

# Jahresbericht 2023

A photograph of a tall, lattice-structured electrical pylon against a clear blue sky. Multiple power lines are visible, stretching across the frame. The pylon is positioned in the lower half of the image, with a bright sun visible through the wires behind it. The background shows more power lines and pylons in the distance.

**Herausgeber**

Forschungsgemeinschaft  
für Elektrische Anlagen  
und Stromwirtschaft e.V.  
FGH e.V.

**Hauptsitz Mannheim**

Voltastraße 19-21  
68199 Mannheim  
Deutschland  
Telefon: +49 621 976807-10  
Telefax: +49 621 976807-70

**Standort Aachen**

Roermonder Straße 199  
52072 Aachen  
Deutschland  
Telefon: +49 241 997857-10  
Telefax: +49 241 997857-22

[www.fgh-ma.de](http://www.fgh-ma.de) ▪ [fgh@fgh-ma.de](mailto:fgh@fgh-ma.de)

Mannheim, im April 2024

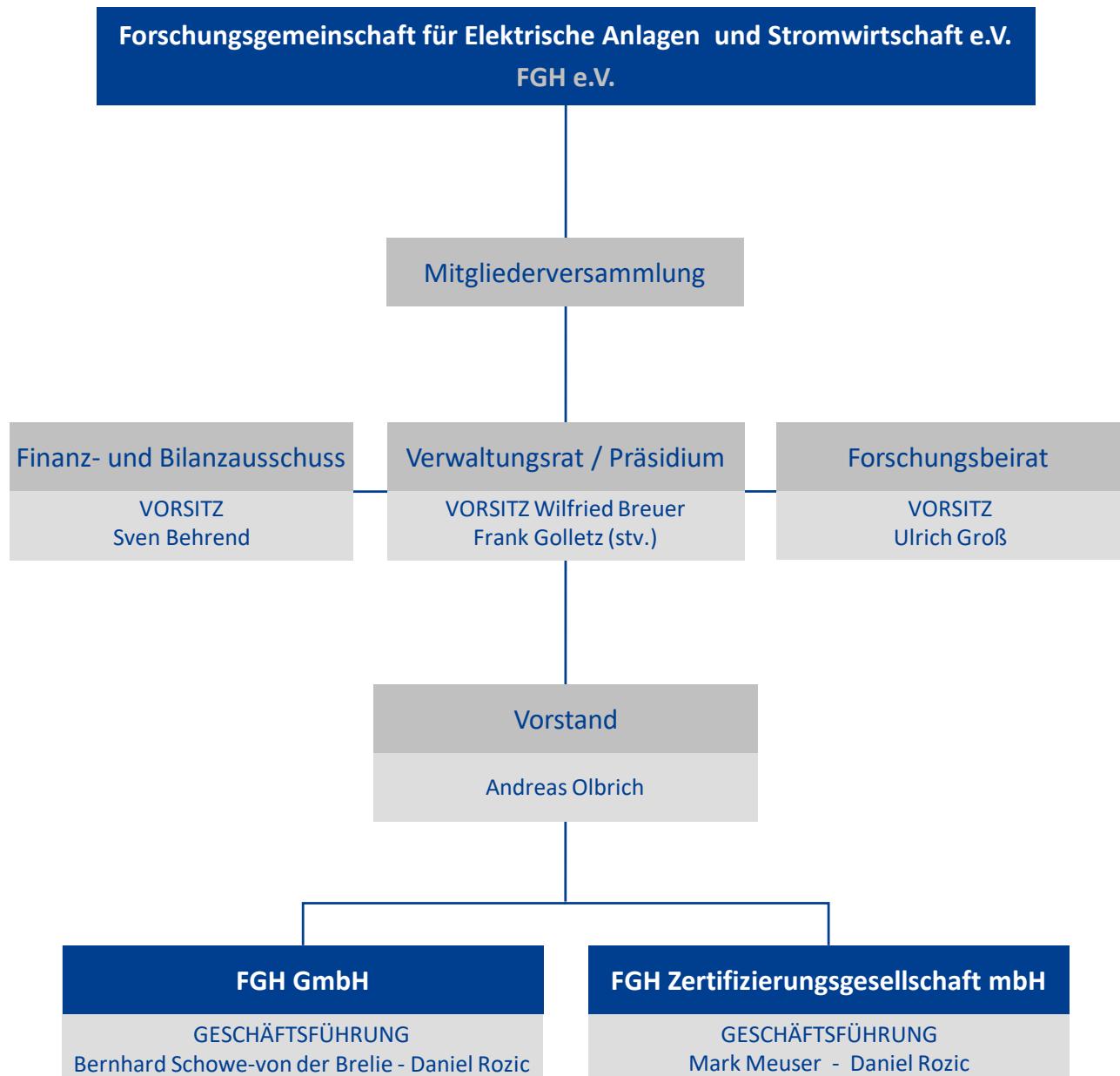
## FGH-Kurzbeschreibung

<b>Adresse</b>	Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. FGH e.V. Voltastraße 19-21, 68199 Mannheim (Hauptsitz) Roermonder Straße 199, 52072 Aachen
<b>Rechtsform</b>	Eingetragener Verein ▪ Amtsgericht Mannheim ▪ VR 827
<b>Historie</b>	<p>2020 Umzug von der Besselstraße 20-22 in die Voltastraße 19-21 (Neckarau)</p> <p>2002 Anerkennung als wissenschaftliche Einrichtung (An-Institut) an der RWTH Aachen</p> <p>1999 Umstrukturierung und Umbenennung in Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. (FGH)</p> <p>1973 Fusion mit der 400 kV-Forschungsgemeinschaft e.V. zur Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V.</p> <p>1921 Gründung als Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen e.V.</p>
<b>Mitglieder</b>	<p>4 Übertragungsnetzbetreiber</p> <p>29 Verteilnetzbetreiber &amp; Infrastruktur Betreiber</p> <p>13 Elektroindustrie &amp; Infrastruktur Services</p> <p>6 Think Tanks &amp; Consultants &amp; Software</p> <p>9 Korrespondierende Mitglieder</p>
<b>Zweck</b>	<p>Wissenschaftliche Untersuchung und Klärung aller Fragen und Probleme, die bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Stromversorgungsanlagen, insbesondere auf den Gebieten der Hochspannungs- und Hochstromtechnik, auftreten. Die Tätigkeit der FGH soll die Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Versorgung mit elektrischer Energie fördern und richtet sich auf die Fortentwicklung und Erhaltung des hohen technischen Standes der Stromversorgungsanlagen und der industriellen Erzeugnisse.</p> <p>Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke der technischen Entwicklung im Sinne der §§ 51 bis 68 der Abgabenordnung.</p>
<b>Organe und Gremien</b>	Mitgliederversammlung ▪ Präsidium ▪ Verwaltungsrat ▪ Vorstand ▪ Finanz- und Bilanzausschuss ▪ Forschungsbeirat
<b>Präsident</b>	Dipl.-Ing. Wilfried Breuer
<b>Vorstand</b>	Dr.-Ing. Andreas Olbrich
<b>Forschungsbeirat</b>	Vertreter der Elektrizitätswirtschaft, der Elektroindustrie und von Hochschulen beraten die FGH bei der Planung und Durchführung ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.
<b>Personal</b>	132 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der gesamten FGH

## Inhalt

FGH-Kurzbeschreibung .....	I
Inhalt .....	II
FGH-Organigramm .....	III
Bericht des Vorstands .....	1
Bericht des Verwaltungsrats .....	2
Mitgliederservice .....	3
Forschung und Entwicklung .....	4
■ Übersicht .....	4
■ ElektrA – Alterungsverhalten von Vergussmassen unter elektrothermischer Belastung bei rechteckförmiger Spannung .....	6
■ Störlichtbögen Gleichstromsysteme – Sicherheit bei Störlichtbögen in Niederspannungs-Gleichstromsystemen .....	10
■ OptiTransient – Teilvorhaben: Untersuchung des Einflusses netzfolgender / netzbildender stromrichterbasierter Anlagen auf Fehlerereignisse unter Betrachtung elektromagnetischer Transienten .....	13
■ InnOpTEM – Teilvorhaben: Projektkoordination, Implementierung KI-basierter Methoden und Methoden basierend auf einer Mensch-Maschine-Interaktion .....	16
■ Quirinus-Control – Teilvorhaben: Simulative Bewertung der Spannungsqualität im Rheinischen Revier .....	20
■ ENSURE II – Neue EnergieNetzStruktURen für die Energiewende .....	26
■ Betriebsplanung für aktive Verteilnetze (Dissertation) .....	30
Akademie .....	31
Promotionen .....	46
Studentische Arbeiten .....	47
Auftragsforschung und weitere Dienstleistungen .....	50
■ Bereich Elektrische Netze .....	50
■ Bereich Energietechnische Anlagen .....	59
■ Zertifizierungsgesellschaft – Prüfungen und Zertifizierungen .....	65
Kurznachrichten – Rückblick 2023 .....	66
Publikationen .....	68
Gremienarbeit .....	71
Mitglieder .....	75
Präsidium .....	81
Verwaltungsrat .....	82
Forschungsbeirat .....	84
Jahresabschluss .....	88
■ Bilanz zum 31. Dezember 2023 .....	88
■ Gewinn- und Verlustrechnung .....	90

## FGH-Organigramm



## Bericht des Vorstands

Verehrte Mitglieder,  
sehr geehrte Partner der FGH,  
sehr geehrte Damen und Herren,

im Geschäftsjahr 2023 fokussierten wir uns sehr erfolgreich auf die Erfüllung der gemeinnützigen Zwecke, den Ausbau unseres wirtschaftlich gesunden Fundamentes und die Absicherung der FGH-Zukunftsfähigkeit. Insgesamt haben wir 6 öffentlich geförderte Forschungsprojekte mit vielen neuen Erkenntnissen für Netzbetreiber und industrielle Hersteller von Komponenten zur Energieversorgung bearbeitet. Über 50 Projekte in der Auftragsforschung unterstreichen unsere aktive Rolle als Lösungsanbieter für Netzbetreiber, Energiewirtschaft und Elektro-Industrie.

Mit der erneuten Steigerung des konsolidierten Rohertrags des FGH-Verbundes von 12,9 Mio.€ im Geschäftsjahr 2022 auf 14,9 Mio.€ im Geschäftsjahr 2023 bei weiterhin sehr gutem Ergebnis (EBT) waren wir auch wirtschaftlich sehr erfolgreich und konnten das Vereinskapital um weitere 165 T€ aufstocken.

Die sehr gute wirtschaftliche Entwicklung der letzten vier Jahre erlaubte uns, im Jahr 2023 eigene Mittel zur Absicherung der FGH-Zukunftsfähigkeit einzusetzen. So hat der FGH e.V. z.B. 142 T€ in neue Messtechnik zur Diagnostik von Betriebsmitteln in der Mittel- & Hochspannung investiert. Weiterhin wurden drei FGH-eigenfinanzierte Projekte mit einem Gesamtbudgetvolumen von ca. 500 T€ (ab 2023) in enger Abstimmung mit dem FGH-Forschungsbeirat begonnen. Aufgrund der angespannten Situation am Personalmarkt konnten wir allerdings nicht so viele neue Mitarbeiter hierfür gewinnen, wie es die personelle Ausstattung der eigenfinanzierten Forschungsprojekte erfordert hätte. Darüber hinaus haben wir die Entwicklungsbudgets in der FGH GmbH auf ca. 383 T€ ab 2024 aufgestockt, um die Zukunftsfähigkeit der bewährten FGH-Produkte & -Dienstleistungen abzusichern.

Insbesondere liegt uns die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses für die gesamte Branche der Energietechnik am Herzen. Auch hierfür wurde ein Budget eingerichtet, das z.B. Promotionen von FGH-Mitarbeitern und die aktive Mitarbeit in den einschlägigen Gremien/Veranstaltungen der Branche unterstützt. Darüber hinaus hat die FGH den Dr. Karl-Heinz Weck-Preis zur Würdigung herausragender Bachelorarbeiten in Erinnerung an die Arbeitstugenden von Herrn Dr. Weck zum zweiten Mal verliehen: In einem feierlichen Rahmen wurden drei junge, wissenschaftliche Talente ausgezeichnet und gemeinsam mit dem FGH-Mitgliedsunternehmen Westnetz mit einer finanziellen Anerkennung bedacht. Neben ihrer eigentlichen FGH-Tätigkeit erarbeiten derzeit 10 Promovierende eigenverantwortlich wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und neue Lösungen für die Zukunft unseres Energiesystems. Darüber hinaus belegen 4 Bachelor- und 3 Masterarbeiten die enge Verbundenheit mit der RWTH Aachen University.

9 Veröffentlichungen und die aktive Mitarbeit in 43 Gremien zeigen die FGH als lebhafte Dialog- und Wissensplattform für Netzbetreiber, Hersteller von Anlagen und Komponenten, Anlagenbetreiber und Projektierer. Ein weiterer Schwerpunkt zur Förderung von Wissenschaft und Forschung waren insgesamt 25 Veranstaltungen im Rahmen der FGH-Akademie mit über 550 Teilnehmern.

Für die erfahrene Unterstützung im letzten Jahr bedanken wir uns sehr herzlich bei unseren Mitgliedsunternehmen, Kunden und Kooperationspartnern. Mit diesem Jahresbericht informieren wir Sie in umfassender Form und laden Sie gleichzeitig ein zu Feedback, Anregungen und Rückfragen. Dass wir eine lebendige und wachsende Gemeinschaft sind, zeigt insbesondere auch die Aufnahme von 6 weiteren FGH-Mitgliedsunternehmen. Wir freuen uns auf die weitere Zusammenarbeit mit Ihnen!

Ihr Vorstand der FGH e.V.  
gez. Dr. Andreas Olbrich

## Bericht des Verwaltungsrats

Verwaltungsrat und Präsidium der FGH haben während ihrer Sitzungen am

2. März 2023 in Köln  
12. Mai 2023 via Web-Konferenz  
24. November 2023 in Frankfurt/M.

die wesentlichen Fragen, die sich aus dem Betriebsablauf während des Jahres 2023 ergaben, eingehend mit dem Vorstand besprochen.

Die technisch-wissenschaftlichen Arbeiten wurden vom Forschungsbeirat der FGH beratend begleitet. Dieser wurde durch das **Netzwerk „Energiesystem-Experten“ (NESE)** – bisher bekannt unter dem Namen **AKEI (Arbeitskreis ENERGIE-INFORMATIONSTECHNOLOGIE)** – unterstützt.

Die Ergebnisse der Verwaltungsratssitzungen führten zu den der Mitgliederversammlung vorgelegten Beschlussvorschlägen.

Der Jahresabschluss 2023 wurde entsprechend der Bestellung durch die Mitglieder von

FIDAIX SCHULER & KOLLEGEN GmbH  
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft / Steuerberatungsgesellschaft  
Aachen

geprüft und mit Datum vom 8. April 2024 uneingeschränkt bestätigt.

Mannheim, im April 2024

Der Verwaltungsrat

## Mitgliederservice

Die FGH ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung der Elektrizitätswirtschaft und Elektroindustrie mit dem Ziel, Kompetenz und praxisorientiertes Fachwissen gemeinsam mit ihren Mitgliedern zu entwickeln und vorzuhalten. Die Bündelung dieser Aufgaben sowie die unabhängige Darstellung technischer Möglichkeiten und Grenzen erlangen im liberalisierten und regulierten Umfeld weiterhin zunehmende Bedeutung. Hier profitieren unsere Mitglieder und Partner aus den Bereichen Netzbetrieb, Industrie, Dienstleistung und Wissenschaft von den Leistungen der FGH.

Die enge Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen University sowie anderen Hochschulen und Forschungseinrichtungen gewährleistet eine umfassende Abdeckung des gesamten Arbeitsgebiets. Die FGH sichert an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis einen schnellen Transfer der Erkenntnisse in die Anwendung.

Die FGH hat in der Vergangenheit wesentlich dazu beigetragen, dass die Sicherheit und Qualität der deutschen Übertragungs- und Verteilungsnetze weltweit führend sind. Mit unseren Leistungen wie

- Initiierung und Durchführung von Forschungsprojekten, oftmals gemeinsam mit Mitgliedsunternehmen und anderen Institutionen,
- Weiterbildungsveranstaltungen zu Grundlagenwissen und Tagesthemen,
- wissenschaftlichen Untersuchungen im Kundenauftrag zu sämtlichen energietechnischen Fragestellungen,
- Mitarbeit in nationalen und internationalen Fach- und Normungsgremien,

erhalten wir diese Erfolgsposition und entwickeln diese stetig weiter.

Unsere Mitglieder profitieren durch ihre direkte Einbindung in diese Tätigkeiten und die unmittelbaren und unverzüglichen Informationen über neue Erkenntnisse. Auch besteht für unsere Mitglieder die Möglichkeit, für die Bearbeitung komplexer Fragestellungen und Entwicklung entsprechender Lösungsstrategien gemeinsam von verschiedenen Unternehmen getragene Forschungsprojekte zu initiieren. Für unsere Mitglieder sind die Ergebnisse solcher Forschungsprojekte besonders wertvoll, da sie diese Projekte selbst anregen, inhaltlich mitgestalten und intensiv begleiten. Sie können die Kompetenz der FGH nutzen, um praxisgerechte Lösungen für ihre grundlegenden und drängenden Fragestellungen zu erhalten.

Aufgrund unserer langjährigen Praxiserfahrung verfügen wir über hoch qualifiziertes Personal für die Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen, die den Mitgliedern zu günstigen Konditionen zur Verfügung stehen. Auch bei Weiterbildungsveranstaltungen erhalten unsere Mitglieder vergünstigte Teilnahmebedingungen, insbesondere auch bei der Durchführung als kundenspezifische Veranstaltung im eigenen Haus.

## Forschung und Entwicklung

### Übersicht

#### Öffentlich geförderte Forschungsprojekte

##### AiF/IGF\*

ElektrA – Alterungsverhalten von Vergussmassen unter elektrothermischer Belastung bei rechteckförmiger Spannung

Störlichtbögen Gleichstromsysteme – Sicherheit bei Störlichtbögen in Niederspannungs-Gleichstromsystemen

##### BMBF\*\*

ENSURE II – Neue EnergieNetzStruktURen für die Energiewende

##### BMWK\*

OptiTransient – Optimiertes Verhalten von netzbildenden Betriebsmitteln während transienter Vorgänge im zukünftigen Stromnetz

Teilvorhaben: Untersuchung des Einflusses netzfolgender /-bildender stromrichterbasierter Anlagen auf Fehlerereignisse unter Betrachtung elektromagnetischer Transienten

InnOpTEM – Innovative Ansätze zur Optimierung von Topologiemaßnahmen im Engpassmanagement des Netzbetriebs

Teilvorhaben: Projektkoordination, Implementierung KI-basierter Methoden und Methoden basierend auf einer Mensch-Maschine Interaktion

Quirinus – Spannungsqualitätssicherung im Rheinischen Revier

Teilvorhaben: Simulative Bewertung der Spannungsqualität im Rheinischen Revier

Projekte, die im Jahr 2023 in der Verhandlung waren und in 2024 begonnen werden, sind in der Übersicht nicht enthalten.

\*

\*\*

Gefördert durch:

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

2022	2023	2024	2025	2026	Laufzeit
					<b>1.07.23 - 30.09.25</b>
					<b>1.08.22 - 31.07.24</b>
					<b>1.02.20 - 31.07.23</b>
					<b>1.10.23 - 30.09.26</b>
					<b>1.09.22 - 31.08.25</b>
					<b>1.06.22 - 31.05.26</b>

## Öffentlich geförderte Forschungsprojekte

### **ElektrA – Alterungsverhalten von Vergussmassen unter elektrothermischer Belastung bei rechteckförmiger Spannung**

AiF/IGF-Forschungsprojekt

Laufzeit: 1.07.23 - 30.09.25

*Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Kunststoff-Zentrum (SKZ) mit dem Europäischen Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD) in Selb und dem Lehr- und Forschungsgebiet für Hochspannungstechnologie am IAEW der RWTH Aachen durchgeführt.*

#### **Zielstellung**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „ElektrA“ wird der Einfluss einer elektro-thermischen Belastung mit einer rechteckförmigen Hochspannung im Frequenzbereich von 10 kHz bis 20 kHz auf die elektrischen und mechanischen Eigenschaften sowie die elektrische Festigkeit von Vergussmassen untersucht. Leistungselektronische Anwendungen gelten als eine Schlüsseltechnologie für das Gelingen der Energiewende. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen der Entwicklung von kompakten und langlebigen Isoliersystemen für leistungselektronische Bauteile dienen, beispielsweise in Anwendungen der e-Mobilität, zur Einspeisung regenerativ erzeugter Energie in bestehende Netze sowie für die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) und bilden somit Basiswissen für die Entwicklung neuartiger polymerbasierter Kompositwerkstoffe.

#### **Ausgangssituation**

Leistungselektronische Anwendungen dienen der Umformung netzseitig bereitgestellter elektrischer Energie für die jeweiligen Verbraucher mittels elektronischer Schalter. Verglichen mit analogen Bauteilen wird somit eine höhere Zuverlässigkeit bei reduzierter Verlustleistung erzielt. Die Verlustleistung setzt sich dabei zusammen aus Durchlassverlusten, die von der Höhe der treibenden Spannung und des Stroms abhängen, sowie aus Schaltverlusten, die proportional zur Schaltfrequenz sind. Um die Schaltverluste zu begrenzen, werden die meisten leistungselektronischen Schaltungen mit Schaltfrequenzen von bis zu 20 kHz betrieben.

Um die Leistungselektronik in der Anwendung vor Umwelteinflüssen zu schützen und um gleichzeitig das elektrische Potential zu isolieren, werden in der Regel polymere Vergussmassen, beispielsweise auf Basis von Polyurethan, Epoxidharz oder Silikon verwendet. Diese zeichnen sich durch eine hohe elektrische Festigkeit bei gleichzeitiger Beständigkeit gegenüber mechanischer und thermischer Beanspruchung aus. Im Gegenzug weisen sie wie alle Feststoffisolierungen jedoch keine selbstheilenden Eigenschaften auf, sodass ein elektrischer Durchschlag mit dem Ende der Lebensdauer der gesamten Komponente einhergeht [1].

