Darin wird von den EZE verlangt, das korrekte dynamische Überspannungsverhalten (HVRT) durch Messungen nachzuweisen.

Da die hierfür benötigten Testsysteme zurzeit auf dem Markt nicht erhältlich sind, wurden die Testanforderungen auf ein fast überflüssiges Maß reduziert.

Alle weiteren in der Einleitung genannten Themen werden derzeit in den Gremien wie der FGW (Fördergemeinschaft Windenergie und anderer Erneuerbaren Energien e. V) noch strittig diskutiert. Die FGW unterhält Gremien zur Entwicklung der relevanten Technischen Richtlinien TR3 (Prüfung), TR4 (Modellierung) und TR8 (Zertifizierung). In den meisten Fällen fehlen exemplarische Messungen für sinnvoll untermauerte Beschlüsse.

### **2.4 Ziel des Forschungsvorhabens Allfred**

Ziel ist es:

- mittels F&E Entscheidungsgrundlagen für die anerkannten Gremien der FGW, des BDEW, FNN und VDE zu erarbeiten, um wirkungsvolle und ausgewogene Vorgaben zur Verhinderung von Fehlverhalten von Erzeugungsanlagen während dynamischer Netzfehler zu erteilen.
- Im Kern geht es um Tests, die bisher nicht durchgeführt werden konnten und deren Relevanz deshalb noch nicht nachgewiesen werden konnte. Die neuen messtechnischen Fähigkeiten erlauben es, theoretisch/systemisch mögliche kritische Netzsituationen im Versuch nachzustellen, messen und bewerten zu können.

- Das netzstützende Potential von regenerativen Erzeugungseinheiten bei kritischen Netzzuständen kann nur durch eine messtechnische Validierung der EZE-Prototypen bewertet werden. Dies ist die Basis für eine adäquate Berücksichtigung in Richtlinien.

Um dieses Ziel zu erreichen,

- soll ein neuartiges Prüfsystem, bestehend aus einem flexibel konfigurierbaren Transformator mit IGBT-Schalteinheiten für diese Testaufgaben ertüchtigt werden. Aus Kostengründen und aufgrund der nicht erforderlichen galvanischen Trennung ist der Umsetzer als Spartransformator ausgeführt. (Bei  $U_n = 690$  V;  $I_{\max} = 3,4$  kA;  $S_{\max} = 4$  MVA)
- soll für diese Testanforderungen zunächst ein Funktionsdemonstrator entwickelt und an einer Windenergieanlage sowie einem Solarwechselrichter erprobt werden.
- sollen daraus gewonnene Erkenntnisse zur Optimierung von Netzanschlussrichtlinien (Grid codes), Mess-, Modellierungs- und Zertifizierungsrichtlinien dienen.

Eine wichtige Eigenschaft und weitere Neuheit der Testeinrichtung stellt die Parallelschaltbarkeit des zu entwickelnden Prüfsystems dar. Damit ist es erstmalig möglich, EZE oder EZA in der Leistungsklasse größer 6 MW zu testen. Interessant ist dies besonders für große Offshore-Windenergieanlagen oder zur Überprüfung von Parkmodellierungen.

Für die Berechnung, Zertifizierung und Auslegung von Netzanschlüssen für EZE ist ein validiertes, dynamisches Modell erforderlich, das in komplexe dynamische Lastflussrechnungen von Teilnetzen eingesetzt wird. Der Vergleich des EZE-Modells in Verbindung mit dem Modell des FRT-Testsystems mit den Messungen ermöglicht die Übertragung des Fehlerverhaltens der EZE sowohl auf die EZA als auch auf das Netz.

### **3 Stand von Wissenschaft und Technik, Neuheit des Lösungsansatzes, Patentlage**

Viele bislang vorhandene technische Unzulänglichkeiten konventioneller Testsysteme lassen sich durch eine neu zu entwickelnde Testeinrichtung auf Basis eines Spartransformators, der durch Halbleiterelektronik (IGBT's) geschaltet wird, beseitigen. Die wichtigsten zu lösenden Sachverhalte sind im Folgenden dargestellt.