Gemäß DIN 50035 [2] beschreibt der Begriff „Alterung“ die „Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge“. Es wird unterschieden zwischen inneren Alterungsursachen, beispielsweise inneren Spannungen oder unvollständiger Polymerisation, und äußeren Alterungsursachen wie mechanischen Beanspruchungen oder der Einwirkung thermischer Energie; die Alterungsvorgänge selbst werden in chemische und physikalische Vorgänge eingeteilt. Alterungerscheinungen sind alle sichtbaren oder messbaren Wirkungen der Alterungsursachen von Verfärbungen bis zu Riss- und Bruchbildung. [2]

In elektrischen Isolationssystemen wird zweckmäßigerweise zwischen nichtelektrischer und elektrischer Alterung unterschieden. Die nichtelektrischen Alterungsmechanismen sind beispielsweise äußere und innere Krafteinwirkung, Kontakt mit Flüssigkeiten und Strahlung sowie thermische Beanspruchungen und

gegenseitige Beeinflussung verschiedener miteinander in Kontakt stehenden Materialien. Sie werden unter dem Begriff TEAM zusammengefasst (Abbildung 1).

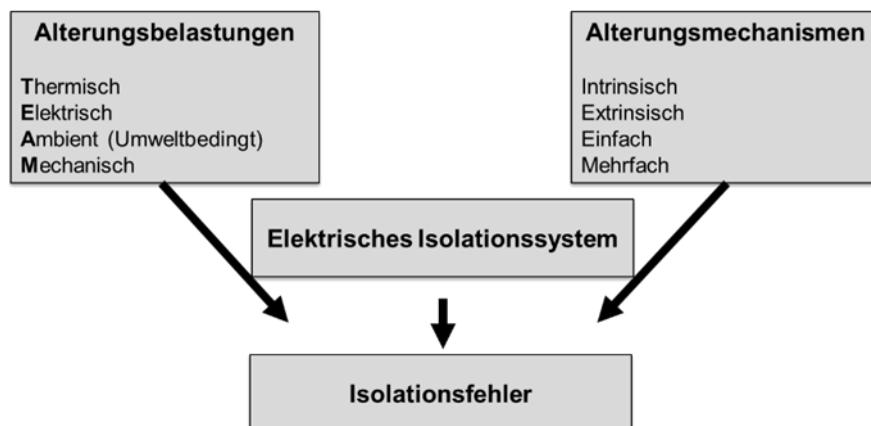


Abbildung 1 Alterungsverhalten von elektrischen Isolationssystemen [3]

Neben den thermischen und elektrischen Belastungen sind derartige Materialien äußerer Umweltbedingungen (ambient) und mechanischen Einflüssen (z.B. Zug, Druck, Stoß) ausgesetzt. Die daraus resultierenden intrinsischen oder extrinsischen Alterungsmechanismen können einzeln oder mehrfach auftreten und sich gegenseitig beeinflussen. Als Konsequenz wird eine Veränderung der Materialeigenschaften mit fortschreitender Alterung beobachtet. Bei einer "Degradation" spricht man von einer temporären Veränderung des Zustandes, bei einer "Deterioration" von einer permanenten Veränderung. Diese Veränderungen können zu einem Isolationsfehler bzw. Durchschlag führen. Unterschiedliche Faktoren beeinflussen die Geschwindigkeit der Alterung [3].

### **Arbeitshypothesen und Lösungsweg**

Zur Untersuchung der Einflussfaktoren auf die beschleunigte Alterung werden folgende Arbeitshypothesen evaluiert:

#### **1. Einfluss des elektrischen Feldes**

Infolge der elektrischen Belastung mit einer Prüfspannung im kHz-Bereich wird unter anderem von einer Erwärmung der untersuchten Vergussmassen ausgegangen. Mit zunehmender Alterungsdauer wird eine Abnahme der elektrischen Festigkeit der Materialproben erwartet. Die angelegte äußere Spannung und das daraus resultierende elektrische Feld erzeugt eine Kraftwirkung auf die Molekülketten der Vergussmassen. Sofern diese stark genug ist, um lokal die Materialstruktur zu schädigen, ist mit Teilentladungen zu rechnen, die den Erosionsdurchschlag einleiten können.

#### **2. Einfluss der Temperatur**

Durch eine Temperaturerhöhung wird unmittelbar die Beweglichkeit der Polymermoleküle erhöht. Infolgedessen könnte die Beständigkeit der Molekülketten gegen Strukturrisse durch die elektromechanische Kraft erhöht werden.

Bei nicht vollständig vernetzten Systemen ist bei erhöhter Temperatur mit Nachvernetzung der Vergussmassen zu rechnen, was sich wiederum in einer verringerten Kettenbeweglichkeit und somit erhöhter Anfälligkeit für Spannungsrisse äußern würde. Ferner folgt aus der Nachvernetzung ein erhöhter dielektrischer Verlustfaktor, wodurch die dielektrische Erwärmung intensiviert würde. Darüber hinaus kann aufgrund unterschiedlich hoher thermischer Ausdehnungskoeffizienten eine Erhöhung der Umgebungs-temperatur die Bildung von Hohlräumen an den Grenzflächen zwischen Vergussmassen und Füllstoffen begünstigen.

### **3. Einfluss der Füllstoffart bzw. Modifikationen der Vergussmassen**

Durch den Einsatz von Additiven, wie beispielsweise Zähmodifikatoren oder Füllstoffen, sollen die Materialeigenschaften der Vergussmasse gezielt verändert werden. Die Netzwerkstruktur bzw. die Glasübergangstemperatur der Vergussmassen werden dadurch beeinflusst.

Dies nimmt ebenso einen Einfluss auf die Bruchmechanik, so dass eine Risseinbringung durch die Alterung erschwert wird. Gleichzeitig gelten Fremdstoffeinschlüsse in elektrisch belasteten Isoliermaterialien als anfällig für Teilentladungen, sofern die Anhaftung zwischen den eingebrachten Partikeln und der Polymermatrix unzureichend ist.

### **4. Einfluss des Füllstoffanteils**

Mit steigendem Füllstoffanteil wird eine stärkere Veränderung der Materialeigenschaften gegenüber den ungefüllten Vergussmassen erwartet. Die unter Punkt 3. genannten Effekte sollten somit in verstärktem Maße auftreten. Ferner steigt mit dem Füllstoffanteil das Risiko für Agglomeration der Füllstoffpartikel. Diese wirken sich als Fehlstelle mit ggf. großem Durchmesser deutlich auf die elektrische Festigkeit des Verbundmaterials aus und sollten somit vermieden werden. Damit ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Materialherstellung und deren Verarbeitung.

### **5. Einfluss der chemischen Struktur und des Harz-Härter-Verhältnisses**

Es wird erwartet, dass unreagierte Anteile im Harzsystem durch das elektrische Feld angeregt und damit in Bewegung gebracht werden. Durch die zyklische Belastung im Wechselfeld können die wirkenden Kräfte Beschädigungen in der Netzwerkstruktur der Duroplaste erzeugen. Durch eine Abweichung des stöchiometrischen Verhältnisses zwischen Harz und Härter soll dies speziell beim Epoxidharz kontrolliert untersucht werden. Weiterhin wird aufgrund der unterschiedlichen chemischen Strukturen der zu untersuchenden Vergussmassen (Polyurethan, Epoxid und Silikon) eine unterschiedlich starke Beschädigung erwartet.

### **6. Neue Mess-Methode zur Alterung im elektrischen Feld**

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse zur thermo-elektrischen Alterung kann eine neue Methodik zur Prüfung von Vergussmassen erarbeitet werden. Dies erlaubt eine Prüfung von Vergussmassen für einen späteren Einsatz in einem elektrischen Bauteil. Damit können Vorhersagen zum Materialeinsatz getroffen werden. Der Prüfstand erlaubt eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Vergussmassen und deren Modifikation mit Füllstoffen. Zudem kann aus den Versuchen eine potentielle Norm generiert werden.

### **7. Entwicklung neuer Materialien**

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse zur Eignung verschiedener Vergussmaterialien können Struktur-Eigenschaftsbeziehungen gezeigt werden. Daraus können Empfehlungen zur Entwicklung neuer Materialien resultieren.

Um die Arbeitshypothesen zu evaluieren und die angestrebten technisch-wissenschaftlichen Forschungsziele zu erreichen, werden fünf Arbeitspakete bearbeitet, in denen die Forschungseinrichtung entsprechend ihrer sich ergänzenden Kompetenzen eng zusammenarbeiten. AP1 befasst sich mit der Auswahl der zu untersuchenden Ausgangsmaterialien. AP2 umfasst Aufbau und Inbetriebnahme des Versuchsstandes sowie Konzeptionierung der Probengeometrie. Die elektro-thermische Alterung der untersuchten Vergussmassen wird in zwei Versuchsreihen durchgeführt, wobei in der ersten Versuchsreihe (AP3) zunächst ungefüllte und in der zweiten Versuchsreihe (AP4) gefüllte Vergussmassen einer beschleunigten Alterung unterzogen werden. In AP5 werden die Maßnahmen zum Transfer der Ergebnisse gebündelt.

Das Projekt wurde im Juli 2023 begonnen. Der Schwerpunkt in den ersten Monaten der Projektlaufzeit lag in den vorbereitenden Arbeitspaketen AP1 und AP2. Erste Ergebnisse aus experimentellen Untersuchungen werden im Jahr 2024 vorliegen.

Von den Ergebnissen profitieren viele Bereiche der Wertschöpfungskette für die Herstellung von elektronischen Bauteilen. Dies sind unter anderem Hersteller von chemischen Grundkomponenten und Anwender von Vergussmassen, Leistungselektronik-Hersteller sowie Anwender elektrischer und elektronischer Bauteile in verschiedensten Industriebereichen.

## Literatur

- [1] Küchler, A.: Hochspannungstechnik: Grundlagen – Technologie – Anwendungen. 4th ed. Berlin: Springer Vieweg, 2017
- [2] DIN 50035: Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien – Polymere Werkstoffe. Berlin, 2012
- [3] Sumereder, C.; Muhr, M.: Zuverlässigkeit- und Risikoabschätzung von elektrischen Betriebsmitteln. TU Graz / Österreich  
[https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/2670661/5.4.2%2520SUMEREDER\\_MUHR\\_EInno06\\_LF.pdf](https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/2670661/5.4.2%2520SUMEREDER_MUHR_EInno06_LF.pdf)

Ansprechpartner FGH ▪ Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen  
Dipl.-Ing. Jan Scheffer

## Störlichtbögen Gleichstromsysteme – Sicherheit bei Störlichtbögen in Niederspannungs-Gleichstromsystemen

AiF/IGF-Forschungsprojekt

Laufzeit: 1.08.22 – 31.07.24

*Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dresden, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik sowie der Technischen Universität Ilmenau, Thüringer Energieforschungsinstitut, durchgeführt.*

### Zielstellung

Das Projekt setzt sich zum Ziel, einen neuartigen Beitrag zur Gewährleistung der Sicherheit bei Störlichtbogenentstehung in bereits existierenden sowie in den zahlreich neu entstehenden Niederspannungs-Gleichstromsystemen zu leisten. Dabei soll der Stand der Technik zu DC-Störlichtbögen durch umfangreiche Laboruntersuchungen schrittweise erweitert und anwendungsspezifischere Schlussfolgerungen sowohl für den Anlagen- als auch den Personenschutz vor den Auswirkungen eines Gleichstromstörlichtbogens erarbeitet werden. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Berücksichtigung von Batterien bzw. Akkumulatoren als nichtlineare Quellen und deren Auswirkungen auf das Störlichtbogenverhalten und dessen elektrische und thermische Charakteristik. Die Projektergebnisse werden so aufbereitet, dass sie unter anderem direkt in entsprechende Anwenderleitlinien (bspw. DGUV-I 203-077) eingearbeitet werden können.

### Arbeitsschritte/Lösungsweg

Es sind grundsätzlich zwei Arten von Lichtbögen für den Betrieb elektrischer Anlagen relevant. Zum einen ist dies der Schaltlichtbogen, der bei der Trennung stromführender Kontakte auftritt, zum anderen der Störlichtbogen, der ungewollt auftritt. Er entsteht, wenn Kontakte mangelhaft sind oder Isolierstrecken überbrückt werden. Das Risiko des Auftretens von Störlichtbögen kann mit sorgfältiger Anlagenplanung, regelmäßigen Kontrollen und hohen Sicherheitsstandards bei Arbeiten in der Anlage stark gesenkt werden; ein absoluter Schutz vor Störlichtbögen ist jedoch nicht wirtschaftlich realisierbar.

Abhängig davon, ob der Störlichtbogen in Reihe zur Last (typisch für mangelhafte Kontaktstellen) oder parallel zur Last (Kurzschluss) auftritt, unterscheidet man in serielle und parallele Störlichtbögen. Bei seriellen Fehlern kann der Lichtbogenstrom maximal die Höhe des Betriebsstromes annehmen, weshalb Überstromschutzgeräte zur Erkennung dieses Fehlers nicht geeignet sind. Es kommt zu langen Fehlerzeiten, die mit entsprechenden thermischen Einwirkungen auf die Umgebung einhergehen und zu einer erhöhten Brandgefahr führen. Im Gegensatz dazu schließt ein paralleler Lichtbogen die Last kurz. Der fließende Strom kann im Bereich des Anlagenkurzschlussstromes und damit bei einigen Kiloampere liegen. Da der Lichtbogen selbst eine Impedanz darstellt, ist aber auch eine Reduktion des Kurzschlussstromes möglich. Diese kann so groß sein, dass der Fehlerstrom nicht mehr als Überstrom erkannt wird.

Die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes sind auf leistungsstarke, energiereiche Hochstromgleichspannungslichtbögen bei Kurzschlägen in Niederspannungsgleichstromsystemen (LVDC) mit Strömen im kA-Bereich (Lichtbogenleistungen > 100 kW) ausgerichtet. Neben der Untersuchung von gleichrichtergespeisten Störlichtbögen liegt der Fokus auf der Untersuchung von Batterieanlagen, um Kurzschlusscharakteristika sowie Strom- und Spannungsverläufe der Störlichtbögen und die freigesetzte Energie auszuwerten. Basierend auf den bisher erworbenen Erkenntnissen werden die Untersuchungen zum Verhalten des Gleichstromlichtbogens bei unterschiedlicher Einspeisung intensiviert, um Aussagen zum Brennverhalten, zu Brennbedingungen und charakteristischen Merkmalen treffen zu können.

Für die experimentellen Untersuchungen kommt u.a. ein Störlichtbogenversuchsstand an der TU Dresden zum Einsatz, der für die spezifischen Anforderungen des Forschungsprojektes erweitert wird (Abbildung 1).

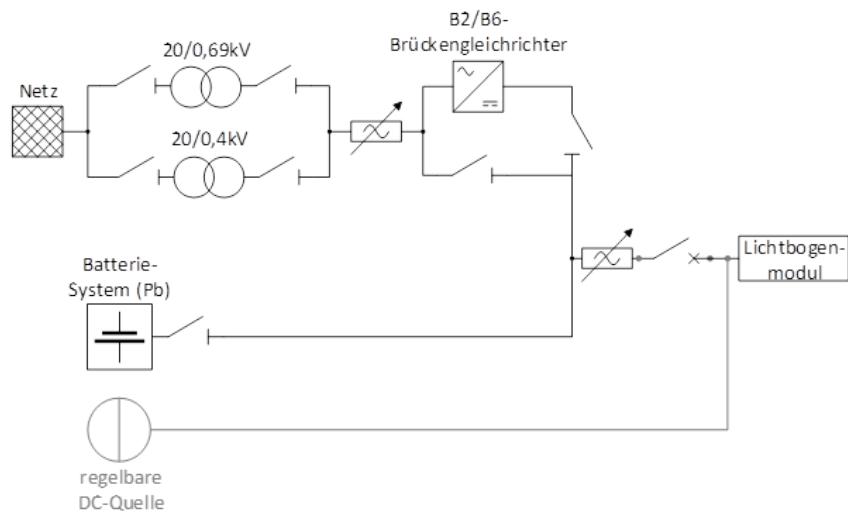


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Lichtbogenversuchsstandes an der TU Dresden

Erste Untersuchungen zu den elektrischen Eigenschaften von stromstarken, batteriegespeisten Störlichtbögen in Hochvoltbatterien legen nahe, dass es neben Ähnlichkeiten zum Wechselstrom-Lichtbogen beim Zündvorgang (s. Abbildung 2 aus eigenen Messungen an der TUD) in der stationären Phase des Störlichtbogens Unterschiede gibt, die auf die Form der speisenden Spannung zurückzuführen sind. Dies ist deutlich in den drei Teilbildern der Abbildung 2 zu erkennen.

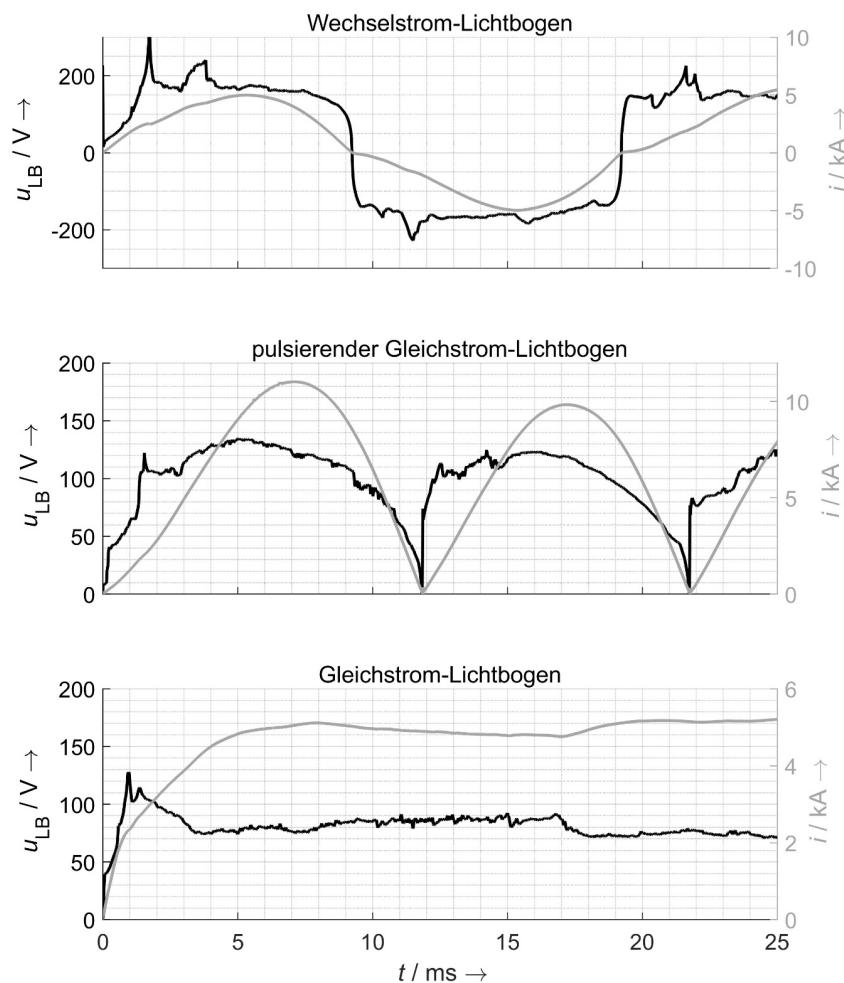


Abbildung 2 Spannung und Strom experimenteller Störlichtbögen mit unterschiedlicher Einspeisung

Aus den Messdaten werden Störlichtbogenmodelle abgeleitet, die für unterschiedliche Anwendungen genutzt werden sollen; einerseits ist die oben genannte Einwirkenergie auf Personen von Interesse, andererseits sind die Auswirkungen auf benachbarte Anlagenteile relevant. Abhängig vom Einsatzzweck müssen Modelle unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit ihrer Ergebnisse erfüllen. Basierend auf den abgeleiteten Modellen wird eine Gefährdungsbeurteilung für unterschiedliche Anlagentypen durch Störlichtbögen abgeleitet. Die so ermittelten Risiken werden beschrieben und mögliche Schutzmaßnahmen aufgezeigt.

Endergebnisse des Projektes sind ein Datenmodell für Batterieanlagen, ein Auswahlalgorithmus für PSAgS, Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung sowie Leitlinien für die geeignete Konstruktion von Gleichstromanlagen und Auswahl von Schutzgeräten für verschiedene Zwecke.

Ansprechpartner FGH ▪ Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen  
M.Sc. Mirnes Planic  
M.Sc. Fabian Lemmerz

## **OptiTransient – Teilvorhaben: Untersuchung des Einflusses netzfolgender / netzbildender stromrichterbasierter Anlagen auf Fehlerereignisse unter Betrachtung elektromagnetischer Transienten**

BMWK-Forschungsprojekt

Laufzeit: 1.10.2023 - 30.09.2026

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Verbundvorhaben OptiTransient befasst sich mit aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Bereich der Systemstabilität. Das Vorhaben fokussiert sich auf das Verhalten im transienten Zeitbereich und untersucht hierbei insbesondere netzbildende Betriebsmittel, für welche im Projektverlauf optimierte Regelungsstrategien entwickelt und geprüft werden. Neben der simulativen Analyse wird ebenfalls die messtechnische Untersuchung der identifizierten Herausforderungen im transienten Bereich behandelt. Das Konsortium besteht aus Forschungseinrichtungen, Netzbetreibern, Beratern, Prüfeinrichtungsherstellern, und Anlagenherstellern.