#### **3.1 Verbrauch von Netzkapazität**

Klassische Spannungseinbruchssimulatoren sind analog dem Netzabschnitt der gestrichelten Linie aufgebaut, vergleiche Abbildung 3.1. Diese können nur einen Teil der möglichen Fehler im Netz simulieren.

Die Tests können nur an besonders „harten“ Netzen (Netze mit hoher Kurzschlussleistung) an einzelnen Prototypen durchgeführt werden, da sie durch die reale Nachbildung eines Kurzschlusses das vorgelagerte Netz erheblich beanspruchen (hohes Kurzschluss- zu Wirkleistungsverhältnis des Netzes zum Prüfling). Die Kurzschlussleistung (die „Weichheit“

des Netzes) wird durch die Testeinrichtung an der Anschlussstelle des Prüflings stark herabgesetzt.

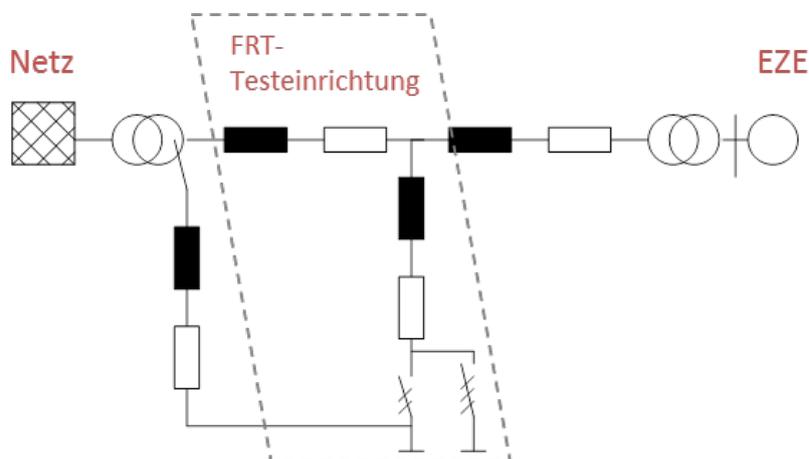


Abbildung 3.1: Klassische Testeinrichtung (gestrichelter Bereich) zum Nachweis des Verhaltens einer EZE bei Spannungseinbruch. Weitere Komponenten (außerhalb des gestrichelten Bereiches) sind für aktuelle Prüfaufgaben erforderlich.

Die zurzeit in Entwicklung befindliche Testeinrichtung auf Basis eines Spartransformators durch die WindGuard Certification GmbH deckt die notwendigen Tests nach FGW TR3 und IEC 61400-21 ab, vergleiche Abbildung 3.2. Hiermit können sowohl 3- als auch 2-phasige Spannungseinbrüche nach einem bestimmten Vektormuster getestet werden. Aufgrund der Risiken in Bezug auf Funktionalität und Akzeptanz sind die Erweiterungsmöglichkeiten, die im Folgenden dargestellt werden, lediglich als Entwurf vorhanden.