### **Zusammenfassung und Ziele**

Die Netzanschlussrichtlinien wie etwa VDE-AR-N-4105 bis -4130 schreiben vor, dass Erzeugungseinheiten (EZE) Netzfehler ohne Abschaltung durchfahren müssen (sogenannte Fault-Ride-Through, FRT), wobei das Verhalten der EZE während dieser festgelegt ist. Für den transienten Zeitbereich unmittelbar nach Fehlereintritt und -klärung existieren bislang keine klaren Anforderungen. Freifeldmessungen mit passiven Testsystemen und Simulationen im Projekt OVRTuere [5] haben gezeigt, dass bei Netzfehlern eine Vielzahl von Effekten wie beispielsweise transiente Überspannungen und Winkelsprünge auftreten, welche bisher nicht in die Betrachtung einbezogen wurden. Diese Effekte wirken insbesondere in dem subtransienten Bereich unmittelbar nach Auftreten eines Fehlers bzw. nach Fehlerklärung. Da das Verhalten von Erzeugungsanlagen infolge dieser Transienten nicht zwingend durch Simulationen oder Messungen geprüft wird, besteht das Risiko, dass sich EZE aufgrund dieser Transienten fehlerhaft verhalten oder sogar abschalten. Um dieses Risiko zu reduzieren, sollen zusätzliche Anforderungen definiert werden. Zusätzlich sollen Methoden zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen entwickelt werden.

Die transienten Vorgänge im Netz werden sich zukünftig ändern und verstärkt durch das Verhalten der Stromrichter beeinflusst werden, da immer mehr stromrichterbasierte Anlagen die bestehenden Synchronmaschinen ablösen werden. Dabei werden auch netzbildende Stromrichter eine wichtige Rolle spielen. Diese müssen einerseits transiente Vorgänge durchfahren können und andererseits transiente Vorgänge so beeinflussen, damit auch andere Betriebsmittel relevante Störungen durchfahren können. Daher müssen für diese auch im transienten Bereich Anforderungen definiert und Methoden zur Überprüfung der Einhaltung dieser Anforderungen entwickelt werden.

Zusammenfassend werden folgende Ziele innerhalb des Projekts verfolgt:

- Untersuchung und Simulation der transienten Vorgänge während realer Netzfehler
- Definition von Anforderungen an stromrichterbasierte Betriebsmittel im transienten Bereich
- Labor- und feldmesstechnische Betrachtung der transienten Vorgänge sowie die Reaktion der EZE
- Erstellung von Anforderungen für netzbildende Stromrichter
- Optimierung einer netzbildenden Regelungsstrategie sowie deren Validierung bei Messkampagnen

### **Überblick über die Tätigkeiten und Ziele der FGH e.V.**

Die Hauptziele umfassen

- eine grundlegende Untersuchung des Einflusses netzfolgender und netzbildender Betriebsmittel während transienter Vorgänge im Zuge verschiedener Netzfehlerarten,

- die Identifizierung möglicher Gefährdungen der Anlagen-, Teilnetz- oder Systemstabilität und
- die Ableitung passender Anforderungen an stromrichterbasierte Betriebsmittel.

Dazu sollen verschiedene Teilziele erreicht werden. Durch die Sammlung und Analyse realer Ereignisse soll eine Verbesserung der Einschätzung der Häufigkeit, Schwere und Charakteristiken transienter Phänomene ermöglicht werden.

Bestehende Anforderungen in Normen und Anschlussbedingungen in Deutschland, auf europäischer Ebene und weltweit sollen gesammelt und analysiert werden.

Relevante, die Ereignisse beeinflussende Netzeigenschaften wie die Netzimpedanz, werden detailliert untersucht und modelliert.

Im Rahmen einer Simulationsstudie soll ein netzdienliches Verhalten identifiziert werden und in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern Empfehlungen zur Ausgestaltung zukünftiger Konzepte zur Sicherstellung der Stabilität im Netz ausgearbeitet werden.

Die im Rahmen des Projektes durch die Forschungspartner entwickelte optimierte netzbildende Regelung für stromrichterbasierte Systeme wird in Simulationen auf Basis der entwickelten Untersuchungsmodelle verifiziert und der Einfluss auf Fehlerereignisse untersucht und bewertet, um einen zuverlässigen und sicheren Netzbetrieb zu sichern.



Abbildung 1 1. Konsortialtreffen des Projektes in Aachen

### Aktuelle Arbeitsergebnisse

In einem ersten Schritt des Projektes wurden reale Ereignisse bezüglich transienter Vorgänge recherchiert und analysiert. Zum Vergleich und Aufarbeitung der Ereignisse wurden verschiedene Charakteristika definiert, welche u.a. das initiale Ereignis, den Netzzustand vor dem Ereignis und die gemessenen Daten an Erzeugungsanlagen umfassen. Hierdurch wird ein tiefergehendes Verständnis der relevanten Phänomene und deren Ausprägung in realen Netzsituationen gewonnen.

Des Weiteren wurden bestehende nationale als auch internationale Normen bezüglich Anforderungen an den transienten Bereich sowie Analysen zu Systemereignissen untersucht, siehe [1-4]. Hierbei sind z.B. Anforderungen der FRT-Grenzkurven in Hinsicht auf transiente Überspannungen oder an Phasenwinkelsprünge relevant für das Verhalten der Erzeugungsanlagen im transienten Bereich.

### **Untersuchte Analysen und Normen**

- [1] Continental Europe Synchronous Area Separation on 08 January 2021: ICS Investigation Expert Panel – Final Report – 15 July 2021
- [2] Technical Report on the events of 9 August 2019. National Grid ESO, 2019
- [3] VDE-AR-N 4120 Hochspannung. VDE, 2018
- [4] IEEE 2800-2022. IEEE, 2022
- [5] FGH: Jahresbericht 2022, S. 30 ff.

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Max Murglat  
M.Sc. Christoph Wirtz

## InnOpTEM – Teilverhaben: Projektkoordination, Implementierung KI-basierter Methoden und Methoden basierend auf einer Mensch-Maschine-Interaktion

BMW-Forschungsprojekt

Laufzeit: 1.09.2022 – 31.08.2025

*Der FGH e.V. übernimmt die Konsortialführung des vom BMWK geförderten Forschungsprojekts InnOpTEM. Im Rahmen des Projektes sollen gemeinsam mit den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB), der RWTH Aachen und der Gurobi GmbH innovative Verfahren zur Ermittlung von Topologie- und Redispatchmaßnahmen entwickelt werden. Durch den Einsatz neuer Methoden sollen zukünftig die Gesamtkosten für das Engpassmanagement gesenkt werden. Im Fokus des Projektes steht vor allem die betriebliche Anwendbarkeit der zu entwickelnden Verfahren. Durch die enge Zusammenarbeit mit den ÜNB sollen praktische Anforderungen zu Beginn des Projektes definiert und bei der Entwicklung neuer Verfahren berücksichtigt werden. Die betriebliche Anwendbarkeit der vielversprechenden Ansätze soll im Rahmen von Feldtests untersucht werden. Ziel des Projektes ist es, Empfehlungen für geeignete Verfahrensansätze zur geschlossenen Optimierung von netz- und marktbezogenen Maßnahmen für den Einsatz im Netzbetrieb abzuleiten.*

### Motivation und Zielsetzung

Die Gewährleistung des sicheren und zuverlässigen Betriebs der Netzinfrastruktur zur Übertragung elektrischer Energie obliegt den Übertragungsnetzbetreibern. Diese haben in ihrer Betriebsplanung zeitlich gestaffelte Prozesse implementiert, um die Auslastung der Netzinfrastruktur zu prognostizieren und im Falle einer Gefährdung der Systemsicherheit, geeignete Maßnahmen zu aktivieren. Der Gesetzgeber reguliert den hierfür zulässigen Maßnahmenkatalog, welcher eine bevorzugte Ausnutzung der netzbezogenen Maßnahmen des Übertragungsnetzbetreibers vorsieht. Netzbezogene Maßnahmen umfassen dabei neben dem Einsatz von lastflusssteuernden Betriebsmitteln insbesondere die Anpassung der Schaltzustände. Solch eine Anpassung ändert die lokale Vermischung des Übertragungsnetzes. Dadurch ist es möglich Leistungsflüsse im Übertragungsnetzbetrieb zu beeinflussen und gegebenenfalls Netzengpässe zu reduzieren oder zu beseitigen. Hierdurch können kostenintensive Eingriffe in Erzeugung und Verbrauch (sog. marktbezogene Maßnahmen) verringert werden.

Die Optimierung möglicher Schaltzustandsänderungen ist jedoch mit einer hohen kombinatorischen Komplexität verbunden. Um Praxistauglichkeit zu gewährleisten, ist zum einen eine ausreichend kurze Rechenzeit zur Anwendung in operativen Prozessen erforderlich. Zum anderen ist insbesondere eine Berücksichtigung aller relevanten betrieblichen Randbedingungen des Schaltbetriebs erforderlich. Diese Randbedingungen werden heute durch Expertenwissen der Schaltingenieure umgesetzt. Eine besondere Herausforderung besteht somit darin, das Expertenwissen geeignet in Nebenbedingungen zu formulieren, sodass diese in ausreichend kurzer Rechenzeit im Rahmen von Optimierungsalgorithmen eingehalten werden können.

Für das Forschungsprojekt InnOpTEM sollen daher betriebsnahe Verfahren entwickelt werden, welche markt- und netzbezogene Engpassmanagementmaßnahmen optimieren und damit insbesondere topologische Schaltmaßnahmen berücksichtigen können.

Als geeignete Verfahren sollen im Rahmen des Projekts folgende Ansätze prototypisch umgesetzt werden:

- Basisansatz: Iterative Maßnahmenoptimierung mit Dekomposition des Optimierungsproblems in eine Optimierung der Schaltmaßnahmen zur Minimierung der Engpassleistung und eine anschließende Optimierung weiterer Engpassmanagementmaßnahmen (insb. Redispatch) mit dem Ziel der Kostenminimierung.
- Mathematisches Optimierungsverfahren: Geschlossene Optimierung von markt- und netzbezogenen Engpassmanagementmaßnahmen.

- KI-basierter Ansatz: Beschleunigte Bestimmung von netz- und marktbezogenen Engpassmanagementmaßnahmen durch Verlagerung der zeitintensiven Berechnungen in einen Trainingsprozess.
- Mensch-Maschine-Interaktion: Erlernen von Schalthandlungen aus Interaktionen des system- oder betriebsführenden Personals, sowie Verfeinerung der bestehenden Algorithmen durch Rückmeldung der Expert:innen.

Eine Kombination der unterschiedlichen Ansätze, wie beispielsweise ein KI-Modell, welches in der mathematischen Optimierung in einer Dekomposition Teilergebnisse ermittelt, ist denkbar und soll bei Eignung auch weiterverfolgt werden.

## Projektstruktur

Die Entwicklung von innovativen Ansätzen zur Topologieoptimierung erfolgt in InnOpTEM in einem rollierenden Prozess. In Abbildung 1 sind die Abhängigkeiten der Arbeitspakete (AP) für das Projekt dargestellt. Zunächst werden die Anforderungen und Randbedingungen in AP2 abgeleitet, auf deren Basis in AP4 Modelle und Algorithmen konzeptioniert werden. Erste Entwürfe der Konzepte werden an reduzierten Test Cases (mit niedriger Anzahl an Netzknoten) getestet, um die grundsätzliche Eignung zu prüfen. Nach der Bewertung folgt in AP5 die Implementierung der erfolgversprechendsten Konzepte und die Anwendung an einzelnen, nicht reduzierten Test Cases (vollständige Betrachtung des deutschen Übertragungsnetzes). Dies kann wiederum Aspekte aufzeigen, für die das Konzept angepasst werden muss. Der Prozess zur Anpassung des Konzeptes muss dabei möglicherweise mehrfach durchlaufen werden. Sobald ein Konzept sich als umsetzbar darstellt, erfolgt in AP3 der automatisierte Feldtest. Auch hier können sich wieder Rückwirkungen, zum einen auf die Implementierung, aber auch auf das Konzept, ergeben. Dies kann zu mehrfachen Schleifen zwischen den drei Arbeitspaketen 3 bis 5 führen. Erweist sich einer der Ansätze im Feldtest als anwendbar, erfolgt seine abschließende Bewertung in AP6. Zur Koordination der vielfältigen Schnittstellen wird in AP 1 durch geeignete Abstimmungen ein gemeinsames Verständnis aller Partner geschaffen.

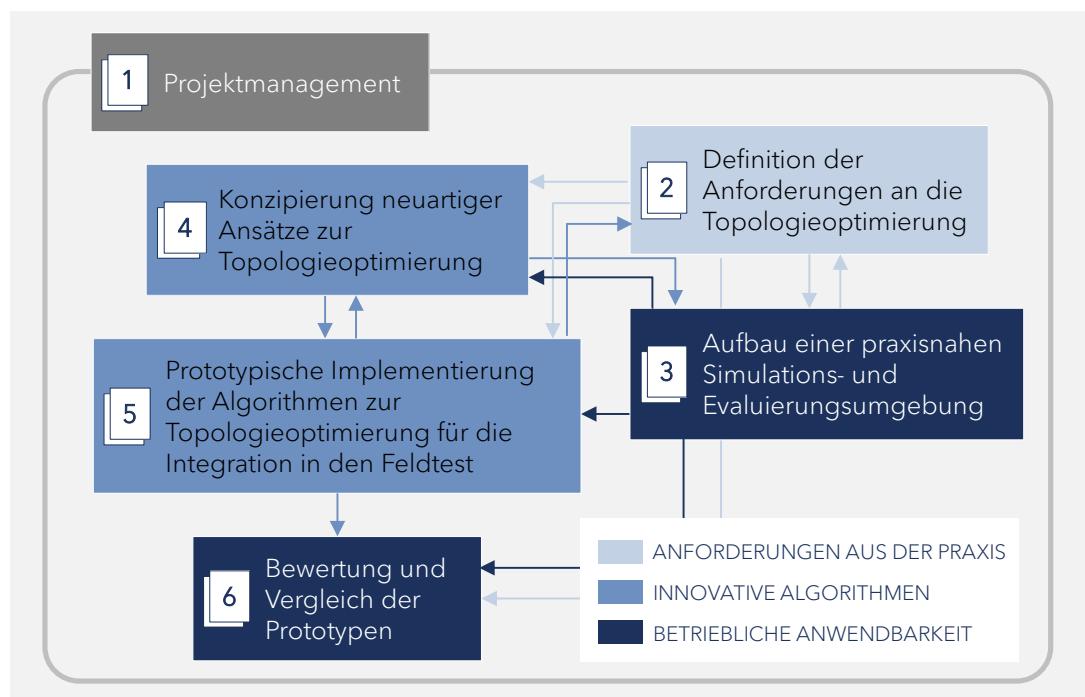


Abbildung 1 Projektstrukturplan

## Ziele der FGH

Das Projektziel der FGH ist die Konzeptionierung und Implementierung neuer Ansätze zur gemeinsamen Ermittlung von netz- und marktbezogenen Engpassmanagementmaßnahmen. Die FGH entwickelt im Rahmen des Projektes einen Basisansatz zur iterativen Optimierung von netz- und marktbezogenen Maßnahmen, sowie neuartige Ansätze auf Basis von künstlicher Intelligenz und Mensch-Maschine-Interaktion. Zusätzlich übernimmt die FGH die Konsortialführung und prüft die Abbildung der identifizierten Randbedingungen in den Ansätzen.

Eine detaillierte Beschreibung der geplanten Tätigkeiten ist [1] zu entnehmen. Im Folgenden werden die im Jahr 2023 erzielten Arbeitsergebnisse dargestellt.

### Konsortialführung

Für den Erfolg des Projektes müssen die Projektpartner aufgrund der zuvor aufgezeigten vielzähligen Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen eng abgestimmt zusammenarbeiten. Hierzu werden wöchentliche Web-Meetings zur Abstimmung der für die Ansatzentwicklung notwendigen Schnittstellen durchgeführt. Zusätzlich werden in einem monatlichen Treffen in Präsenz die Projektfortschritte präsentiert und nächste Schritte diskutiert.

### Abbildung der Randbedingungen

Aufgrund der hohen kombinatorischen Komplexität der rechnergestützten Bestimmung von Schaltmaßnahmen, werden diese im aktuellen Betrieb manuell auf Basis von Expertenwissen ausgewählt. Zur Gewährleistung der Praxistauglichkeit der im Projektverlauf zu entwickelnden Verfahren wurden daher zwei Workshops mit der Betriebsplanung und Systemführung der Übertragungsnetzbetreiber durchgeführt. In diesen wurden anhand der Diskussion von realen Schaltbeispielen und deren Effekten technische Randbedingungen identifiziert. Außerdem wurde das Vorgehen des betriebsführenden Personals innerhalb der unterschiedlichen Prozesse zur Bestimmung von Schaltmaßnahmen diskutiert, womit betriebliche Randbedingungen aufgestellt werden konnten. Im Nachgang der Workshops wurde dann eine mögliche Form der Abbildung der Restriktionen erarbeitet und in einem Referenzmodell als mathematische Nebenbedingungen formuliert. Außerdem wurde eine Priorisierung der Abbildung der Restriktionen in den zu entwickelnden Ansätzen vergeben. Die identifizierten Randbedingungen wurden abschließend in einem Meilensteinbericht zusammengefasst. Im Zuge der Entwicklung der Ansätze und basierend auf den Erfahrungen aus dem Feldtest, sollen die Abbildungen der Randbedingungen in den Ansätzen geprüft und bei Bedarf ergänzt oder angepasst werden.

### Basisansatz

Im Rahmen der Implementierung des Basisansatzes wurde ein bestehendes Softwareframework zur Redispatchoptimierung weiterentwickelt. Es erfolgte zunächst eine Erweiterung der Datenimporte um Eingangsdaten für die Optimierung der Netztopologie durch Einsatz topologischer Schaltmaßnahmen. Durch die neuen Eingangsdaten wird unter anderem eine Maßnahmenliste vorgegeben, welche umsetzbare und betrieblich sinnvolle Schaltmaßnahmen enthält. Zur Approximation der Maßnahmenwirkung wurde eine linearisierte Modellierung der Schaltmaßnahmen implementiert. Auf Basis dieser Approximation erfolgte eine Erweiterung des bestehenden Verfahrens um eine lineare Optimierung. Diese Optimierung der Netztopologie erfolgt entkoppelt von der Redispatchoptimierung, um die Komplexität und damit die Lösungsdauer des Optimierungsproblems zu reduzieren. Trotz der separaten Optimierungsprobleme können durch einen iterativen Verfahrensansatz Netztopologie und Redispatch aufeinander abgestimmt werden.

Die Ergebnisse des Ansatzes wurden anhand verschiedener Testnetze und europäischer Netzmodelle plausibilisiert und untersucht. Im Rahmen der Untersuchungen wurden zukünftige Entwicklungsbedarfe

ermittelt. Insbesondere sollen zukünftig weitere technische und betriebliche Randbedingungen in der Optimierung abgebildet werden.

Es erfolgte außerdem die Entwicklung von Exportfunktionen, die eine Ergebnisdarstellung im FGH-Visualisierungsservice (vgl. S. 58) ermöglichen.

### **Künstliche Intelligenz**

Im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) erfolgten erste Entwicklungen zur gemeinsamen Optimierung von Engpassmanagementmaßnahmen. Hierzu wurde ein Multi-Agenten Deep Reinforcement Learning Verfahren entwickelt. Bei diesem Verfahren übernimmt ein Agent die Aufgabe des Schaltens von Sammelschienenkupplungen und ein anderer die Redispatchoptimierung. Beide Agenten verfolgen dabei die Beseitigung von Engpässen im Netz als Ziel. Zusätzlich zu diesem übergeordneten Ziel soll der Agent zum Schalten von Kupplungen die Topologie so wählen, dass der Redispatcheinsatz im Vergleich zur Ausgangstopologie reduziert wird. Dieses Verfahren liefert für ein 39-Knoten-Testnetz vielversprechende Ergebnisse. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse ist für das nächste Jahr geplant.

Als weitere Entwicklungen ist der Einbau von zusätzlichen betrieblichen Nebenbedingungen, die Erweiterung der Freiheitsgrade an Engpassmanagementmaßnahmen um Sammelschienenwechsel, Schalten von Leitungen und Phasenschiebertransformatoren und eine Anwendung des Verfahrens für das deutsche Netzgebiet geplant.

### **Mensch-Maschine-Interaktion**

Zur Ermöglichung einer Mensch-Maschine-Interaktion wurde der FGH-Visualisierungsservice (vgl. S. 58) für das Projekt InnOpTEM weiterentwickelt. Dieser soll dabei helfen die Ergebnisse der innovativen Ansätze nachzuvollziehen sowie Ergebnisanpassungen zu ermöglichen. Hierfür wurde zunächst die geographische Darstellung erweitert, um sowohl Veränderungen der Stufenstellung von Phasenschiebertransformatoren, als auch die Veränderung von Schaltzuständen abbilden zu können. Des Weiteren wurde eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse integriert, welche interaktiv über die Geodarstellung anzusteuern ist. Dies ermöglicht eine schnelle Filterung von einzelnen Teilergebnissen, welche dann durch den Nutzer angepasst werden können. Außerdem wurde eine Detailansicht für die dargestellten Elemente des Netzes eingeführt, welche den Zustand des Elementes im Tagesverlauf anzeigt und so eine Übersicht über die Kontinuität von Maßnahmen gibt.

Weitere Entwicklungen sehen eine Darstellung der Verschaltung an den einzelnen Standorten mit Hilfe einer Netzschemagrafik, eine Neuberechnung der Lastflüsse nach durchgeföhrten Anpassungen sowie eine Neuberechnung der Optimierungsansätze mit der Berücksichtigung eingeschränkter bzw. zusätzlicher Freiheitsgrade vor. Außerdem ist ein Ansatz auf Basis von KI geplant, der in Echtzeit direkt in der Visualisierung neue Maßnahmenvorschläge generieren soll.