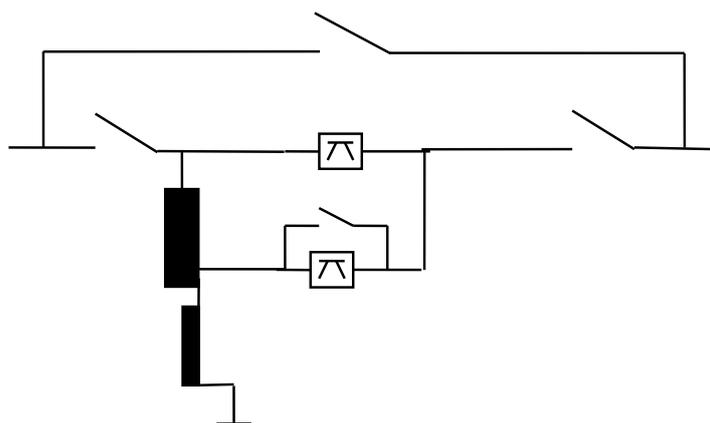


Abbildung 3.2: Einphasendarstellung des LVRT-Testsystem auf Basis eines Spartransformators zur Nachweisführung von 1-3phasigen Spannungseinbrüchen entsprechend der FGW TR3 und IEC 61400-21.

Im Gegensatz zu konventionellen Testeinrichtungen, werden die unterschiedlichen Spannungsniveaus durch Transformation und nicht durch Spannungsteilung erzeugt. Lediglich die durch die EZE gewandelte Energie wird während des Testverlaufes ins Netz gespeist. Der Spartransformator hat nahezu keinen Eigenverbrauch. Die Kurzschlussleistung (also die

„Weichheit“ des Netzes) wird durch die Testeinrichtung selber mit einer Kurzschlussspannung  $u_k = 3\%$  nur geringfügig beeinflusst.

### 3.2 Erweiterung der Einheiten- Anlagengröße

Moderene Großanalgen sind in der Regel auf Ebene der Mittelspannung (MS) angeschlossen, eine Anpassung an die Niederspannung (NS) der Testeinrichtung ist daher erforderlich. Transformatoren vor und hinter der Niederspannungs-Testeinrichtung sollen den Einsatz im Mittelspannungs-Netz ermöglichen, siehe Abbildung 3.3. Dadurch können die Tests auch an den EZE durchgeführt werden, die ihren Anschluss direkt im Mittelspannungsnetz haben, wie z. B. doppeltgespeiste Asynchrongeneratoren.

Durch eine präzise Ansteuerung der IGBT-Schalteneinrichtung wird es möglich sein, Testeinrichtungen parallel zu betreiben. Dadurch können z.B. auch Multimegawatt-Windenergieanlagen > 6 MW getestet werden, siehe Abbildung 3.3. Das Testsystem besteht aus 3 Baugruppen, für jede Phase (Leiter) des Netzes eine. Die Parallelschaltbarkeit des Systems wird getestet in dem mindestens 2 Baugruppen auf eine Phase geschaltet werden. Damit können einphasige Fehler simuliert werden, die sich im Netz bzw. bei der WEA als 2 Phasige Fehler bemerkbar machen.