### **Literatur**

- [1] FGH: Jahresbericht 2022, S. 14 ff.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Annika Klettke  
 M.Sc. Andrea Ewerszumrode  
 M.Sc. Marco Gehrmann  
 M.Sc. Philipp Reuber

## Quirinus-Control – Teilvorhaben: Simulative Bewertung der Spannungsqualität im Rheinischen Revier

BMW-K-Forschungsprojekt

Laufzeit: 01.06.2022-31.05.2026

*Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMW-K) geförderte Verbundvorhaben QUIRINUS-Control ist ein umfangreiches Forschungsvorhaben zur Untersuchung der zukünftigen Spannungsqualität vor dem Hintergrund des Strukturwandels im Rheinischen Revier. Das Konsortium besteht aus Forschungseinrichtungen, Netzbetreibern, Beratern, Messgeräteherstellern, Softwareentwicklern und Anlagenherstellern. Insbesondere zielt QUIRINUS-Control mit dem Aufbau eines Wide-Area-Monitoring Systems als Werkzeug im Rahmen des Projektes auf die Erarbeitung von systemischen Lösungsmaßnahmen und Komponentenlösungen sowie der Ableitung von Best Practice Lösungen ab. Die FGH ist Konsortialführer des Forschungsvorhabens mit insgesamt 16 Projektpartnern.*

### Zusammenfassung und Ziele

Die fundamentalen Veränderungen auf Seiten der Energieversorgung im Rheinischen Revier ziehen tiefgreifende Herausforderungen nach sich. Was passiert, wenn im Rahmen der Energiewende die konventionellen Kraftwerke nach und nach abgeschaltet und durch dezentrale, erneuerbare Energiequellen ersetzt werden? Bleibt die Spannungsqualität weiterhin gesichert? Diese Fragen stellen sich viele Industrie- und Gewerbeunternehmen im Rheinischen Revier. Besonders für die KRITIS ist eine störungsfreie Versorgung von essentieller Bedeutung.

Zielsetzung des Projekts QUIRINUS-Control ist die objektive Bewertung der Spannungsqualität im Zuge dieser Entwicklungen für das elektrische Verteilnetz und Kundenanlagen. Für diese Bewertung wird im Rahmen des Projektes ein echtzeitfähiges Wide Area Monitoring Systems (WAMS) als Werkzeug konzipiert und realisiert. Dazu wird im Rheinischen Revier ein verteiltes Messsystem aufgebaut, um mögliche Veränderungen der Spannungsqualität infolge der Abkehr von der konventionellen Stromerzeugung und der vermehrten Integration von umrichterbasierten Anlagen messtechnisch zu erfassen, (KI-basiert) zu analysieren und im WAMS zu visualisieren. Bestandteil davon ist eine sichere Informations- und Kommunikationsinfrastruktur sowie sichere Betriebsprozesse. Gleichzeitig wird ein geeigneter, rechtlich regulatorischer Rahmen für die Umsetzung des WAMS identifiziert. Schließlich soll eine Geschäftsmodellanalyse den Weg hin zu einem nachhaltigen Betrieb der entwickelten Ansätze unter Berücksichtigung bestehender und neuer Akteure im Energiesystem aufzeigen.

Der inhaltliche Fokus der FGH liegt in der simulativen Untersuchung und Bewertung von netzbetrieblichen und netzplanerischen Lösungsmaßnahmen zur Sicherung der Spannungsqualität. Die FGH bringt besonders die Expertise zu Fragestellungen der Spannungsqualität aus verschiedenen bereits durchgeföhrten Forschungsprojekten mit.

### Überblick über die Tätigkeiten der FGH e.V.

Die wesentlichen Gesamtziele der FGH teilen sich in drei Teile:

- das Projektmanagement sowie die Kommunikation mit der Förderstelle und den Projektpartnern im Rahmen der Konsortialführung,
- der begleitenden Konzeptionierung und dem Aufbau des WAMS und
- der Entwicklung einer Simulationsplattform zur Untersuchung von systemischen Lösungsmaßnahmen.

### Konsortialführung und Projektkoordination

Das Forschungsprojekt QUIRINUS-Control vereint unterschiedliche Fach- und Kompetenzbereiche aus verschiedenen Branchen. Die Partner vertreten im Wesentlichen die Expertise und Interessen der Bereiche

der Energietechnik und -wirtschaft, Messsysteme, Informations- und Kommunikationstechnik, Softwareentwicklung und elektrische Anlagen. Für den Erfolg des Projekts müssen die Partner eng abgestimmt zusammenarbeiten. Die Arbeitsteilung und die unterschiedlichen Fachkenntnisse der Partner müssen hierbei im Rahmen eines vernetzten Zusammenwirkens zielorientiert orchestriert werden. Verschiedene Abspracherrunden in unterschiedlichen Zyklen ermöglichen den regelmäßigen Austausch der Partner.

### **Wide-Area Monitoring System**

Das in QUIRINUS-Control in Entwicklung befindliche WAMS soll eine Ergänzung zu bestehenden Netzteilsystemen der Verteilnetzbetreiber darstellen. Das Monitoring System stellt die Grundlage für die Beobachtbarkeit der Netze, welches in der Zukunft einen aktiven Betrieb der Verteilnetze zulässt. Im Rahmen des Projekts soll mit dem Monitoringsystem zunächst die Möglichkeit der Beobachtung und Analyse der Spannungsqualität im Rheinischen Revier ermöglicht werden. Auf Basis der Analysen untersucht die FGH die Möglichkeiten zur präventiven Beherrschung der Störfälle auf die Spannungs- und Versorgungsqualität.

Im Rahmen der Ausgestaltung des Messsystems, werden Ansätze zur Weiterentwicklung von Mess- und Bewertungsverfahren untersucht und neuartige Algorithmen und ein Prototyp entwickelt. Als Entwicklungsgrundlage wurden Verfahren zur synthetischen Generierung von Spannungsqualitätsdaten verfolgt. Diese sind für die Entwicklung von Datenverarbeitungsalgorithmen erforderlich und werden hierfür bereits eingesetzt. Im Rahmen des noch aktiven Arbeitsschrittes werden unterschiedliche Datenverarbeitungsalgorithmen entwickelt, erprobt und gegenübergestellt. Darüber hinaus werden Vorgehen und Design einer zentralisierten PQ-Zustandsschätzung vorangetrieben, die perspektivisch Grundlage neuartiger Messsysteme sein sollen. Anhand der somit erzeugten Spannungsqualitätsdaten sind erste Analyseschritte zum Einsatz von Algorithmen zur Identifikation von Anomalien in Zeitreihendaten erfolgt. Im Rahmen der noch aktiven Arbeitsschritte werden unterschiedliche Datenverarbeitungsalgorithmen, z.B. zur Datenkomprimierung und -klassifizierung implementiert, erprobt und gegenübergestellt. Darüber hinaus ist die Entwicklung einer zentralisierten PQ-Zustandsschätzung laufend. Zudem wurde für die Messdaten ein einheitliches Datenmodell im HDF5-Datenformat festgelegt. Entsprechende Algorithmen zu Erzeugung der Datenmodelle aus den Messreihen befinden sich in der finalen Entwicklung. Grundlegend wurden die Algorithmen und Methoden zur dezentralen Mustererkennung sowie zur Anomalie-Erkennung besprochen und mit der Entwicklung begonnen. Bereits abgeschlossen sind hier die Bestimmung der charakterisierenden Messgrößen und die regelbasierte Grenzwertbewertung.

Das WAMS bildet die zentrale Drehscheibe des Projekts. Die Spezifikationen wurden im Rahmen des Konsortialtreffens und eines Workshops definiert. Die Ausgestaltung der Hardwarebasis basiert auf einem Kubernetes-Cluster mit europäischen Serverstandort. Diese Lösung ermöglicht eine flexible und einfach umzusetzende Skalierbarkeit anhand der im Projektverlauf prognostiziert steigenden Anforderungen – ohne die Gefahr eines Vendor-Locks – und wurde im Rahmen einer ISMS-Überprüfung auch für die im Zuge des Projekts betroffenen KRITIS Daten als sicher bewertet.

Die Planung der Softwarearchitektur ist grundsätzlich abgeschlossen und die Umsetzung gestartet. Parallel sind bereits Messgeräte in den Netzgebieten der beteiligten Netzbetreiber ausgebracht. Als nächste Schritte sind eine online-Anbindung der Messgeräte und ein Matching mit Netzdaten geplant, um prototypisch eine initiale WAMS-Version bereitzustellen.

### **Entwicklung einer Simulationsplattform zur Untersuchung von systemischen Lösungsmaßnahmen**

Ein Projektziel der FGH ist die Identifikation und Untersuchung sinnvoller systemischer Lösungsmaßnahmen zur Begegnung von Störereignissen auf die Spannungsqualität im Verteilnetz. Auf dieser Basis können Hinweise für kosteneffiziente Maßnahmen für zukünftige aktive Verteilnetze getroffen werden. Es soll

außerdem abgeleitet werden, welche Auswirkungen der zunehmende Rückgang zentraler Kraftwerke, der Einfluss vermehrter dezentraler Erzeugung auf Basis erneuerbarer Energie und die stetig wachsende Anzahl umrichterbasierter Netznutzer im Rheinischen Revier auf die Spannungsqualität hat. Um diese Ziele zu erreichen, werden Zukunftsszenarien ausgestaltet. Eine realistische Abbildung der Entwicklungen ist notwendig, um mögliche Veränderungen passend einzuschätzen. Die FGH unterstützt in diesem Arbeitsschritt die federführenden Projektpartner mit ihrer Erfahrung und Expertise und ihren Methoden zur regionalspezifischen Abbildung des Zubaus innovativer Verbraucher und Erzeuger.

Verschiedene Open Source Tools zur Erzeugung von Eingangsdaten und Lastprofilen auf Niederspannungsebene wurden ermittelt, die in Simulationen und Szenarioanalysen verwendet werden könnten. Spannungsqualitätsaspekte, Ursachen und Gegenmaßnahmen wurden analysiert. Hierzu hat die FGH zunächst eine umfassende Meta-Studie zu aktuell verwendeten und in Diskussion und teils Ausgestaltung befindlicher Kriterien zur Bewertung der Spannungsqualität vorgenommen. Entsprechende Auswertungsalgorithmen (z.B. FFT, THD, THD-N, Flickermeter) wurden in Python in Form eines Auswertungstools implementiert.

Für die Identifikation und Untersuchung der Spannungsqualität wird ein mehrstufiges Verfahren für die (dynamische) Simulation des Netzzustandes konzipiert und implementiert. Im Berichtszeitraum wurde die Implementierung der Simulationsplattform vorangetrieben. Das ursprünglich als zweistufiges Simulationsverfahren geplante Untersuchungsverfahren wurde in drei Bereiche noch granular feinstufiger aufgeteilt. Die Modell- und Simulationsumgebungen des Untersuchungs- und Bewertungsverfahrens wurden um neue Modelle ergänzt, um die zu untersuchenden Spannungsqualitätsaspekte geeignet abbilden zu können.

### **Stufe 1: Identifikation kritischer Netzausprägungen und Leistungsflusssituationen**

Im Rahmen von Betriebssimulationen werden in zeitlich hochauflösten (bis 1 Minute), aber quasistationären Simulationen, mögliche kritische, heutige und zukünftige Netzausprägungen und Leistungsflusssituationen identifiziert.

Im Zusammenspiel mit den aus Messdaten abgeleiteten Zusammenhängen zwischen Netzzustand und möglichen Spannungsqualitätsphänomenen stehen somit untersuchungsrelevante Zeitbereiche für tiefergehende Simulationsuntersuchungen zur Verfügung. Denkbare Zusammenhänge wären hier beispielsweise Zeitpunkte hoher Einspeisung, die zu Spannungsbandproblemen oder erhöhtem Oberschwingungspegel führen. Einige Aspekte der Spannungsqualität lassen sich aufgrund ihrer zugrundeliegenden Zeitbereiche oder auf Basis von aggregierenden Modellen auch im Minutenbereich abbilden. Entsprechende Ereignisse und Gegenmaßnahmen sollen auf Basis dieser Simulationsstufe untersucht werden. Der aktuelle Stand umfasst erste Testrechnungen mit exemplarischen Testnetzen, die Implementierung eines Verfahrens zur Abbildung des Netzbetriebs unter Betrachtung der Veränderungen im Zuge des §14a und die Implementierung der Toolchain.

### **Stufe 2 a): Betrachtung der Netzimpedanz im Frequenzbereich**

Die Netzimpedanz kann als Bewertungsgröße zur vorgelagerten Identifikation kritischer Szenarien verwendet werden und darüber hinaus zur Bewertung der Ausbreitung von Harmonischen herangezogen werden. Hierfür wurde zunächst ein detailliertes Kabelmodell, welches auf Finite-Elemente-Simulationen beruht, für die gängigen Kabeltypen in der NS-Ebene (NAYY, NAYCWY mit Querschnitten von 95 bis 240 mm<sup>2</sup>) angewendet, um das Impedanzverhalten abzuleiten und wesentliche Einflussfaktoren zu identifizieren (s. Abb. 1). Ein gesonderter Fokus wurde hierbei auf die Bewertung der Notwendigkeit der Modellierung von Kabelkapazitäten gelegt, welche in der Literatur oftmals vernachlässigt werden. Es zeigte sich, dass die Kapazitäten für betriebsfrequente Analysen vernachlässigbaren Einfluss auf die Impedanz haben, eine Modellierung für höherfrequente Betrachtungen allerdings empfehlenswert ist. Zusätzlich wurden relevante Einflussfaktoren wie Temperatur oder spezifischer Erdbodenwiderstand in ihrem Einfluss auf die Kabelimpedanz quantifiziert.

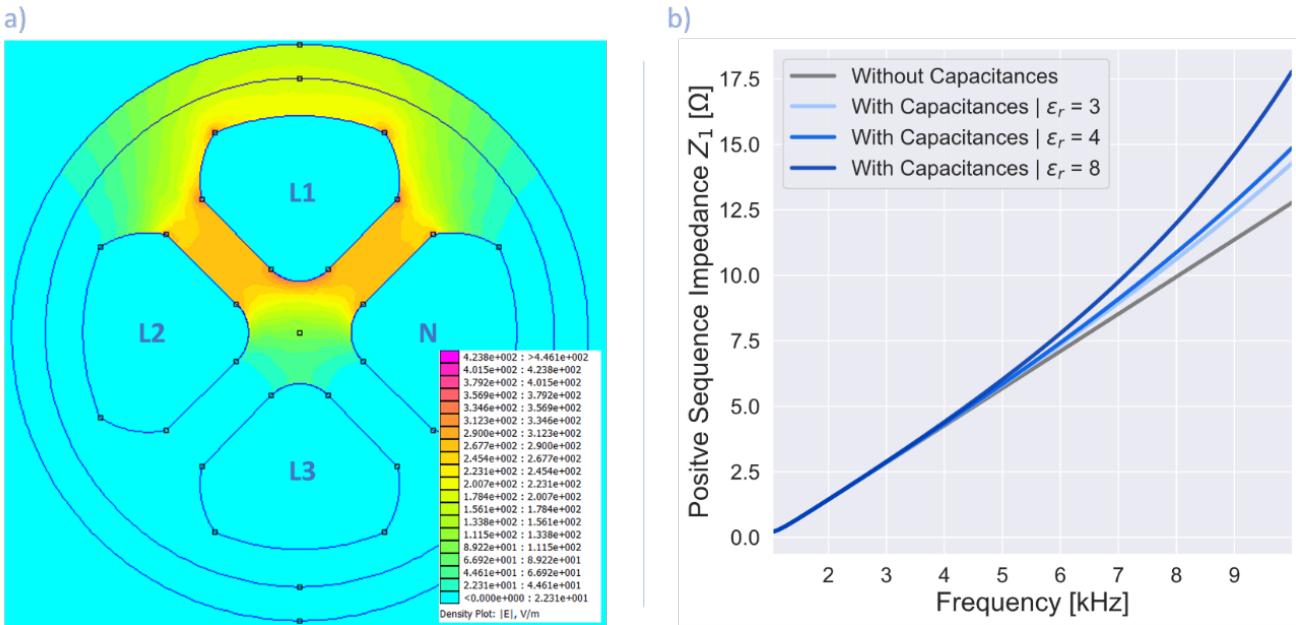


Abbildung 1 a) FEM-Simulation NS-Kabel vom Typ NAYY  
b) Einfluss der Kapazitäten auf die Kabelimpedanz

Weiterhin wurden verschiedene Ansätze für die Modellierung von Lasten im Frequenzbereich verfolgt. Durch die hohe Unsicherheit der jeweiligen Lastkomposition von Haushaltlasten wurden hierbei stochastische Ansätze als notwendig identifiziert. Einerseits wurde ein komponentenbasierter Bottom-Up-Modell-Ansatz entwickelt, welcher – ausgehend vom Leistungsbezug der Haushalte – probabilistisch angeschlossene Einzelgeräte ermittelt. Hierbei werden auch Parameter wie die Durchdringungsrate der Einzelgeräte oder der jeweilige Arbeitspunkt in Betracht gezogen. Mittels für diese Geräte hinterlegter Impedanzmodelle kann das Impedanzverhalten der Lasten stochastisch analysiert werden.

Interne Softwaretools zur Berechnung der Netzimpedanz wurden in diesem Zuge um eine probabilistische Berechnung erweitert. Ausgehend von literaturbasierten stochastischen Lastmodellen wurden erste Untersuchungen zum Einfluss von stochastischen Lastmodellen auf die Netzimpedanz durchgeführt, welche signifikante Auswirkungen des jeweiligen Modells und der Parametrierung aufzeigen.

Da die Berechnung der Netzimpedanz für alle Netzknoten zeit- und ressourcenaufwendig ist, wurde weiterhin eine Auswertung der Knotenadmittanzmatrix basierend auf einer Modalanalyse (engl. *resonance mode analysis*) implementiert und exemplarisch getestet. Hierdurch soll die Identifikation kritischer Moden und die Partizipation, im Sinne einer Beobachtbarkeit und Anregbarkeit, ermöglicht werden.

#### Stufe 2b): (EMT-) Zeitbereichssimulationen

Für eine ganzheitliche Untersuchung mancher Spannungsqualitätsaspekte in ihrer vollständigen Ausprägung von Ursache, über Ausbreitung und Wirkung, sind hochauflöste Zeitbereichssimulationen für eine simulative Nachbildung notwendig. Um diese Aspekte geeignet abzubilden, wurden die eingesetzten EMT-Simulationstools weiterentwickelt.

Die Schnittstelle zwischen quasistationären Simulationen und EMT-Simulationen wurde weiterentwickelt. Die dynamischen Simulationen konnten mit den Ergebnissen der ersten Berechnungsstufe initialisiert werden, ohne eine tooleigene, lastflussbasierte Initialisierung zu benötigen, die zu Abweichungen der Systemzustände führen könnte.

Da die Digitalisierung und Vereinheitlichung der Netzbetreiberdaten noch nicht abgeschlossen war, wurden verschiedene Modelle anhand von bereitgestellten Testnetzen geprüft, erweitert und neu entwickelt. Auf Basis eines Mittelspannungs- und eines Niederspannungstestnetzes (SimBench Datensatz) wurden verschiedene Simulationsfähigkeiten getestet. Es wurde ein zeitvariables Verhalten der Lasten zur Nachbildung unterschiedlichen Verbraucherverhaltens implementiert und getestet.

Des Weiteren wurden WEA- und PVA-Verhalten bei Über- und Unterspannungseignissen nach TAR implementiert. Für die Umsetzung zukünftiger Szenarien wurde eine kontinuierliche Spannungsregelung implementiert, wie sie in den aktuellen Entwürfen zur nächsten Aktualisierung der TAR 4120 (Hochspannung) aufwärts beschrieben ist. In ersten Untersuchungen konnte hier ein positiver Einfluss auf mögliche Dip- und Swell-Ereignisse festgestellt werden. Exemplarisch ist ein Testsetup (links) sowie das resultierende Ergebnis der Simulation in Abbildung 2 dargestellt. Die Spannungswerte sind als RMS-Werte dargestellt. Bei Simulation der „RMS-Fehler“-Kurve ergibt sich bei der Ausgestaltung ohne zusätzliche unterlagerte Spannungsregelung ein kurzzeitiges Unterschreiten des zulässigen Spannungsbandes. Erst nach Eintreten in den Fehlerzustand führt das FRT-Verhalten zur Rückkehr aus dem Fehlerzustand. Durch die kontinuierliche Spannungsregelung tritt im hier untersuchten Testfall der Spannungsdip außerhalb des zulässigen Spannungsbandes nicht auf.

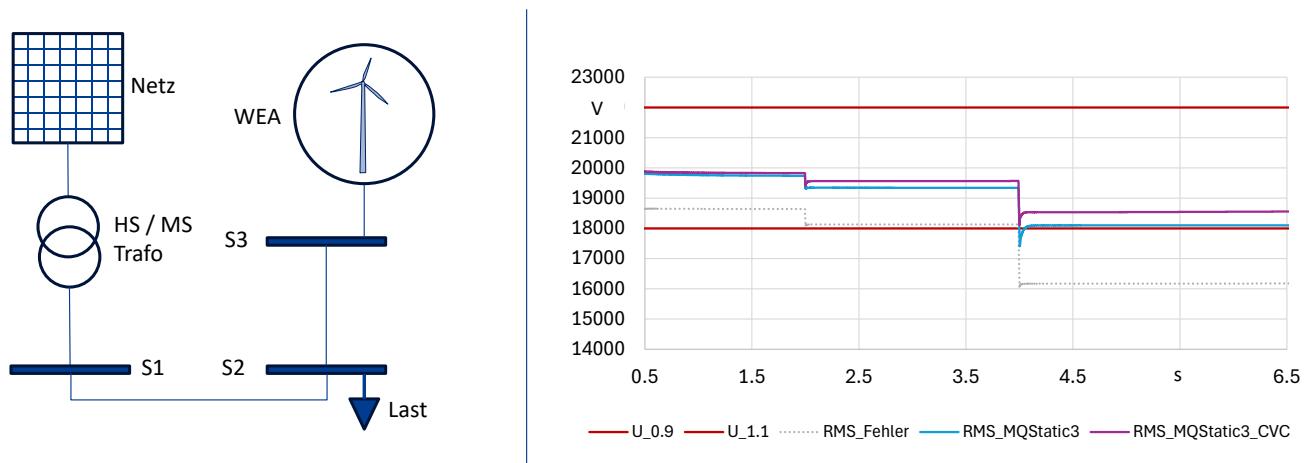


Abbildung 2 Testsetup (links) und simulierte Spannungsverläufe am Netzverknüpfungspunkt NVP der Anlage (rechts)

Eine weitergehende Untersuchung soll auf Basis der realen Netze und unterschiedlichen Durchdringungs- und Ausgestaltungsoptionen fortgeführt werden.