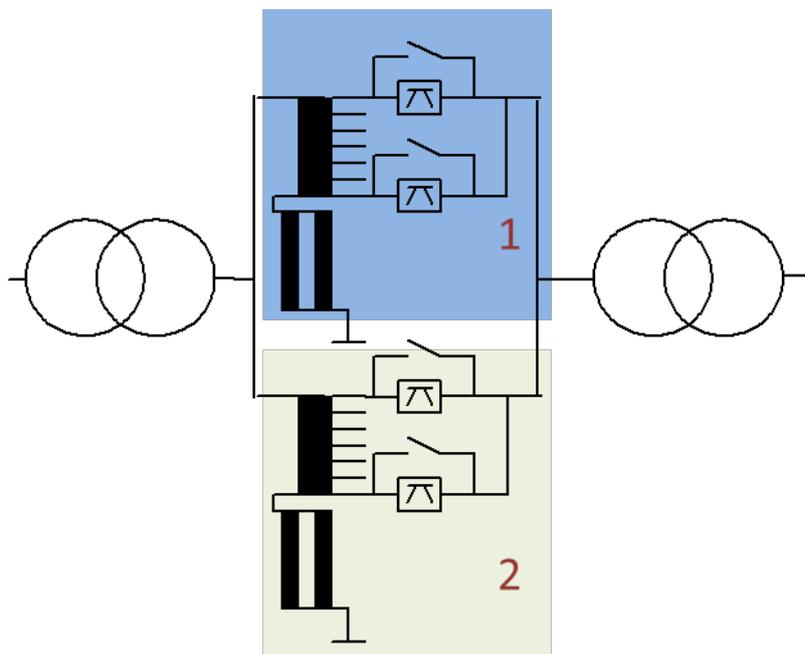
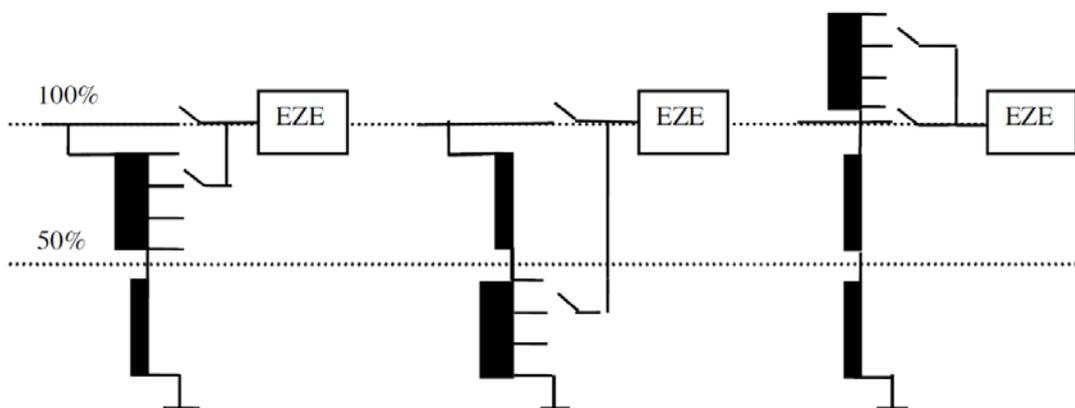


Abbildung 3.3: Parallelbetrieb von zwei FRT-Testeinrichtungen (1 und 2), Ein- und Ausgang jeweils an einen Mittelspannungstransformator angeschlossen. Darstellung als Single-Line-Diagramm.

### 3.3 Dynamische Überspannung Spannung (HVRT)

Auf dem Markt sind zurzeit nur Testsysteme verfügbar, die Spannungseinbrüche an den Anschlussklemmen von Erzeugungseinheiten simulieren können. Überspannungen bzw. Übergänge von Unter- auf Überspannungen werden hiermit nicht nachgebildet werden.

Im Rahmen dieses Forschungsantrags soll das unter Abbildung 3.2 entworfene Testsystem ergänzt werden, um die möglichen Einsatzbereiche insbesondere durch die HVRT-Funktion zu erweitern, vergleiche *Abbildung 3.4* rechte Spalte. Da jede Phase unterschiedlich konfiguriert werden kann, sind Kombinationen zwischen LVRT und HVRT möglich, wie sie bei unsymmetrischen Fehlern auftreten können.



*Abbildung 3.4: Einphasige Darstellung von FRT zur Simulation von Überspannungen:  $50\% \leq LVRT < 100\%$  (links),  $0\% \leq LVRT \leq 50\%$  (mitte),  $100\% \leq HVRT \leq 150\%$  (rechts).*

### 3.4 Schaltgruppen von Transformatoren

Die klassischen Spannungseinbruchs-Simulatoren sind bei dem Test von unsymmetrischen, 2-poligen Fehlern auf die Spannungsebene begrenzt, in der sie montiert sind. Durch Vektordrehung entsprechend den auch bei konventionellen Testeinrichtungen zwischengeschalteten Transformatorschaltgruppen entstehen Fehlerbilder, auf die die Erzeugungsanlagen nicht getestet werden können.

Vektordiagramme, die 3-, 2- und 1-phasigen Fehlern im Mittel- und Hochspannungsnetz entsprechen, können durch Variation der Spannungsabgriffe simuliert werden. Durch die HVRT-Fähigkeit auch nur einzelner Phasen lassen sich nun auch Vektorkonstellationen testen, die beispielsweise einer Dy-Transformatorschaltgruppe gleichen, vergleiche *Abbildung 3.5*.

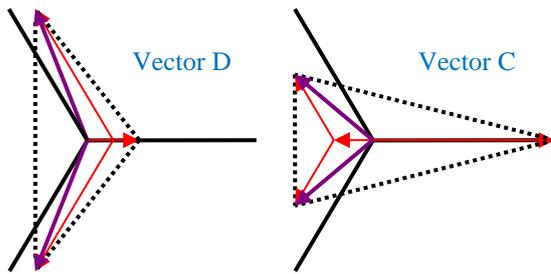


Abbildung 3.5: Vektordiagramme zur Simulation von unsymmetrischen Fehlern. Vektor C entspricht einem 2 Phasigen Fehler durch Leiter-Leiter Berührung. Vektor D ist die Übertragung von Vektor C durch einen Dyn Transformator.

### 3.5 Vektorsprünge im Netz

Nicht Stand der Technik bei konventionellen LVRT-Testeinrichtungen sind Vektorsprünge im Netz auf Grund von Impedanzänderungen im Verlauf der Netzstörung. Vektorsprünge vor- oder nachteilend können bei Herausnahme einzelner Spulenabschnitte, die dann im „Volltransformatorbetrieb“ laufen, simuliert werden (vgl. Abbildung 3.6).

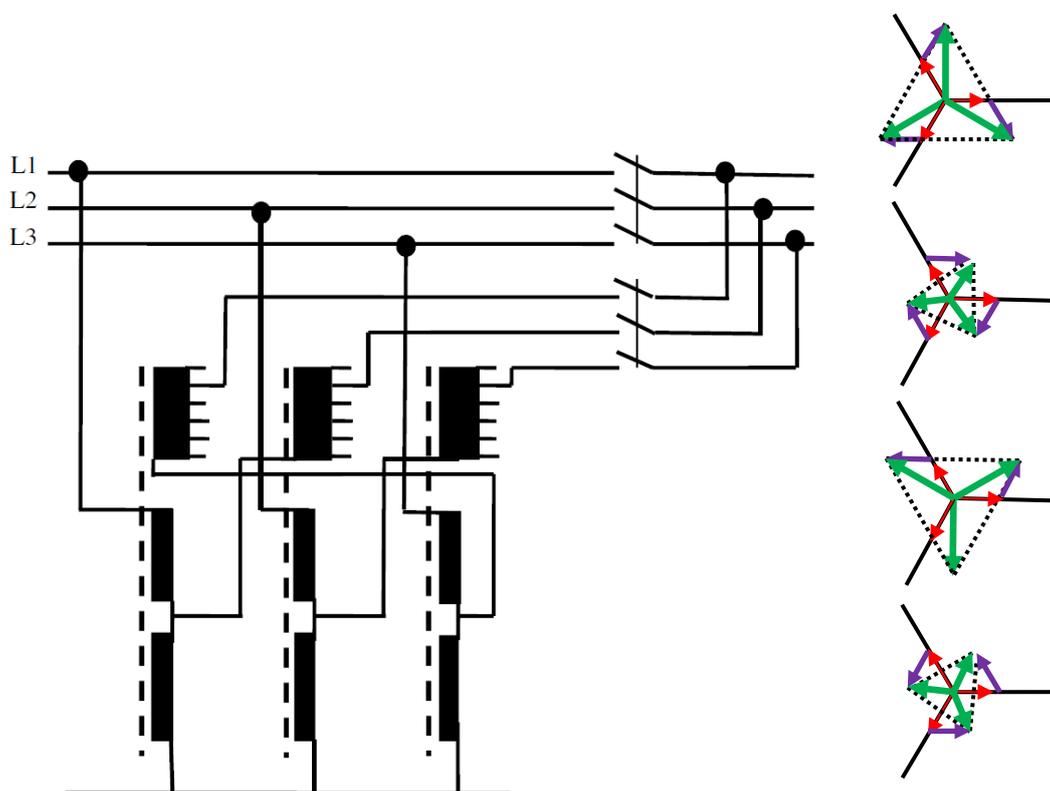


Abbildung 3.6: Simulation von LVRT mit gleichzeitigem Phasensprung.