Weitere exemplarische Untersuchungen auf Basis der Testnetze umfassten die Ausbreitung von Oberwellen und die Auswirkungen von Zu- oder Abschaltung größerer Lasten. Als Alternative zu klassischen EMT-Simulationen wurden im Zuge des Projektes auch Simulationen auf Basis des Dynamic Phasor-Ansatzes [1] untersucht. Um eine äquivalente Abbildung von Schalthandlungen zu ermöglichen, wurde ein Dynamic Phasor Zero-CurrentSwitch-Modell entwickelt [2].

### Ausblick auf die nächsten Schritte

Im Jahr 2024 wird das WAMS erstmals prototypisch für das Projektgebiet Netzdaten mit Spannungsqualitätsmessdaten weiträumig verbinden. Auf Basis dieses Meilensteins für den zentralen Drehpunkt des Projekts werden sich auch die simulativen Arbeiten von der Modellimplementierung bis hin zur konkreten Nachbildung realer Ereignisse und Phänomene. Somit können konkrete Lösungsoptionen im Falle von möglichen Spannungsqualitätseinschränkungen untersucht werden. Diese Erkenntnisse sollen dann im Zuge von Veröffentlichungen allen interessierten Stakeholdern zur Verfügung gestellt werden.

## Literatur

- [1] Mirz, M.; Monti, A.; Benigni, A.: A Dynamic Phasor Real-Time Simulation Based Digital Twin for Power Systems. E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University, 2020
- [2] Wirtz, C.; Weßelmann, M.; Murglat, M.; Vanselow, A.; Krahl, S.; Moser, A.: A Switch Model for Emulation of Zero Current Switching in Dynamic Phasor. 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 1-5

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Christoph Wirtz  
M.Sc. Max Murglat  
M.Sc. Alexander Vanselow  
Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

## ENSURE II – Neue EnergieNetzStruktURen für die Energiewende

BMBF-Forschungsprojekt

Laufzeit: 01.02.2020 – 31.07.2023

Das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt ENSURE ist Bestandteil der Förderinitiative „Copernikus-Projekte für die Energiewende“, in der von Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft gemeinsam technologische und wirtschaftliche Lösungen für den Umbau des Energiesystems entwickelt werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Projekt-Phase im Bereich der Grundlagenforschung, fokussiert sich die zweite Phase nun auf die Umsetzung der Ergebnisse im Pilotmaßstab sowie die Vorbereitungen zum Aufbau des Energiekosmos in ENSURE Phase 3.

Die FGH trägt in Zusammenarbeit mit weiteren namhaften Verbundpartnern dazu bei, dass ENSURE einen substanziellen Beitrag zu einer Optimierung und Transformation des zukünftigen Energiesystems leistet.

### Ziele von ENSURE

Zentrales Ziel des ENSURE-Projektes [1] ist eine ganzheitliche Untersuchung der Systemstrukturen durch Weiterentwicklungen sowohl von Netztopologien als auch von Betriebsführungskonzepten und den im Netz eingesetzten Komponenten. Die energetische Kopplung über die Sektorengrenzen hinaus wird entsprechend berücksichtigt und stellt eine wichtige Säule dieser ganzheitlichen Betrachtung dar. Mit Voranschreiten der Digitalisierung wird die Nutzung von zusätzlichen Informationen zum Netzzustand, zur Einspeise- und Verbrauchssituation sowie zum Zustand von Komponenten ermöglicht, wodurch neuartige Ansätze in der Betriebsführung von Anlagen und Netzen realisiert werden können.

Einen wichtigen Baustein im Projekt stellt eine geografisch abgegrenzte Demonstration der Ergebnisse dar. In einem realen Systemumfeld soll die Machbarkeit eines digitalisierten, nachhaltigen und gekoppelten Energiesystems nachgewiesen werden. Der sogenannte „Energiekosmos ENSURE“ soll im Resultat über-regional übertragbar sein, so dass die Erkenntnisse in anderen Regionen und Netzgebieten adaptiert werden können.

Nach dem Erreichen wichtiger Ziele im Bereich der Grundlagenforschung in ENSURE Phase 1 werden die Ziele in Phase 2 auf die Umsetzung der Ergebnisse im Pilotmaßstab ausgerichtet. Hierbei lassen sich die Ziele in drei Themenkomplexe zusammenfassen:

- a) Wissenschaftliche Analyse der zukünftigen Energiesystem- und Energienetzstrukturen zur Erarbeitung eines langfristigen systemischen Gesamtkonzepts auch über das Jahr 2030 hinaus
- b) Umsetzung aller notwendigen Vorbereitungen zum Aufbau des Energiekosmos in der anstehenden Phase 3 des Projektes ENSURE
- c) Pilotierung ausgewählter Technologien in der Demonstrationsregion als Ausgangspunkt für den Energiekosmos ENSURE

Die FGH ist im ENSURE-Projekt Phase 2 für die Leitung des Teilprojekts 7 „Testumgebungen und Asset-Tests“ verantwortlich. Darüber hinaus leitet die FGH die im Teilprojekt 7 angesiedelten Arbeitspakete 1 „Definition von Prüfvorschriften“ und 3 „Technologieprüfungen“ und ist in die Arbeitspakete 2 „Konzeption von Testumgebungen“ und 4 „Normen- und Gremienarbeit“ eingebunden.

Das Teilprojekt 7 findet sich hier im dritten Ziel von ENSURE 2, der Pilotierung, wieder. Aufgabe ist die Umsetzung der Prüfungen der Pilotierung mit dem Ziel, die Sicherheit für Mensch und Technik sowie die grundsätzliche Anwendbarkeit unter realen Bedingungen zu gewährleisten.

Anhand der in Phase 1 entwickelten allgemeinen Prüfvorschriften und deren Weiterentwicklung hin zu spezialisierten Prüfungen für die fünf Piloten beschreibt TP 7 die Prüfvorschriften und die Testumgebungen

in zwei Meilensteindokumenten. Insbesondere werden die Technologien nicht rein als Endprodukt gesehen, sondern als Zusammenstellung mehrerer Komponenten, die in einzelnen Prüfungen unterteilt getestet werden sowie das systematische Zusammenspiel der Komponenten in einer Prüfung als ein Teil der Lösung der Energiewende.

Die fünf ausgewählten Technologien für Phase 2 sind:

- MVDC-Kurzkupplung
- Vermaschungskonzepte
- PMU (Phasor Measurement Unit) und Adaptivschutz
- Digitales Umspannwerk
- Solid State Transformator (SST)

In AP 7.1 wurden von der FGH zusammen mit den Projektpartnern die allgemeinen Prüfvorschriftendefinitionen formuliert und auf die fünf ausgewählten Pilottechnologien angewendet. Um ggf. die Übertragung auf weitere Technologien zu ermöglichen, wurden die Vorschriften und Definitionen einerseits möglichst generisch formuliert, aber andererseits auch für die einzelnen konkret betrachteten Piloten spezifisch ausgearbeitet.

AP 7.2 beinhaltete die Beschreibung und Vorbereitungen von Prüfkonzepen und Testumgebungen für die Piloten.

Hierbei wurden insbesondere die Testumgebungen für den Adaptivschutz zusammen mit dem Hersteller der PMU-Einheiten und dem Prüflabor der FGH-Zertifizierungsgesellschaft mbH erarbeitet. Die Entwicklung der Technologieumgebungen für die Prüfung des SST beinhaltete die Konzeptionierung eines Schutzsystems für das geplante  $\pm 750$  VDC Verteilnetz (siehe Abbildung 1) inklusive Prüfumgebung und Testgrenzen sowie der Tests von AC-Komponenten unter DC-Belastungen.

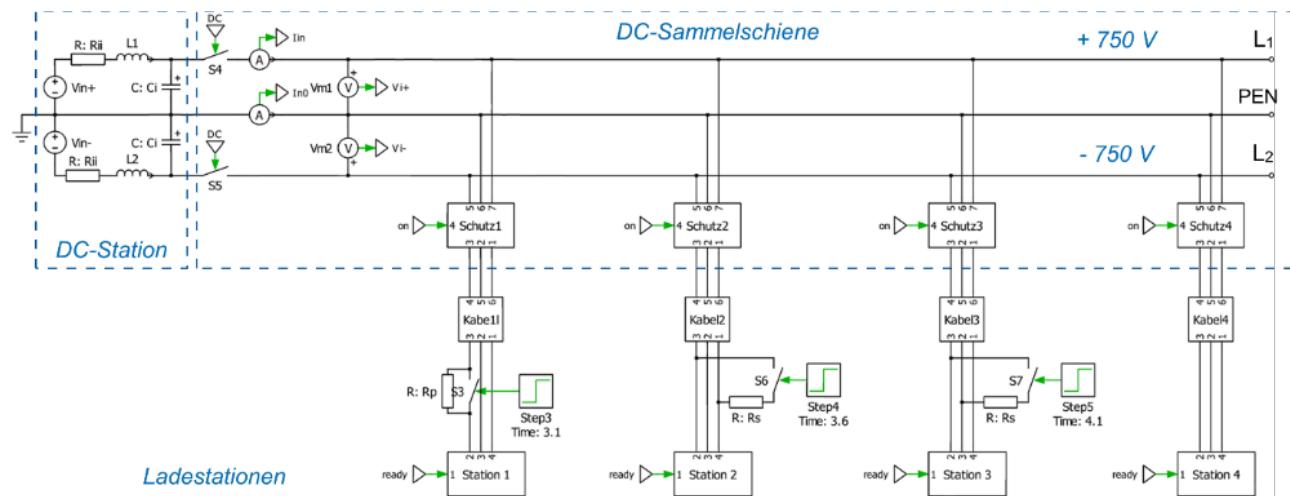


Abbildung 1 Schematische Darstellung des DC-Verteilnetzes

Die Prüfungen an den Komponenten und Technologien fanden in AP 7.3 statt. Die ersten Prüfungen wurden im FGH-Prüflabor an den PMU-Einheiten zum Adaptivschutz durchgeführt. Die PMUs konnten ohne Beanstandung die Prüfungen absolvieren und wurden während der Projektlaufzeit in das Mittelspannungsnetz der Schleswig-Holstein Netz eingebaut. Eine beispielhafte Messung zweier PMUs bei Frequenzänderung ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Zeigerdiagramm visualisiert wird die Frequenzänderung, mit der PMU 76 (unteres Zeigerdiagramm) beaufschlagt wird, während das Zeigerdiagramm zu PMU 73 (oberes Zeiger

diagramm) das Verhalten bei gleichbleibender Frequenz von 50 Hz darstellt. Die Daten, die die PMUs aus dem Mittelspannungsnetz zur Verfügung gestellt hatten, wurden einerseits vom Netzbetreiber verwendet und zum anderen sind die Daten live in ein digitales Abbild der Demonstrationsregion eingeflossen. Im Bereich des SSTs wurden die Prüfungen zur Nutzbarkeit von AC-Komponenten zur Verwendung unter DC-Bedingungen überprüft. Dies beinhaltete die beiden Komponenten Sicherungen und Kabel. Diese Prüfungen haben ergeben, dass AC-Sicherungen nicht zur sicheren Trennung von DC-Strecken verwendet werden können. Die Kabel haben in den Tests gezeigt, dass sie die Dauerstromtragfähigkeit der geforderten Anwendung ohne Beanstandung übertragen können. Aus den Diskussionen zu den Kabeln hat sich allerdings herausgestellt, dass dies immer nur für kurze Zeiträume betrachtet wurde. Um ein genaueres Bild zu erhalten, was bei einer längeren Belastung von AC-Kabeln unter DC-Spannung geschieht, hat die FGH eine Recherche zum Thema Alterung von AC-Kabeln bei Verwendung in DC-Netzen durchgeführt.

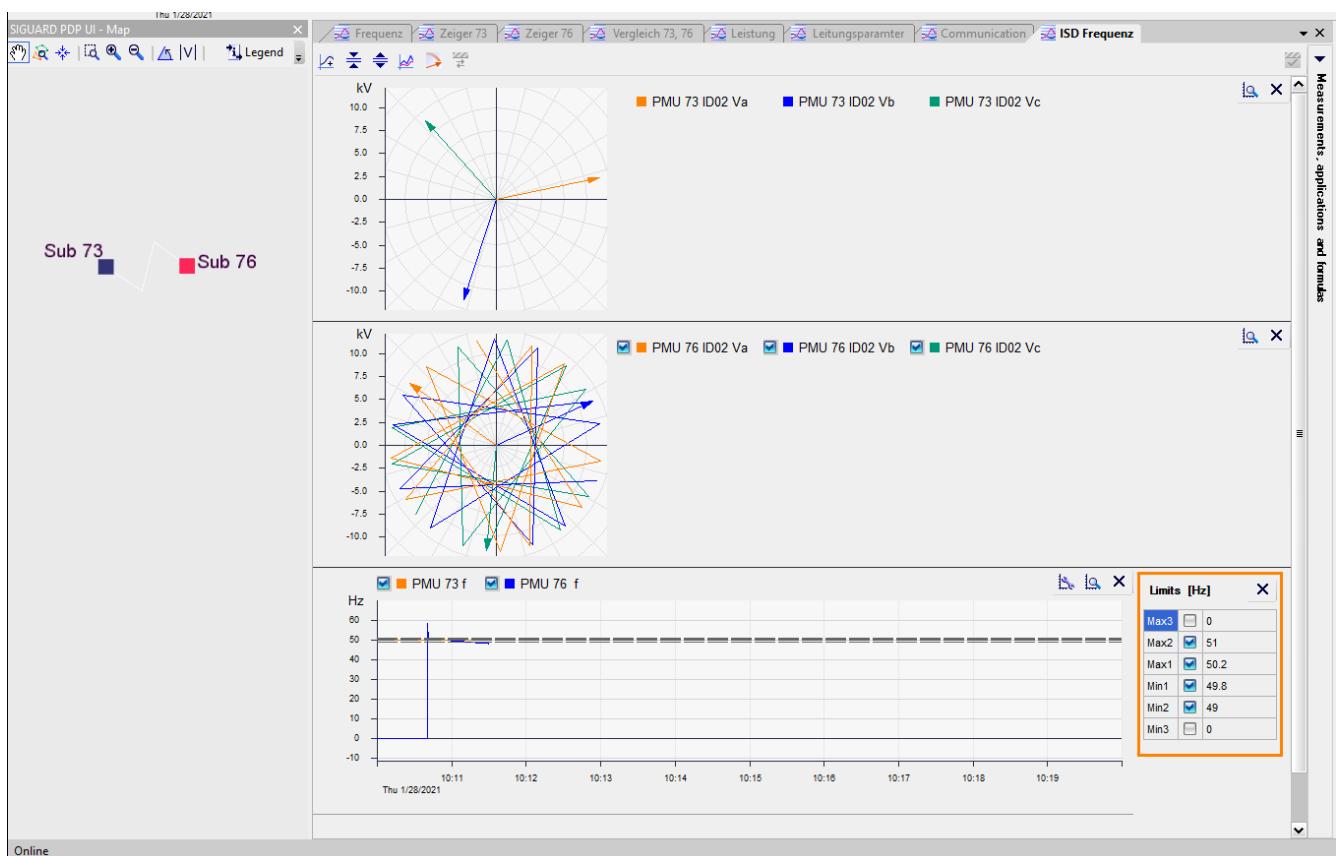


Abbildung 2 Beispiel der SIGUARD PDP UI Oberfläche bei der Messung Frequenzänderung

Die Prüfungsergebnisse aus dem AP 7.3 stellen einen wesentlichen Schritt hin zum Einsatz der untersuchten Technologien/Piloten in realen Netzen bzw. in Demonstratoren z.B. in der anstehenden Phase 3 des Projektes dar. Ausführliche Informationen zu den Kopernikus-Projekten, insbesondere zu ENSURE sind unter [1] verfügbar. Die Ergebnisse des Teilprojektes 7 und der zugehörigen Arbeitspakete werden in den Meilenstein-dokumenten [2, 3, 4] sowie im ENSURE-Abschlussbericht, Teilprojekt 7 [5] detailliert dargestellt.

## Literatur

- [1] ENSURE: [www.kopernikus-projekte.de/projekte/neue-netzstrukturen](http://www.kopernikus-projekte.de/projekte/neue-netzstrukturen)
- [2] Zanner, M.; Brammer, G.; Eggert, S.; Langwasser, M.; Lisere, M.; Lukaschik, A.; Rupp, S.; Stagge, H.: MS7.1.1 - Neue Prüfvorschriften final beschrieben. 2020

- [3] Langwasser, M.; Brüske, S.; Eggert, S.; Hieringer, J.; Liserre, M.; Rupp, S.; Schaumburg, J.; Ulbig, A.; Weitz, P.; Willenberg, D.; Winkens, A.; Zanner, M.: MS7.2.1 - Prüfkonzepte und Konzepte für Testumgebungen erstellt und an Arbeitspaket 7.3 übergeben. 2021
- [4] Zanner, M.; Langwasser, M.; Brüske, S.; Eggert, S.; Hieringer, J.; Liserre, M.; Rupp, S.; Schaumburg, J.; Ulbig, A.; Weitz, P.; Willenberg, D.; Winkens, A.: MS7.3.1 - Prüfungen für Technologien, Komponenten. 2023
- [5] Zanner, M.; Langwasser, M.; Rupp, S.; Brüske, S.; Eggert, S.; Brammer, G.: Kopernikus Projekt ENSURE Phase 2 – TP7 Abschlussbericht. 2024

Ansprechpartner FGH ■ Dr.-Ing. Gregor Brammer  
Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen  
Dipl.-Ing. (BA) Martin Zanner

## Betriebsplanung für aktive Verteilnetze

Auszug aus Dissertation, ISBN: 978-3-982559-1-4

Prüfung: 27.01.2023

### Zusammenfassung

Die zunehmende Integration erneuerbarer Energien und neuer Lasten wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge führt zu einer höheren Auslastung und drohenden Engpässen in bestehenden Verteilnetzen. Geeignete Gegenmaßnahmen umfassen neben dem konventionellen Netzausbau auch steuernde Eingriffe sowohl in die Netze als auch in die Last- und Einspeisesituation der Netznutzer. Aktive Verteilnetze, die zum Zwecke netzbetrieblicher Gegenmaßnahmen im Betrieb überwacht und gesteuert werden können, erfordern aufgrund von Vorlaufzeiten der Prozesse und Maßnahmen eine vorausschauende Betriebsplanung unter Berücksichtigung unsicherer zukünftiger Netznutzung. Die vorgestellte Arbeit zielt darauf ab, geeignete Betriebsplanungsprozesse für solche aktiven Verteilnetze zu entwickeln.

Das entwickelte methodische Vorgehen berücksichtigt Unsicherheiten der Netznutzung mithilfe von Kerndichteschätzungen auf Basis historischer Prognosefehler. Diese werden dann im Rahmen eines innovativen analytischen Verfahrens auf Basis der komplexen Leistungsflussgleichungen zur Bestimmung probabilistischer Ströme und Spannungen verwendet. Unter Berücksichtigung eines durch den Anwender wählbaren Risikopräferenzmaßes (Sicherheitsniveau) werden kritische Ströme und Spannungen abgeleitet. Die Ergebnisse dieser Schätzungen sind dann Eingangsgröße einer Leistungsflussoptimierung, die bei drohender Verletzung von Strom- und Spannungsgrenzen optimierte Gegenmaßnahmen ermittelt.

Untersuchungen an ausgewählten Netzen zeigen den Mehrwert des entwickelten Vorgehens. Es zeigt sich, dass der entwickelte Optimierungsansatz stets geeignete Maßnahmen auswählt, wobei die Vorlaufzeit der Planung und das gewählte Sicherheitsniveau einen signifikanten Einfluss auf den Bedarf an Gegenmaßnahmen aufweisen. Der simulierte Gesamtprozess verdeutlicht einen Zielkonflikt zwischen frühzeitigem Maßnahmenabruf, Gesamtmaßnahmenbedarf und dem Bedarf für kurzfristige Notfallmaßnahmen, der durch die Prozessausgestaltung beeinflusst werden kann.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Pascal Pfeifer

Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser, RWTH Aachen University  
Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hendrik Vennegeerts, Universität Duisburg-Essen

## Akademie

### Fachtagung



#### **Nutzung von netzdienlichen Flexibilitäten im Verteilnetz – Umsetzungsbeispiele aus der Praxis und Implikationen für die Netzplanung**

21. – 22.06.2023 in Wiesloch

##### Tagungsleitung

Dr.-Ing. Andreas Olbrich  
FGH e.V., Aachen

##### Inhalt

Ein netzdienlicher Einsatz von Flexibilitäten im Verteilnetz ist ein wichtiger Baustein bei der Energiewende. So können z.B. Wärmepumpen, E-Fahrzeuge, Power-to-Gas-Anlagen und (Wasserstoff)-Speicher die Abregelung von Erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen verringern und Netzengpässe vermeiden bzw. reduzieren. Auch wenn einem marktdienlichen Einsatz aktuell noch mehrere regulatorische Hürden entgegenstehen, gibt es bereits vielfältige Umsetzungen in der Praxis zur Nutzung netzdienlicher Flexibilität.