### 3.6 Vorfehler Blindleistungsbeanspruchung

Ein Großteil der EZA werden in verzweigten MS-Netzen mit induktiver, (spannungssenken-der) Fahrweise betrieben. Dies kann bereits vor dem Fehlerfall zur Unterspannungsauslösung der EZE führen. Aufgrund dieser Einschränkung werden bislang nach FGW TR3 lediglich Tests bei neutralem Blindleistungsbetrieb durchgeführt. Die neue Testeinrichtung erweitert den möglichen Testbereich auf eine höhere Varianz der Blindleistungsfahrweise im Normalbetrieb. Dies wird ermöglicht auf Grund des deutlich geringeren Spannungsabfalls an der Testeinrichtung selbst.

### 3.7 Schaltfolgen im Verlauf des Spannungsfehlers

Fehlfunktionen im Abschaltmechanismus von Netz-Schutzeinrichtungen bei Kurzschlüssen im Netz führen zu kurz hintereinander auftretenden Spannungseinbrüchen oder -

anhebungen oder zu Stufenfunktionen des Spannungsverlaufs. Eine große Anzahl dieser Schaltfolgen können durch eine zusätzliche Beschaltung der neuen Testeinrichtung nachgebildet werden. Durch die präzise Ansteuerung der IGBT's lassen sich auffällige Abfolgen von Schaltungen im Netz mit dem Spartransformator phasengetreu nachbilden.

Es lassen sich Spannungsstufen entweder durch einen Umschaltmechanismus zwischen dem Spartransformator und den IGBT-Schalteinheiten oder durch eine weitere IGBT-Schalteinheit realisieren, siehe Abbildung 3.7. Die letzte Variante ist vielseitiger und schneller, aber auch kostenintensiver.

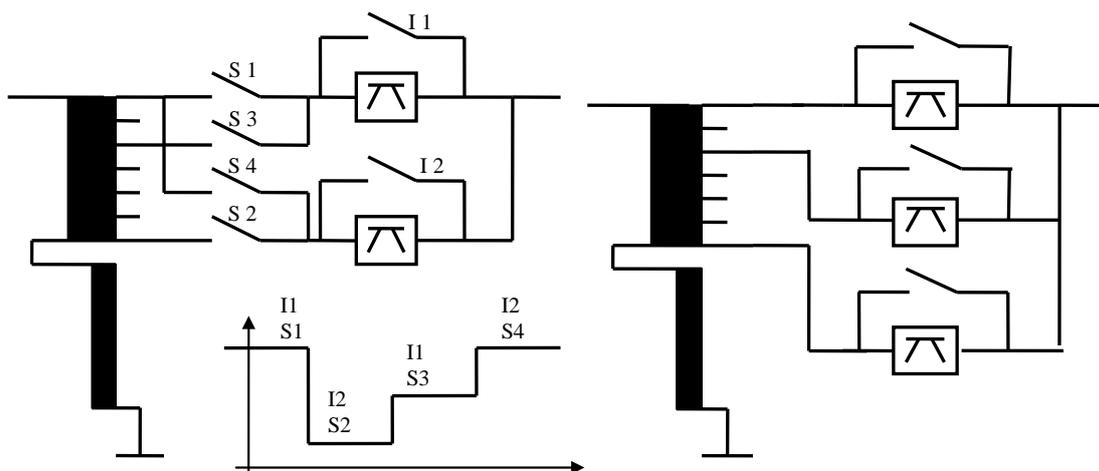


Abbildung 3.7: FRT mit Stufenfunktion („step function“) durch Schalteinheit zwischen Transformator und IGBT's (Variante 1, links) oder durch eine zusätzliche IGBT-Schaltgruppe (Variante 2, rechts).