In der Fachtagung werden einige dieser praktischen Umsetzungen mit den Erfahrungen, die damit gesammelt wurden, vorgestellt und vor dem Hintergrund des Spannungsfeldes von netzdienlicher und marktdienlicher Flexibilität diskutiert. Weiterhin werden die Auswirkungen der Nutzung von netzdienlicher Flexibilität auf die Netzplanung

aufgezeigt und dargestellt, wie diese bisherige Netzplanungsgrundsätze und Zielnetzplanungen beeinflussen.

##### Zielsetzung

Anhand von Umsetzungsbeispielen aus der Praxis bekommen Teilnehmer einen Überblick zur Nutzung netzdienlicher Flexibilitäten im Verteilnetz und erfahren, welche Implikationen diese Nutzung für die Netzplanung hat.

##### Resümee

Unsere erste Fachtagung, die wir als Hybrid-Veranstaltung durchgeführt haben, stieß auf eine tolle Resonanz: 70 Personen nahmen in Wiesloch teil und 40 Teilnehmer waren online zugeschaltet. Lebhaft diskutiert wurde nicht nur bei der von Prof. Dr. Christoph Weber und Dr. Andreas Olbrich moderierten Podiumsdiskussion „Im Spannungsfeld zwischen markt- und netzdienlicher Flexibilität“, sondern auch in den Pausen. Einen regen Austausch und Gelegenheit zum Networking gab es zudem bei der Abendveranstaltung, die uns zu einer Weinverkostung bei der Winzerrast „Winzer von Baden“ führte, bevor der Abend bei einem Barbecue mit dem Livemusic-Act *Olli Roth* bei herrlichem Sommerwetter ausklang (Impressionen der Tagung finden Sie auf den nächsten Seiten).

### ***Während der Tagung***



*Zum Ausklang des Abends*



*Winzerrast mit  
Weinverkostung*



*Barbecue  
mit Livemusic-Act  
Olli Roth*



## Seminare und Inhouse-Schulungen



### FNN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik – Erfassung und Auswertung 14. - 15.02.2023 in Mannheim

#### Seminarleitung

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hendrik Vennegeerts  
Universität Duisburg-Essen*

#### Inhalt

Vermittlung der aktuellen Erfassungsschemata und der Hintergründe der Gestaltung der Statistik. Dazu werden jeweils Erfassungsziele hinsichtlich Auswertemöglichkeiten und regulatorische Vorgaben zur Erfassung von Versorgungsunterbrechungen anhand von Übersichtsvorträgen und praktischen Übungen, bei denen das Programm InterAss eingesetzt wird, erläutert.

#### Zielsetzung

Die Teilnehmer lernen die Struktur der Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik sowie deren Erfassungsumfang und Auswertungsmöglichkeiten kennen. Anhand von praxisnahen Übungen werden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auf die Erfassung und Analyse von Störungen und Versorgungsunterbrechungen im Netzbetrieb vorbereitet.

#### Resümee

Dieses zu den Klassikern im Weiterbildungspogramm der FGH gehörende Seminar, das in Zusammenarbeit mit dem FNN angeboten wird, konnte auch 2024 mit sehr guter Resonanz durchgeführt werden. Klasse fanden die Teilnehmer die praktischen Übungen am Laptop, mit denen das zuvor in den Vorträgen vermittelte Wissen vertieft und gefestigt werden konnte.



### Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen Verteilungsnetzen

28.02 - 09.03.2023 (online) und  
27. - 28.09.2023 in Köln

#### Seminarleitung

*Dipl.-Phys. Bernhard Schowe-von der Brelie,  
FGH GmbH, Aachen*

#### Inhalt

Die Technischen Anschlussrichtlinien (TAR) VDE-AR-N 4105/-10/-20/-30 bilden nun bereits seit 2019 die Grundlage für Auslegung und Anschluss von Erzeugungsanlagen in Deutschland. Entsprechende Einheiten- und Anlagenzertifikate sowie Inbetriebnahmen werden seither nach diesen Anforderungen erstellt und durchgeführt. Zusammen mit den Anpassungen der gesetzlichen Grundlagen (NELEV, EnWG) und unter Berücksichtigung der Vorgaben aus den europäischen Netzkodizes wurde damit eine neue Phase der Netzanschlussregeln für dezentrale Einspeiser und der Compliance-Regelungen eingeläutet, die, auf den guten Erfahrungen der vergangenen Jahre aufbauend, diese zugleich deutlich ausweiten.

Diese Anpassungen betreffen sowohl technische Anforderungen als auch die Vorgaben an die Nachweis- und Inbetriebsetzungsprozesse und stellen damit Netzbetreiber, Anlagenbetreiber, Projektplaner und Hersteller vor neue Herausforderungen.

Diese Personengruppe wird in dem Seminar auf die zentralen Besonderheiten der aktuellen Netzanschlussrichtlinien geschult. Die Herausforderungen, welche sich während eines Nachweisverfahrens ergeben, und weitere aktuelle Entwicklungen

in der Nachweissystematik werden in dem Kurs anschaulich von unseren fachkundigen Referenten aufbereitet. Praxisnahe Umsetzungsverfahren und Lösungsansätze werden in zahlreichen Erfahrungsberichten dargestellt. Darüber hinaus haben Teilnehmer:innen ausreichend Zeit für Fragen und zur Diskussion..

### Zielsetzung

Teilnehmende lernen konkret und praxisnah die Besonderheiten der aktuellen Netzanschlussrichtlinien (VDE TAR) kennen.

### Resümee

Das Interesse an dem Seminarthema ist ungebrochen hoch: 30 bzw. 28 Netz- und Anlagenbetreiber sowie Projektierer und Hersteller nahmen am Online-Kurs bzw. am Präsenzseminar teil und schätzten das Fachwissen unserer Referenten sowie die hohe Qualität der Vorträge.

Die Frage- und Diskussionsrunden beim Online-Seminar wurden sehr gut angenommen und auch beim virtuellen Networking im Anschluss an die Seminartage gab es viele intensive Diskussionen. Bei dem Seminar lernten wir in der Stadtführung „Köln in Anekdoten“ die wichtigsten Sehenswürdigkeiten der Stadt auf humorvolle Weise kennen. Das gemeinsame Abendessen wurde intensiv zum Networken genutzt.



### Die Basics der IEC 61850

06. - 31.03.2023 (online)

17.04. - 05.05.2023 (online – Inhouse-Schulung)  
für E.ON-ReVu (Regionale Energieversorgungsunternehmen) – PT CST

### Seminarleitung

Dipl.-Ing. Christoph Brunner  
it4power, Zug (CH)

### Inhalt

In diesem Seminar geben die seit den Anfängen der Norm in der Standardisierung der IEC 61850 Normenreihe aktiven IEC 61850 Experten Christoph Brunner und Klaus-Peter Brand eine Übersicht über die Norm, die Konzepte der IEC 61850 und die für das grundsätzliche Verständnis nötigen Normenteile. Dazu gehören das Datenmodell, Kommunikationsdienste, Ethernet-Struktur und Zeitsynchronisation, IED und Systemarchitektur sowie das Engineering. Das vermittelte theoretische Wissen wird anhand von Beispielen aus der Praxis gefestigt.

### Zielsetzung

Die Vermittlung grundlegender Kenntnisse zur Normenreihe IEC 61850.

### Resümee

Gegenüber dem Vorjahr haben wir den Kurs von 8 auf 9 Termine ausgedehnt, um tiefer auf das IEC 61850 Daten- und Kommunikationsmodell einzugehen und die Lerninhalte mittels weiterer praktischer Beispiele veranschaulichen zu können. Unsere Teilnehmer haben dies sehr geschätzt.



## Asset Management in Verteilungsnetzen

22. - 23.03.2023 in Köln

### Seminarleitung

Dipl.-Ing. Christoph Kahlen  
FGH e.V., Aachen

### Inhalt

Das Seminar beginnt mit einem Überblick über die theoretischen Grundlagen des Asset-Managements am Beispiel der ISO 55000. Im weiteren Verlauf stehen dann zunächst die Betriebsmittel im Fokus sowie die Frage, wie deren Zustand ermittelt und bewertet werden kann als auch wie hieraus eine erfolgreiche Asset-Strategie abgeleitet werden kann. Ein weiterer Themenschwerpunkt sind Zielnetzplanungen. Hierzu werden wiederum methodische Grundlagen vermittelt, die anhand von Praxisbeispielen veranschaulicht werden. Den Abschluss bildet die Asset Simulation zur Ableitung langfristiger und nachhaltiger Erneuerungsstrategien.

### Zielsetzung

Das Seminar vermittelt wesentliche Bestandteile des Asset-Managements von Verteilungsnetzen in Theorie und Praxis.

### Resümee

Das erste Asset-Management-Seminar der FGH in Präsenz seit vielen Jahren – und dann noch in Köln! Unsere Teilnehmer genossen sichtlich dieses Format als auch den fachlichen und persönlichen Austausch bei der Abendveranstaltung. Insbesondere das Thema Zielnetzplanung ist für viele ein hot topic.



## Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen in Theorie und Praxis

26. - 28.04.2023 (Aachen)  
23. - 27.10.2023 (online)

### Seminarleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hendrik Vennegeerts  
Universität Duisburg-Essen

### Inhalt

Es werden Grundkenntnisse über Berechnungsverfahren und die Modellierung von Energieversorgungssystemen für Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen vermittelt, soweit sie für die praktische Arbeit von Bedeutung sind. Aspekte wie Grenzen der Modellgenauigkeiten, Nachbildung von Regeleigenschaften, Gründe und Maßnahmen bei Konvergenzproblemen, die Abbildung von dezentralen Energieanlagen (DEA) etc. werden behandelt und anhand von praktischen Übungen am PC vertieft.

### Zielsetzung

Teilnehmende werden in die Lage versetzt, typische Netzberechnungsaufgaben aus Planung und Betrieb selbstständig zu lösen. Sie lernen, eine gegebene Aufgabe aufzubereiten, die Möglichkeiten moderner Netzberechnungsverfahren optimal zu nutzen und die erzielten Ergebnisse bezüglich ihrer Qualität zu beurteilen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Erkennung möglicher Fehlerquellen und Grenzen der Modellgenauigkeiten. Anhand von praxisnahen Fallbeispielen werden die erworbenen Kenntnisse am Rechner mit moderner Software in kleinen Gruppen vertieft.

## Resümee

Nach drei Jahren konnten wir dieses Seminar endlich wieder in Präsenz durchführen. Sehr gut gefallen haben den Teilnehmenden die Rechnerpraktika, die mit INTEGRAL auf den angemieteten Seminarlaptops durchgeführt wurden. Gefallen hat ebenfalls die Stadtführung „Karl der Große“ und die kulinarischen Leckerbissen in Karl's Wirtshaus.

Beim Online-Seminar griffen wir auf die bewährte Terminalserverlösung vom Vorjahr zurück, bei der die Teilnehmer selbst mit INTEGRAL rechnen konnten.



## Leistungselektronische Anwendung in elektrischen Netzen

02. - 05.05.2023 (online)

### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Martin Coumont*

*Schneider Electric GmbH, Seligenstadt*

### Inhalt

Die Bedeutung leistungselektronischer Komponenten in der elektrischen Energieversorgung hat stark zugenommen. Die Leistungselektronik ist nicht nur auf der Verbraucherseite zu finden, sondern wird für nahezu alle Netzanbindungen von Erzeugungseinheiten im Bereich Photovoltaik sowie Windenergie eingesetzt und auch für Betriebsmittel der Übertragung und Verteilung verstärkt diskutiert. In diesem Seminar wird eine kompakte Darstellung der theoretischen Grundlagen zu leistungselektronischen Bauelementen sowie der Systematik von Umrichter-Schaltungen und deren Regelung gegeben. Darauf aufbauend werden Anwendungen leistungselektronischer

Betriebsmittel vertiefend behandelt. Dazu gehören stromrichtergespeiste Antriebe, Windenergie- und PV-Anlagen aber auch HGÜ-Systeme. Darüber hinaus werden Fragen zur Modellierung leistungselektronischer Komponenten für Netzberechnungen einerseits und für dynamische Simulationen andererseits behandelt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf praxisgerechte Vorgehensweisen und Zusammenhänge mit den Netzanschlussregeln gelegt.

### Zielsetzung

Die Teilnehmer werden durch die Vermittlung der theoretischen Grundlagen zu den Bauelementen und der Systematik der leistungselektronischen Schaltungen in die Lage versetzt, reale Schaltungen zu verstehen und anhand ihres Verhaltens einordnen zu können. Durch die Darstellung praktischer Anwendungen wird die Nutzung der Kenntnisse in verschiedenen beruflichen Arbeitsfeldern ermöglicht.

### Resümee

Der kleine Teilnehmerkreis war begeistert von dem umfassenden Überblick zum Thema, der kompetenten Vermittlung der Grundlagen sowie den informativen und sehr gut strukturierten Vorträgen. Es gab Bestnoten für unsere Referenten.



## **Grundlagen der Netzschatztechnik**

10. - 11.05.2023 in Mannheim

05. - 07.12.2023 (online)

### **Seminarleitung**

*Prof. Dr.-Ing. Michael Igel*

*Hochschule für Technik und Wirtschaft,  
Saarbrücken*

### **Inhalt**

Vermittelt werden die wesentlichen Grundlagen der Netzschatztechnik, z.B. der Kurzschlussstromberechnung, Schutzprinzipien und Fehlerdetektionsmechanismen. Diese werden durch Anwendungsbeispiele und praktische Hinweise ergänzt. Behandelt werden auch die am häufigsten eingesetzten Schutztechniken in elektrischen Netzen inklusive einem Überblick über Parametrierungsmöglichkeiten und -erfordernisse.

### **Zielsetzung**

Das Seminar vermittelt allen, die mit Schutztechnik im Rahmen ihrer Tätigkeiten in Berührung kommen, die erforderlichen Grundkenntnisse. Es ist auch als Einstieg in die Netzschatztechnik geeignet.

### **Resümee**

Das Seminar, ein Klassiker in unserem Weiterbildungsprogramm, erfreute sich in diesem Jahr wieder guten Zuspruchs. Nicht nur die Erwartungen der Teilnehmer:innen konnten sehr gut erfüllt werden. Super kam auch das mittelalterliche Festmahl im Würzburger Hof an, das von einem Spielmann begleitet wurde.



## **Grundlagen der elektrischen**

## **Energieversorgung**

28.06. - 05.07.2023 (online)

### **Seminarleitung**

*Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Wolfram Wellßow*

*Scientific Power Consulting, Ketsch*

### **Inhalt**

Das Online-Seminar bietet einen Überblick über das elektrische Energieversorgungssystem von der Erzeugung bis hin zum Endverbraucher. Nach einer kurzen Einführung in die elektrotechnischen Grundlagen werden die klassischen und die erneuerbaren Erzeugungsanlagen diskutiert. Weiter wird auf die zukünftige Entwicklung der Erzeugungsstrukturen entsprechend den politischen Vorgaben eingegangen. Breiten Raum nehmen die Planungsgrundsätze, die daraus resultierenden Netzstrukturen und die Eigenschaften der Netzbetriebsmittel quer über alle Spannungsebenen ein. Weiter wird auf die aktuellen Entwicklungen im Bereich Leittechnik und der sog. „Smart Grids“ eingegangen. Den Abschluss bilden Überlegungen zum Einsatz von Speichern, zum Netzausbaubedarf und zu neuen Systemstrukturen.

### **Zielsetzung**

Vertiefung der Grundlagen der elektrischen Energieversorgung.

### **Resümee**

Das Seminar punktete mit dem Vortragsstil des Referenten und den sehr detaillierten Seminarunterlagen. Die kleine Gruppengröße wurde von den Kursteilnehmer:innen als sehr angenehm empfunden und bot die Möglichkeit zum intensiven Austausch.



## **Grundlagen der Elektrotechnik**

17. - 21.07.2023 (online)

15. - 31.03.2023 (online – Inhouse-Schulung)  
für DMT Engineering Surveying GmbH & Co. KG

### **Seminarleitung**

Peter Mang

Püttlingen

### **Inhalt**

In dem Online-Seminar werden zunächst die elektrischen Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand als auch deren Zusammenwirken im Ohmschen Gesetz behandelt. Dabei wird auch der Aufbau des Elektrizitätsversorgungssystems und der Grund für die verschiedenen Spannungsebenen erläutert. Danach wird darauf eingegangen, wie die elektrische Leistung und die elektrische Arbeit durch Stromstärke, Spannung und Zeit bestimmt werden und wie der Wirkungsgrad einer Anlage definiert ist. Außerdem werden die unterschiedlichen Wirkungen des elektrischen Stroms sowie die Ursache für die Bedeutung der Elektrizität in unserer hochtechnisierten Welt aufgezeigt. Im Anschluss werden einfache Stromkreise und der Grund für das Absinken der Spannung in einem Niederspannungsnetz erklärt sowie das Verhalten von Kondensatoren und Spulen im Gleichstromkreis, welche die Grundlage zum Verständnis von Wirk-, Blind- und Scheinleistung im Wechselstromkreis bilden. Nachfolgend wird die Erzeugung einer Wechselspannung und das Verhalten von Widerstand, Spule und Kondensator im Wechselstromkreis behandelt. Abgerundet wird das Seminar durch die Erläuterung des Dreiphasen-Wechselstromsystems, welches die Verbraucher vom Kraftwerk bis zum Hausanschluss mit elektrischer Energie versorgt.

### **Zielsetzung**

Ziel ist es, den Teilnehmenden einen umfassenden anschaulichen Einblick in die grundlegenden elektrotechnischen Zusammenhänge und deren Auswirkungen auf die Versorgungsnetze zu geben.

### **Resümee**

In diesem neu konzipierten Kurs, der sich insbesondere an Quereinsteiger im Bereich der elektrischen Energietechnik richtet, fanden unsere Teilnehmenden den Vortragsstil des Referenten und die ansprechende Visualisierung der Seminarinhalte prima.



## **Stabilitätsphänomene in elektrischen Energieversorgungssystemen**

23. - 30.08.2023 (online)

### **Seminarleitung**

Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Wolfram Wellßow

Scientific Power Consulting, Ketsch

### **Inhalt**

Die Energiewende bringt einen fundamentalen Wandel des Energieversorgungssystems mit sich, der sich auch auf die Systemstabilität auswirkt. Dieses neu in das Programm der FGH-Akademie aufgenommene Seminar bietet eine Einführung in die Phänomene der Systemstabilität einschließlich der physikalischen Grundlagen und ihrer mathematischen Beschreibung. Behandelt werden die Spannungsstabilität, die Frequenzstabilität, die transiente oder Winkelstabilität sowie die statische Stabilität. Weiterhin wird ein Überblick über die Funktionsweise der Frequenzregelung entsprechend dem ENTSO-E Network Code gegeben.

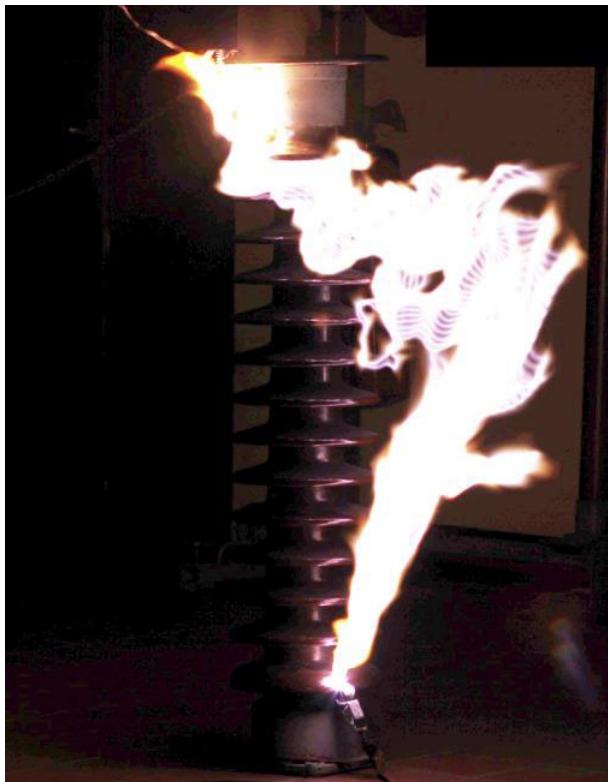
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität werden aufgezeigt (z.B. der Einsatz von Leistungselektronik im Netz), aber nicht vertiefend behandelt.

#### **Zielsetzung**

Vermittlung der physikalischen Grundlagen der Stabilitätsphänomene in elektrischen Energieversorgungssystemen.

#### **Resümee**

Der erstmals in diesem Jahr angebotene Kurs stieß auf großes Interesse, insbesondere bei Übertragungsnetzbetreibern. Die Teilnehmer lobten das herausragende Fachwissen und die exzellente Rhetorik des Referenten.



**Isolationskoordination - Überspannungen,  
Überspannungsschutz und  
Isolationsbemessung in Drehstromnetzen**  
09. - 13.10.2023 (online)

#### **Seminarleitung**

Dipl.-Ing. Christoph Kahlen  
FGH e.V., Aachen

#### **Inhalt**

Zu Beginn des Seminars werden wesentliche Grundlagen behandelt, wie die Ursachen von

Überspannungen und die Ausbreitung von Wanderwellen. Danach folgen Beiträge zu Technologie, Bemessung und Einsatz von Ableitern zur Begrenzung von Überspannungen – ergänzt um Übungen zur Bestimmung von Erdschlussüberspannungen und der Auslegung von Ableitern. Ein weiterer Schwerpunkt des Seminars liegt dann auf der ausführlichen Darstellung des gesamten Prozesses der Isolationskoordination gemäß DIN EN 60071-1 und 2. Dieser wird anhand von praxisorientierten Beispielen von der Analyse auftretender Überspannungen über deren Abbildung in genormten Prüfungen bis hin zur Auswahl von Betriebsmitteln mit den korrekten Bemessungs-Isolationspegeln vermittelt und um einen Vortrag zur computergestützten Isolationskoordination ergänzt. Danach werden die Schaltvorgänge und Schaltüberspannungen thematisiert und die Isolationskoordination von Freiluft- und Gasisolierten Schaltanlagen sowie Überspannungsschutz von Kabelanlagen behandelt. Abschließend wird auf die Besonderheiten der Isolationskoordination bei DC eingegangen.

Neu aufgenommen im Programm dieses Kurses wurde ein Vortrag zur Beeinflussung von benachbarter Infrastruktur durch Hochspannungsanlagen.

#### **Zielsetzung**

Das Seminar vermittelt Fachleuten Informationen über Spannungsvorgänge und die Möglichkeiten zur Begrenzung von Überspannungen und deren Auswirkungen.

#### **Resümee**

Als sehr gut strukturiert, super erklärt und anhand von Beispielen äußerst anschaulich präsentiert bewerteten unsere Teilnehmer diesen Kurs, bei dem mehrheitlich ÜNB vertreten waren.



## Power Quality

16. - 20.10.2023 (online)

### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Bernd Walther*

*Maschinenfabrik Reinhäusen GmbH, Erfurt*

### Inhalt

Power Quality ist ein elementarer Aspekt in der gegenwärtigen und zukünftigen Energieversorgung. Dabei wird zwischen der Spannungs- und Stromqualität unterschieden.

Die Qualität der Spannung wirkt auf alle Abnehmer und Erzeuger in einem Netz. Um eine hohe Qualität zu sichern, werden in Normen Grenzwerte einzelner Parameter wie Spannungshöhe, Oberschwingungen, Unsymmetrie oder Flicker definiert. Bei Überschreitung der normativen Grenzwerte kann es zu Störungen an den verschiedensten Betriebsmitteln kommen. Um eine normgerechte Spannungsqualität zu erreichen, sind die Ströme der einzelnen Abnehmer und Erzeuger in Relation zu ihrer Anschlussleistung zu begrenzen. Nur so ist es möglich, in einer Welt mit einer hohen Durchdringung mit Leistungselektronik zur Stromerzeugung, -übertragung und -umwandlung in industriellen wie auch öffentlichen Netzen die Power Quality einzuhalten und einen sicheren und vor allem störungsfreien Betrieb des Netzes und aller Abnehmer und Erzeuger zu gewährleisten.

Somit sind Netzbetreiber, Planer von Industrieanlagen und regenerativen Erzeugungsanlagen, Entwickler neuester Infrastruktur für E-Mobilität und Wasserstoff u.a. gefordert, jeden einzelnen Parameter der Power Quality zu kennen und in den Netzen sowie bei den anspruchsvollen zukünftigen Projekten einzuhalten.

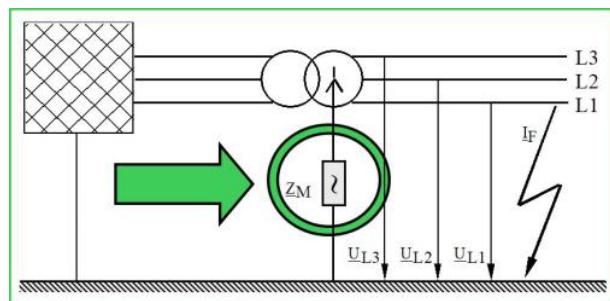
Das Online-Seminar stellt in Theorie und Praxis die Normen und Richtlinien sowie die wichtigsten Parameter der Spannungs- und Stromqualität vor und gibt zum anderen die Möglichkeit zum Wissensaustausch untereinander.

### Zielsetzung

Überblick über die Normen und Richtlinien sowie die wichtigsten Parameter der Spannungs- und Stromqualität in Mittel- und Niederspannungsnetzen und Diskussion aktueller Fragestellungen zur Spannungsqualität und Regulierung. Weiterhin werden Lösungsmöglichkeiten bei einer nicht normgerechten Spannungsqualität aufgezeigt, um Störungen des Netzbetriebes zu vermeiden.

### Resümee

Das Seminar haben wir neu in das Weiterbildungsangebot der FGH-Akademie aufgenommen und werden es aufgrund der guten Resonanz auch im kommenden Jahr erneut anbieten. Insbesondere der hohe Praxisbezug bei den Vorträgen und die Kursunterlagen kamen bei den teilnehmenden Personen gut an.



## Sternpunktbehandlung

08. - 09.11.2022 in Speyer

### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Thomas Weber*

*Schneider Electric GmbH, Seligenstadt*

### Inhalt

Das Thema Sternpunktbehandlung wird in Theorie und Praxis behandelt. Theoretische Grundlagen der symmetrischen Komponenten werden erläutert und dienen als Basis zum Verständnis der betrachteten Vorgänge. Ebenso werden die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Sternpunkt

behandlungen erläutert und durch Anwendungsbeispiele aus dem Netzbetrieb anschaulich erklärt. Das Thema wird abgerundet durch die Analyse von Anforderungen aus Sicht der Dimensionierung der Anlagen und Betriebsmittel sowie der Wahl geeigneter Schutztechnik.

#### Zielsetzung

Ziel des Seminars ist es, die Teilnehmenden umfassend mit dem Thema Sternpunktbehandlung vertraut zu machen. Theoretische Grundlagen dienen hierbei zur Auffrischung und Ergänzung der vorhandenen Kenntnisse und als Basis für die nachfolgenden vergleichenden Diskussionen. Die Teilnehmenden werden in die Lage versetzt, die eigene Vorgehensweise kritisch zu überprüfen, Problemstellungen im eigenen Netz zu analysieren und darauf aufbauend im Netz erforderliche oder sinnvolle Maßnahmen zu bewerten.

#### Resümee

Endlich konnten wir dieses Seminar wieder in Präsenz durchführen! Die Referenten und Teilnehmer genossen sichtlich den fachlichen und persönlichen Austausch in der Domstadt. Die Stadtführung „Führung in historischem Gewand“, bei der die Teilnehmer als Akteure in der Speyerer Geschichte des Mittelalters eingebunden wurden, hat allen sehr gut gefallen.



### Managementwissen für Ingenieure

20.11. - 01.12.2023 (online)

#### Seminarleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Wellßow  
Scientific Power Consulting, Ketsch

#### Inhalt

Das Online-Seminar behandelt in 10 Terminen folgende Themenkomplexe: Leadership, Projektmanagement, Unternehmensorganisation, Market Intelligence, Innovation, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling und Kostenrechnung sowie Change Management.

#### Zielsetzung

Vermittlung eines fundierten Management-Basiswissens zur Bewältigung von Managementaufgaben.

#### Resümee

Wie schon bei der Premiere dieses Seminars im Jahr 2020 und der Wiederholung im Vorjahr begeisterten die durch zahlreiche Anwendungsbeispiele veranschaulichten Inhalte sowie der Praxisbezug. Von besonderem Interesse waren die Themen Projektmanagement und Change-Management.

## Workshops



### Digitale Energienetze

19. - 20.04.2023 (online)

#### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Björn Uhlemeyer*

*Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal*

#### Inhalt

Netzbetreiber, Hersteller und Forschungseinrichtungen zeigen auf, welche Prozesse im Energienetz sinnvoll digitalisiert werden können und welche Optimierungspotentiale und Geschäftsmodelle diesen zugrunde liegen. Weiterhin wird beleuchtet, welche Daten in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen sind und wie man an diese Daten gelangt. Neu in das Programm aufgenommen wurden die Vorträge „Optimierungsrechnungen im zukünftigen Betrieb von Verteil- und Übertragungsnetzen“ und „Digitale Ortsnetzstationen für stabile und effiziente Verteilnetze“.

#### Zielsetzung

Die Teilnehmer lernen Systeme kennen, mit deren Einsatz sich energiewirtschaftliche Prozesse digitalisieren lassen und erfahren von Netzbetreibern, welche Prozesse in deren Unternehmen digitalisiert wurden bzw. in Zukunft digitalisiert werden und welcher Mehrwert für das Unternehmen sich daraus ergibt.

#### Resümee

Sehr gut kamen die Erfahrungsberichte der Netzbetreiber zur Umsetzung der Digitalisierung in ihren Unternehmen an. Auch das in dem Kurs eingesetzte Umfrage-Tool Mentimeter und das Networking Tool Wonder konnten erneut punkten.



### SF6-freie gasisolierte Schaltanlagen

23. - 24.05.2023 in Ladenburg

#### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Ulrich Groß*

*Rheinische NETZGesellschaft mbH, Köln*

#### Inhalt

Der Workshop beginnt mit einer Keynote zum Thema und dem Stand der Arbeiten des FNN-Expertennetzwerks „SF6 und Alternativen“. Im Anschluss präsentieren Hersteller ihre Lösungen zu SF6-freien gasisolierten Schaltanlagen. Abschließend berichten Netz- und Anlagenbetreiber über ihre Strategien und Erfahrungen beim Einsatz von alternativen Gasen in gasisolierten Schaltanlagen. Zwischen den Themenblöcken wird die Gelegenheit gegeben, Fragestellungen zu SF6-freien gasisolierten Schaltanlagen mit den Referenten und Teilnehmenden zu diskutieren.

#### Zielsetzung

In diesem Workshop erfahren die Teilnehmenden, welche Lösungen von Herstellern SF6-freier gasisolierter Schaltanlagen angeboten werden und welche Erfahrungen Netz- und Anlagenbetreiber bei der Umstellung ihrer SF6-gasisolierten Schaltanlagen auf SF6-freie gasisolierte Schaltanlagen gemacht haben.

#### Resümee

Das Forum zum Thema SF6-freie GIS, das die FGH-Akademie Ende 2022 bei der Rheinischen NETZ-Gesellschaft in Köln durchgeführt hat, zeigte, dass es hierzu großen Aufklärungs- und Gesprächsbedarf gibt. Aus diesem Grund wurde dieser

Workshop neu in das FGH-Weiterbildungsportfolio aufgenommen. Die Resonanz auf den Workshop übertraf unsere Erwartungen: 50 Personen nahmen in Ladenburg an dem Workshop teil und nutzten ausgiebig die Diskussionsmöglichkeiten mit Referenten und Teilnehmenden.



## Resümee

Aufgrund der großen Nachfrage zum Kurs haben wir den ursprünglich nur für den 13.09.2023 geplanten Workshop am 14.09.2023 wiederholt und schulten an den 2 Tagen 70 Personen.

## Netzplanungsgrundsätze

13.09.2023 und 14.09.2023 in Mannheim

### Seminarleitung

*Dr.-Ing. Björn Uhlemeyer*

*Bergische Universität Wuppertal*

### Inhalt

Die Energiewende hält auch beim Thema Netzplanungsgrundsätze neue Herausforderungen für Netzbetreiber bereit: So müssen u.a. Ladestationen für E-Fahrzeuge, Wärmepumpen und mögliche Kopplungen mit dem Gasnetz berücksichtigt werden, ebenso wie der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Abschaltung konventioneller Kraftwerke. Und natürlich muss in diesem Zusammenhang auch die Frage beantwortet werden, ob es dazu neuer Betriebsmittel bedarf, um das Netz auch in Zukunft sicher betreiben zu können.

In diesem Workshop werden eine intelligente Zielnetzplanung für städtische und ländliche Verteilnetze vorgestellt. Dabei werden sowohl aktuelle Ergebnisse von Forschungsprojekten präsentiert als auch Lösungen aus der Praxis.

### Zielsetzung

Teilnehmende lernen intelligente Netzplanungsgrundsätze für städtische und ländliche Verteilnetze kennen.

## Forum



### Resilienz gegen Cyber-Angriffe in elektrischen Netzen

23.11.2023 in Essen

#### Leitung

*Dr.-Ing. Christian Hille,  
Accenture GmbH, Essen*

#### Inhalt

Das Forum widmet sich den Fragen, wie man sich gegen Cyber-Angriffe in elektrischen Netzen wappnen kann, wie man bei solchen Angriffen reagiert und wie sich die Folgen eines Angriffs schnellstmöglich beheben lassen.

Die Veranstaltung beginnt mit einer Einführung ins Thema durch die Keynote „Cybersecurity im Zeitalter des Metaverse“ und Vorträgen zu Erfahrungen in der Cybersicherheit für kritische Infrastrukturen sowie zu Cybersecurity und technische Regelsetzung. Anschließend folgen Beiträge zu Schutzmechanismen und Reaktionen bei IT-Angriffen. Erfahrungsberichte von Netzbetreibern mit der Implementierung von Sicherheitsfeatures sowie mit Angriffen auf ihre kritischen Infrastrukturen und darauf erfolgte Reaktionen runden das Forum ab.

#### Zielsetzung

Das Forum ist als Diskussionsrunde zwischen persönlich eingeladenen Gästen konzipiert, so dass ein kleiner Kreis von Experten Fragestellungen zur Resilienz gegen Cyber-Angriffe in elektrischen Netzen diskutieren kann.

#### Resümee

Ein spannender Tag ging gegen 16 Uhr mit 22 Teilnehmern und Referenten zu Ende.

In der abschließenden Diskussion wurde u.a. deutlich, dass die Welten von IT und OT weiterhin unterschiedlich sind. Dies betrifft die organisatorische Struktur bei den Energieversorgungsunternehmen als auch die grundlegenden technologischen Ausprägungen und die unterlagerten Prozesse. Es ist aber erkennbar, dass die zunehmenden Cyberangriffe sowie die geopolitische Lage zu einem größeren Fokus auf den Bereich OT führen. Wenngleich alle teilnehmenden Personen zustimmten, dass auch im Bereich der OT große Fortschritte erzielt wurden, resultieren die stark abweichenden Lebenszyklen sowie die Lieferantenstruktur weiterhin darin, dass ein einfaches Integrieren der OT in die etablierten IT-Prozesse und -Strukturen kein zufriedenstellendes Ergebnis liefert. Diese hohe Komplexität der OT-Welt – Spannbreiten im Alter der Komponenten, Vielzahl an Lieferanten, Dezentralität, um nur drei Faktoren zu nennen – ist zudem nicht einfach in bestehende IT-Security-Strukturen zu überführen.

Hier gibt es also durchaus noch Diskussions- und Umsetzungsbedarf. Die Akademie behält das Thema Cybersecurity deswegen auch bei zukünftigen Veranstaltungen im Auge.

Ein herzlicher Dank geht an den Gastgeber des FGH-Forums 2023, die Accenture GmbH, die mit ihren Räumlichkeiten in Essen und den Besichtigungsmöglichkeiten vor Ort einen idealen Rahmen für die Veranstaltung bot.



Besichtigung des Accenture Innovation Hubs

## Promotionen

Herr **Universitätsprofessor Dr.-Ing. Albert Moser**, *Lehrstuhlinhaber Übertragungsnetze und Energiewirtschaft am Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen University* sowie Herr **Universitätsprofessor Dr. sc. Andreas Ulbig**, *Lehrstuhlinhaber Aktive Energieverteilnetze am IAEW der RWTH Aachen University* und Herr **Professor Dr. rer. nat. habil. Marco Lübbecke**, *Lehrstuhlinhaber Operations Research* an der RWTH Aachen University betreuen die Dissertationen der FGH-Mitarbeiter.

Die Themen sind an aktuelle bzw. abgeschlossene Forschungsprojekte aus der Zuwendungsforschung sowie der Auftragsforschung angelehnt:

- M.Sc. Alexander Vanselow  
„Auswirkungen veränderter Niederspannungsnetzentgelttarife im Verteilnetz“  
(Projekt *U-Quality*)
- M.Sc. Mirnes Planic  
„Bestimmung wichtiger Qualitätsparameter vom Isolieröl in Transformatoren mittels Ultraschallmessung“ (AiF-Projekt *Isolieröluntersuchung*)
- M.Sc. Christoph Wirtz  
„Simulation zeitweiliger Überspannungssereignisse und technische Bewertung von Konzepten zur dynamischen Spannungsstützung“ (Projekt *OVRTuere*)
- M.Sc. Niklas Erle  
„Optimierte Koordination von Netzausbau- und -verstärkungsmaßnahmen für die Mittelfristplanung des elektrischen Übertragungsnetzes“
- M.Sc. Felix Rudolph  
„Nutzenbewertung zukünftiger Offshore-HGÜ-Systeme in der Nordsee“ (EU-Projekt *PROMOTiON*)
- M.Sc. Lukas Kalisch  
„Zuverlässigkeit der Regelleistungsbereitstellung aus Smart Grids“ (Projekt *ENSURE*)
- M.Sc. Andrea Ewerszumrode  
„Betriebsplanung elektrischer Übertragungsnetze unter Berücksichtigung kurativer topologischer Schaltmaßnahmen“ (Projekt *InnOpTEM*, s. S. 16)
- M.Sc. Marco Gehrmanne  
„Bewertung der Auswirkungen von Eingriffen des betriebsführenden Personals auf die kurzfristige Auswahl von Engpassbehebungsmaßnahmen“ (Projekt *InnOpTEM*, s. S. 16)
- M. Sc. Philipp Reuber  
„Gemeinsame Optimierung von Engpassbehebungsmaßnahmen unter Verwendung von KI-basierten Methoden“ (Projekt *InnOpTEM*, s. S. 16)
- M.Sc. Max Murglat  
„Untersuchung des Resonanzverhaltens von Niederspannungsnetzen“ (Projekt *Quirinus Control*, s. S. 20)

## Studentische Arbeiten

### Bachelorarbeiten

Analyse und graphische Aufbereitung von Knoten-Zweig-Sensitivitäten (PTDF) für neue Netzelemente im Rahmen der Energiewende	Jonas Handke
Identifikation signifikanter Einflussgrößen auf die Ermittlung der Netzimpedanz von Niederspannungsnetzen	Yannik Malejka
Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Ermittlung von Polradwinkelverläufen bei Typ1 Generatoren im Netzfehlerfall	Christian Sackert
Modellierung eines regionalspezifischen Verteilnetzes für Spannungsqualitätsuntersuchungen	Andreas Zwikirsch

### Masterarbeiten

Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung topologischer Maßnahmen mittels Kombination von Deep Reinforcement Learning und mathematischer Optimierung	Noah Dresemann
<p><i>Das elektrische Übertragungsnetz ist infolge der erhöhten Durchdringung dargebotsabhängiger Erneuerbarer Energien zunehmend einer veränderten Transportaufgabe ausgesetzt, welche eine erhöhte Auslastung der bestehenden Infrastruktur bedingt. Ein kosteneffizientes Instrument für die Behebung zu erwartender Grenzwertverletzungen auf den Betriebsmitteln sind die topologischen Maßnahmen. Diese verändern die Verschaltung der Netzelemente, um den Leistungsfluss im Netz zu manipulieren. Allerdings ergibt sich aufgrund ihres diskontinuierlichen Charakters ein komplexes kombinatorisches Problem für die systematische Auswahl geeigneter Schaltkombinationen, weshalb in der Praxis meist nur auf historisch validierte Maßnahmen zurückgegriffen wird. Das Deep Reinforcement Learning stellt dank der universellen Approximationsfähigkeit eines unterliegenden Künstlichen Neuronalen Netzes eine vielversprechende Lösungsmethode für sequentielle Entscheidungsprobleme mithilfe Künstlicher Intelligenz dar, weshalb es zuletzt auch für die Anwendung im Übertragungsnetzbetrieb erforscht wird.</i></p>	

*Im Rahmen dieser Arbeit wird nun ein kombiniertes Verfahren aus Deep Reinforcement Learning und mathematischer Optimierung für die Auswahl topologischer Maßnahmen entwickelt und evaluiert. Anhand eines bestehenden, ganzheitlichen Optimierungsverfahrens mit sensitivitätsbasierter, linearer Modellierung topologischer Maßnahmen werden zunächst Zielwerte auf einem Datensatz von Netznutzungsfällen generiert, die daraufhin für das Training eines Deep Reinforcement Learning-Modells verwendet werden. Dieses wählt anhand einer Beobachtung der momentanen Netznutzung eine diskrete topologische Schaltkombination, deren Auswirkung in Form eines Reward-Signals für die Aktualisierung des Modellverhaltens herangezogen wird. Dafür wird hier ein Ähnlichkeitsmaß bezüglich der Leistungsfluss situation im Netz gegenüber der Lösung des Optimierungsproblems definiert, wobei für eine hohe Ähnlichkeit auch eine vergleichbare Engpasssituation im Netz vorausgesetzt wird. Im Rahmen dieses Ein-Schritt-Entscheidungsproblems soll das Deep Reinforcement Learning-Modell anhand der bereitgestellten Beispiele graduell den deterministischen Zusammenhang zwischen Netzzustand und Optimierungslösung erlernen, sodass es diesen in der autonomen Anwendung generalisiert abbilden kann. In der Untersuchung des Verfahrens erweist sich zunächst ein signifikanter reziproker Zusammenhang zwischen Reward-Entwicklung und Engpassleistung im Netz, was die Wirksamkeit der Reward-Definition hervorhebt. Zudem zeigt die Gegenüberstellung verschiedener Deep Reinforcement Learning-Algorithmen die methodische Überlegenheit des wertebasierten*

*Deep Q-Networks im Gegensatz zu policybasierten Aktor-Kritik-Methoden, welche gegen impraktikable lokale Optima mit undifferenzierter, singulärer Aktionsauswahl konvergieren.*