### 3.8 Varianz der Kurzschlussleistung auch im Verlauf eines Netzfehlers

Konventionelle Testsysteme benötigen besonders „harte“ Netze (hohe Kurzschlussleistung), da sie durch die reale Nachbildung eines Kurzschlusses das vorgelagerte Netz erheblich beanspruchen.

Der Spartransformator „verbraucht“ für sich selbst keine Kurzschlussleistung und kann sowohl an Netzen mit hoher als auch niedriger Kurzschlussleistung (sog. „harten“ bzw. „weichen“ Netzen) betrieben werden.

Je nach dem, in welchem Pfad zusätzliche Längsimpedanzen untergebracht werden, können unterschiedliche Kurzschlussleistungen im Verlauf eines Kurzschlusses nachgebildet werden. Der Testeinrichtung werden an verschiedenen Stellen Längsimpedanzen in die Strompfade gelegt, siehe Abbildung 3.8.

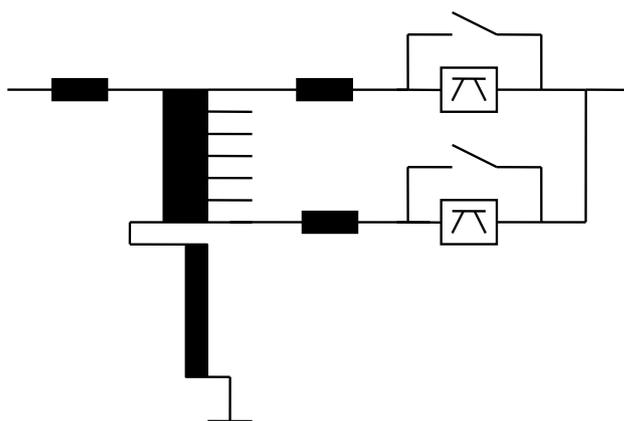


Abbildung 3.8: Längsimpedanzen zur Simulation von variierenden Netzimpedanzen.

### 3.9 Varianten-Vergleich zum Spartransformator

Auf dem Markt sind auch andere technische Lösungen in der Diskussion. Diese können für sich auch einzelne hier vorgestellte Versuche durchführen.

- **Konventionelle Testsysteme** können zwar um Kapazitäten ergänzt werden, um ebenfalls die HVRT-Funktion zu integrieren (mit zusätzlichen Resistenzen können Vektorsprünge simuliert werden). Jedoch ist der gewonnene Stellbereich gering und der Eigenverbrauch bleibt hoch, zudem bleibt es bei der Kurzschlussbelastung des Netzes.
- **Vollumrichter bzw. Hoch- und Tiefsetzsteller** erreichen nur mühsam die geforderten Spannungsflanken. Bei möglichen Unterbrechungen der FRT-Funktion des Prüflings (EZE) steht auch stets der Umrichter in Verdacht, einen parasitären Beitrag geleistet zu haben.
- **Transformatorbasierte Testeinrichtungen**, die über Widerstände die Potentiale wechseln (ähnlich einem Stufensteller von Hoch- zu Mittelspannung), haben den Nachteil, dass sie eine ungewollte Zwischenstufe einführen, die zudem stark leistungsabhängig ist.

Vorteilhaft an der in ALLFRED vorgesehenen Testeinrichtung ist, dass sie die Aussicht auf kompakte Bauweise und günstige Herstellung hat. Ein weiterer Vorzug ist, dass wegen des Niederspannungsbetriebs kein besonderes für das Arbeiten an Mittelspannung geschultes Personal notwendig ist.