---

**Entwicklung eines Reinforcement Learning Verfahrens zur Optimierung von Engpassbehebungsmaßnahmen**

Max Kunst

*Mit zunehmender Verbreitung dargebotsabhängiger Erneuerbarer Energien und der daraus folgenden Dezentralisierung der Erzeugung sieht sich das europäische Elektrizitätsversorgungssystem einer veränderten Transportaufgabe ausgesetzt. Diese Entwicklungen führen zu einer erhöhten Belastung der Betriebsmittel und können zu engpassbehafteten Netzzuständen führen. Dahingehend werden präventive Maßnahmen eingesetzt, um diese Zustände zu vermeiden. Einige Instrumente zur Behebung von zu erwartenden Überlastungen sind Topologie und Redispatch-Maßnahmen. Diese nehmen Einfluss auf die Lastflüsse des Elektrizitätsversorgungssystems durch Anpassungen der Schaltzustände und Eingriffe in die Kraftwerksfahrpläne. Jedoch entwickelt sich durch den diskontinuierlichen Charakter von Schaltmaßnahmen und die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Redispatch-Maßnahmen ein komplexes mehrdimensionales Problem für die geeignete Auswahl von Engpassbehebungsmaßnahmen für den Netzbetrieb. Aufgrund der approximativen Eigenschaften der Künstlichen Neuronalen Netze, stellt das Deep Reinforcement Learning ein hohes Potential dar, die Prozesse und Zusammenhänge eines Elektrizitätsversorgungssystems zu abstrahieren und im Falle kritischer Netzzustände geeignete Engpassbehebungsmaßnahmen zu bestimmen.*

*Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Entwicklung eines Verfahrens, das Engpässe effizient bewältigen kann und gleichzeitig eine geringe Laufzeit gewährleistet. Dahingehend werden Methoden des Reinforcement Learnings zur autonomen Engpassbehebung durch eine künstliche Intelligenz untersucht. Innerhalb des Verfahrens werden Engpassbehebungsmaßnahmen durch lernfähige Agenten in einem simulierten elektrischen Netz selbstständig umgesetzt. Hierzu erfassen die Agenten den Netzzustand über die Erzeugung und den Verbrauch von elektrischer Energie und setzen im Falle eines Engpasses eine Engpassbehebungsmaßnahme um. Dabei können die Agenten mit einem simulierten Netz interagieren und, entsprechend ihren Funktionalitäten, entweder topologische Schaltmaßnahmen oder Redispatch-Maßnahmen zur Engpassbehebung realisieren. Zu diesem Zweck erhalten die Agenten in jedem Trainingsschritt informatives Feedback zur Optimierung der Ausgestaltung ihrer Maßnahmen. Das Verhalten der Agenten und die Entwicklung des neuronalen Netzes werden durch die zugrunde liegenden Algorithmen bestimmt. Vor dem eigentlichen Training werden diese Algorithmen mit Hilfe des Hyperparameter-Tunings optimiert. Damit in dem Verfahren die Kombination beider Maßnahmen und deren Auswirkung auf das Netz untersucht werden können, erfolgt die Ausführung der verschiedenen Engpassbehebungsmaßnahmen über multiple Agenten in einem Multi-Agenten-System. Exemplarische Untersuchungen zeigen, dass die Agenten in der Lage sind auf Basis von verschiedenen Engpasssituationen die Zusammenhänge elektrischer Netze zu abstrahieren und geeignete Maßnahmen treffen zu können. Hierbei konnte das Multi-Agenten-System in kritischen Belastungssituationen der Netze die N-0 Engpassleistung insgesamt um durchschnittlich ca. 98 % reduzieren, wobei die topologischen Schaltmaßnahmen bereits ca. 40 % und Redispatch-Maßnahmen die weiteren 58 % der initialen Engpassleistung reduziert haben.*

---

**Entwicklung eines PDE-basierten Berechnungstools zur Bewertung der Stromtragfähigkeit von Energiekabeln in speziellen Verlegeanordnungen**

Robin Stollenwerk

*Im Rahmen der aktuellen Klima- und Energiepolitik ergeben sich tiefgreifende Veränderungen in Energieerzeugung, -versorgung und -verbrauch. Folglich führt dies im Bereich ab Mittelspannungsebene und abwärts zu einem steigenden Bedarf an neuen Kabeltrassen und deren technischen Auslegung. Insbesondere ist hier die innerstädtische Situation zu erwähnen, in der Trassenkorridore enger werden und Kabel sowie weitere Leitungen konzentriert liegen. Für einen zuverlässigen Betrieb der Kabel wird eine thermische Betrachtung immer wichtiger. Üblicherweise erfolgt die Auslegung der erforderlichen Kabelparameter durch Tabellenwerte nach VDE 0267-620.*

*Aufgrund der unterschiedlichen Anlagenstandorte und lokalen Witterungsunterschieden ergeben sich viele*

*verschiedene Verlegeanordnungen und Bodeneigenschaften, welche mittels der Tabellenwerte oftmals unzureichend repräsentiert werden. Zur vereinfachten Berechnung liefert hier die IEC 60287 Ansätze.*

*Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung eines Berechnungstools auf Basis der partiellen Differentialgleichungen (PDE) zur Simulation der Strombelastbarkeit von Kabeln in verschiedenen Verlegeanordnungen. Dazu wird ein Verfahren zur Nachbildung von Ersatzwärmequellen und zur thermischen Simulation sowie eine Eingabeoberfläche für die spezifischen Kabel- und Verlegedaten erarbeitet. Auf Basis der ohmschen Verlustleistung, dielektrischen Verluste und Verluste im Schirm, werden Stromquellen in äquivalente Wärmequellen überführt. Mit Hilfe von Materialparametern wie Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität für alle beteiligten Materialien werden die Rahmenbedingungen für die thermischen Berechnungen gesetzt.*

*Anhand einer anschließenden Parameterstudie wird die Plausibilität der Berechnungsergebnisse überprüft. Zudem werden die Ergebnisse mit Berechnungen nach IEC verglichen. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse des PDE-Tools für Ein-System-Anordnungen teilweise von den Berechnungen nach IEC abweichen. Hingegen reduziert sich die Abweichung bei Mehr-System-Anordnungen; teilweise stimmen die Ergebnisse sogar überein. Des Weiteren zeigt sich, dass die Schirmverluste und dielektrischen Verluste Unterschiede zu den Resultaten der Berechnungen nach IEC zeigen, wodurch das Endergebnis entsprechende Differenzen aufweist.*

*In weiteren Arbeiten werden insbesondere die Bestimmungen der Verluste innerhalb des PDE-Berechnungstools überarbeitet, wodurch diese Unterschiede minimiert werden sollen. Des Weiteren werden langfristig praktische Messungen und deren Auswertung angestrebt, um die Berechnungsergebnisse sowohl aus der IEC als auch aus dem hier entwickelten PDE-Berechnungstool zu verifizieren.*

## Auftragsforschung und weitere Dienstleistungen

Neben der Durchführung von Forschungsprojekten aus der in der Regel öffentlichen Zuwendung im Rahmen von Forschungsprogrammen und -ausschreibungen werden in der FGH auch Auftragsforschungs- und wissenschaftliche Untersuchungsprojekte zu unterschiedlichsten Fragestellungen bearbeitet und Softwareprodukte und -lösungen entwickelt. Als Auftraggeber treten vorzugsweise FGH-Mitgliedsunternehmen, aber auch weitere Unternehmen der Energiebranche auf. Die große Bandbreite der Auftraggeber, die von Netzbetreibern, der Industrie und Dienstleistern bis zu Herstellern und Betreibern von Erzeugungsanlagen oder auch Behörden, Gerichten und Verbänden reicht, verdeutlicht, dass die FGH als unabhängige und objektive Einrichtung in der Fachwelt anerkannt wird.

Der folgende Auszug exemplarischer Projekte aus den Bereichen **Elektrische Netze, Energietechnische Anlagen** und der **Zertifizierungsstelle** dokumentiert das breite thematische Feld der im Geschäftsjahr durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen.

### Bereich Elektrische Netze

Die FGH hat es sich zur Aufgabe gemacht, den Wandel der Stromnetze aktiv mitzugehen. Bei der Forschung zu elektrischen Netzen beantworten wir aktuelle energietechnische und energiewirtschaftliche Fragestellungen (siehe Kapitel „Forschung und Entwicklung“, S. 4). Um einen maximalen Nutzen für unsere Mitglieder und einen schnellen Transfer der Ergebnisse in die praktische Anwendung zu gewährleisten, erfolgt eine direkte Einbindung von Netzbetreibern und Herstellern in unsere Forschungsprojekte zur Gewährleistung eines hohen Praxisbezugs und durch eine enge Verzahnung der Aktivitäten *Forschung, Softwareentwicklung, Auftragsforschung und Beratung*. Durch die im Rahmen der Zuwendungsforchung geförderten Forschungsprojekte sind hier sowohl Spezialwissen bei den Mitarbeitern wie auch spezielle innovative Werkzeuge auf dem aktuellen technischen Entwicklungsstand vorhanden, die zum Vorteil unserer Mitgliedsunternehmen und Kunden eingesetzt werden können. Die FGH entwickelt Software in interdisziplinärer Zusammenarbeit der Forschungs-, Software- und Beratungsteams, so dass Weiterentwicklung von Netzberechnungs- simulations- und Optimierungswerkzeugen stets auf Basis neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse beruht. Die Auftragsforschung und Beratung ist eine wirkungsvolle Unterstützung von Netzbetreibern bei der Lösung ihrer komplexen Herausforderungen der Energiewende. Hierfür kombiniert die FGH ihr breites Spektrum an Kompetenzen in Netzplanung, Assetmanagement, Betriebsplanung und Netzbetrieb. Nicht zuletzt fließen Erkenntnisse aus Projekten der Auftragsforschung und Softwareentwicklung wieder als erweiterte Fragestellungen zurück in die Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Somit wird der Transfer zwischen Forschung und Anwendung in beide Richtungen gewährleistet.

Der Bereich Elektrische Netze befasst sich mit systemtechnischen Fragestellungen der elektrischen Energieversorgungsnetze wie

- Lastfluss- und Kurzschlussstromberechnungen
- Lastflussoptimierung und Netzbetriebssimulation
- Netzplanung und Netzausbauplanung
- Operative Optimierungsverfahren für Redispatch und Engpassmanagement
- Stabilitätsuntersuchungen und dynamische Simulationen
- Zuverlässigkeitssanalysen
- Sonderauswertungen der FNN-Störungsstatistik
- Einsatz von leistungselektronischen Betriebsmitteln (FACTS)

- Einsatz von HGÜ-Anlagen
- Analyse und Parametrierung von Schutzgeräten
- Informations- und Kommunikationstechnik im Energienetz

Für die Lösung dieser Aufgaben setzen wir überwiegend selbst entwickelte, leistungsfähige Softwarepakete bzw. dort eingebundene weitere Analysemodule ein. Damit ist ein sachgerechter Einsatz der Werkzeuge sichergestellt und es ist möglich, auf die jeweilige Fragestellung, etwa durch notwendige Anpassungen, flexibel zu reagieren sowie eine effiziente Bearbeitung der Projekte zu erreichen.

Im Jahr 2023 hat sich der Bereich Elektrische Netze insbesondere mit Projekten in den folgenden Themenfeldern beschäftigt:

- Entwicklung von Optimierungsalgorithmen und Prozessen für Netzbetrieb und Netzbetriebsplanung in Übertragungs- und Verteilungsnetzen.
- Entwicklung von Algorithmen und Methoden für eine europäische Redispatchoptimierung gemäß Anforderungen nach SOGL und CACM.
- Berücksichtigung des Redispatch 2.0 im Engpassmanagement (siehe z.B. Seite 52).
- Studie zur Ermittlung der kalkulatorischen Preise 2023 (siehe Seite 51).
- Entwicklung von Prozessen und Tools zur Validierung der Mindestkapazität (MinRAM) im Kontext des Flow-Based Market Couplings.
- Bestimmung von Übertragungskapazitäten im Europäischen Strommarkt zur Gewährleistung der Systemsicherheit (siehe Seite 54).
- Wissenschaftliche Begleitung der FNN Störungs -und Verfügbarkeitsstatistik.
- Algorithmenentwicklung und Prozessgestaltung und Bewertungskriterien in der Mehrjahresschaltplanung.
- Entwicklung von Werkzeugen zur Aufbereitung und Visualisierung von Netzberechnungsergebnissen (siehe Seite 58).
- Vielfältige neu- oder Weiterentwicklungen von Verfahren zur Netzberechnung und -optimierung (siehe Seite 56).
- Weiterentwicklungen der Netzplanungssoftware INTEGRAL 8 (siehe Seite 56)

Nachfolgend finden sich Kurzberichte zu einigen ausgewählten Projekten.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Simon Krah  
 Dr.-Ing. Annika Klettke  
 M.Sc. Max Hoven  
 Dr.-Ing. Daniel Schacht

## Studie zur Ermittlung der kalkulatorischen Preise 2023

Übertragungsnetzbetreiber

Im Zuge der EnWG-Novelle wurde die Regelung zur Anpassung der Einspeisung aus Erneuerbare-Energien-Anlagen im Netzengpassmanagement neu festgelegt. Dabei wurden der bisher explizit im Gesetz verankerte absolute Vorrang für die Einspeisung aus Erneuerbare-Energien-Anlagen sowie die Nachrangigkeit der Netzervekraftwerke modifiziert und diese Anlagen in den Redispatch berücksichtigt. Das Ziel besteht darin, unter Berücksichtigung der Nachrangigkeit der Erneuerbare-Energien-Anlagen eine kosteneffiziente Maßnahmendimensionierung im Netzengpassmanagement zu erreichen.

Gemäß § 13 Absatz 1a EnWG muss die Festlegung der kalkulatorischen Preise so erfolgen, dass die von der Bundesnetzagentur festgelegten Mindestfaktoren in der Regel eingehalten werden. Diese Mindestfaktoren definieren das niedrigste Verhältnis, ab dem eine Reduzierung der Erzeugungsleistung nicht vorrangberechtigter Anlagen durch vorrangberechtigte Anlagen erfolgen kann, damit eine Eingriffsmöglichkeit in die Betriebsweise vorrangberechtigter Anlagen gegeben ist. Die Bundesnetzagentur hat erstmals die Mindestfaktoren im Beschluss vom 30. November 2020 festgelegt. Die FGH hat bereits im Jahr 2021 im Rahmen eines Gutachtens für die deutschen Übertragungsnetzbetreiber eine Empfehlung für eine geeignete Methode zur Umrechnung der Mindestfaktoren in kalkulatorische Preise abgeleitet. Basierend auf dieser Methode hat die FGH die Studie zur Ermittlung der kalkulatorischen Preise in 2022 durchgeführt und auch im Jahr 2023 die Übertragungsnetzbetreiber bei der Bestimmung der neuen kalkulatorischen Preise unterstützt.

Zur Bestimmung der kalkulatorischen Preise wird zusammen mit den Übertragungsnetzbetreibern das im Jahr 2021 entwickelte deduktiv iterative Verfahren eingesetzt. In einem ersten Schritt werden die Szenario-Annahmen für den Zeitraum vom 1. Oktober 2023 bis zum 30. September 2024 festgelegt. Neben den Netztopologien werden auch die voraussichtlichen Redispatchpotenziale im In- und Ausland ermittelt. Dabei werden mögliche Auswirkungen des seit Sommer 2022 in Kraft getretenen und bis zum 31. März 2024 begrenzten Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetzes berücksichtigt. Der Mindestfaktor für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen entfällt mit dem Gesetz vollständig, stattdessen sind die tatsächlichen Kosten für an die Wärmeerzeugung gekoppeltes Redispatchpotenzial zu berücksichtigen. Weiterhin dürfen Netzreservekraftwerke nach einer Ankündigung befristet bis zum 31.03.2024 an den Markt zurückkehren.

Die Szenario-Annahmen werden in die Jahresredispatchsimulationen des deduktiv iterativen Verfahrens einbezogen. Die kalkulatorischen Preise für Erneuerbare-Energien-Anlagen und Netzreservekraftwerke, die schließlich gemeinsam mit den Übertragungsnetzbetreibern ermittelt wurden, sind auf [Netztransparenz.de](https://www.netztransparenz.de)<sup>1</sup> veröffentlicht. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sind dort ebenfalls die durchschnittlichen Kosten für positiven und negativen Redispatch mit nicht vorrangberechtigtem Strom angegeben.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Simon Krah  
M.Sc. Felix Rudolph

## Redispatch Pro (RD Pro)

TenneT TSO GmbH

Laufzeit: 2021 bis 2026

*Die FGH entwickelt zusammen mit Projektpartnern im Rahmen des Projekts Redispatch Pro eine innovative Clustering-Lösung, um Flex-Ressourcen aus den Verteilnetzen in die Betriebsplanungsprozesse der TenneT effizient integrieren zu können.*

Im Rahmen des novellierten Redispatch (RD 2.0) sind eine Vielzahl von in der Verteilnetzebene angegeschlossenen EEG- und KWKG-Anlagen (sog. Flex-Ressourcen) neu in den Betriebsplanungsprozessen zu berücksichtigen. Im Zuge der Umsetzung liefern die Verteilnetzbetreiber (VNB) Daten für eine große Anzahl an Flex-Ressourcen mit Redispatchpotentialen an die Übertragungsnetzbetreiber. Bestehende Prozesse und Tools für die Netzbetriebsplanung müssen ertüchtigt werden, damit diese Prozesse mit der Vielzahl an Datenpunkten weiterhin zuverlässig arbeiten und somit die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Übertragungsnetze gewahrt bleibt. Dies macht es erforderlich, dass zum einen die Anzahl der zu verarbeitenden Datenpunkte auf ein Maß beschränkt bleibt, dass die bestehenden ÜNB-Prozesse damit umgehen können. Zum anderen ist davon auszugehen, dass manuelle Anpassungen durch die Betriebsplaner und Systemführer an den zu ergreifenden Maßnahmen möglich sein sollen. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass die

---

<sup>1</sup> Kalkulatorische Preise – Veröffentlichung: <https://www.netztransparenz.de/EnWG/Redispatch/Kalkulatorische-Preise>

Datenpunkte derart aggregiert werden, so dass sie von Betriebsplanern und Systemführern in kurzer Zeit erfasst und effektiv bearbeitet werden können.

### Gesamtprojekt RD Pro

Die FGH arbeitet zusammen mit Partnern von SOPTIM und Logarithmo an der Entwicklung einer Prozesskette, die eine Umsetzung im Einklang mit regulatorischen Anforderungen und unter Weiternutzung bereits bestehender Systeme ermöglicht. Das Gesamtprojekt lässt sich in drei Clustering-Komponenten sowie in einen Abrufverteiler unterteilen:

- Im Rahmen der Clusteranalyse wird eine Zuordnung der Flex-Ressourcen zu Gruppen, sogenannter ÜNB-Cluster, bestimmt. Die ÜNB-Cluster werden anschließend als Aktivierungsobjekt im Redispatch-Prozess verwendet.
- Das operative Clustering erstellt im 24/7-Netzbetrieb konforme Bewegungsdaten für die ÜNB-Cluster. Hierfür werden die Bewegungsdaten der jeweiligen Flex-Ressourcen zusammengefasst.
- Das De-Clustering beschreibt die operative Übersetzung von aus ÜNB-Clustern bezogenen Redispatch-Anweisungen auf die ursprünglichen Flex-Ressourcen.
- Der Abrufverteiler dient zum vollautomatischen Abruf der Flex-Ressourcen und bedient somit die verschiedenen Datenwege beim Anwisen der Redispatchmaßnahme.

Zusätzlich zu den Clustering-Komponenten und dem Abrufverteiler existiert eine Stammdaten- sowie eine Bewegungsdaten-Datenbank, in welchen alle relevanten Daten für die oben genannten Komponenten verwaltet werden.

### Clusteranalyse-Tool (CAT)

Im Rahmen des Projekts entwickelt die FGH zusammen mit Partnern von SOPTIM die Clusteranalyse in Form eines Clusteranalyse-Tools (CAT). Die konzeptionelle Erarbeitung und Spezifikation der Anforderungen erfolgen dabei in enger Zusammenarbeit mit TenneT. Das CAT bietet dem Anwender die Option einer möglichst optimalen Bildung von Gruppen (sog. ÜNB-Clustern) automatisiert vorzunehmen. Hierbei werden Flex-Ressourcen mit vergleichbarer Wirkung auf Zweige des Übertragungsnetzes und mit ähnlichen Eigenschaften in ÜNB-Cluster gruppiert. Dies erfolgt zudem je Hauptenergieträger (EE-Anlagen, KWK-Anlagen, Konventionelle Anlagen) separat. In den Betriebsprozessen können dann die so gebildeten ÜNB-Cluster verwendet werden, anstatt alle Flex-Ressourcen der Verteilnetze direkt zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Clusteranalyse werden zunächst benötigte Eingangsdaten aufbereitet, ausgewertet und als Dimensionen im Clusteralgorithmus berücksichtigt. Ein Clustering kann konfigurationsabhängig folgende Dimensionen umfassen:

- Netztechnische Wirksamkeit der Flex-Ressourcen auf Zweige des Netzgebiets
- Kosten für einen Abruf einer Maßnahme
- Zugehörigkeit der Anlagen zu Netzgebieten VNB 1. Ordnung

Während die netztechnische Wirksamkeit sowie die Zugehörigkeit der Anlagen zu Netzgebieten für alle drei Hauptenergieträger Anwendung findet, werden die Kosten ausschließlich bei KWK- und konventionellen Anlagen als weitere Dimension hinzugefügt. Da für KWK-Anlagen mit Inkrafttreten des Ersatzkraftwerkebereithaltungsgesetzes der kalkulatorische Preis nicht mehr berechnet wird, wurde in 2023 eine Erweiterung der Berücksichtigung der Kostendimension für KWK-Anlagen implementiert. Für alle EE-Anlagen gilt weiterhin der gleiche kalkulatorische Preis, wodurch ein Clustering mit der Kostendimension redundant wird.

Neben der reinen Einteilung von Flex-Ressourcen in ÜNB-Cluster nimmt das CAT eine für die Nachfolgeprozesse konforme Erstellung von Stammdaten der erzeugten ÜNB-Cluster vor, zu der wiederum die Stamm-

und Bewegungsdaten der zugeordneten Flex-Ressourcen ausgewertet werden. Diese Funktion sowie die zugehörigen Anforderungen wurden in 2023 in enger Absprache mit TenneT spezifiziert und fertiggestellt. Die ermittelten ÜNB-Cluster sowie ÜNB-Cluster-Zuordnungen können durch den Anwender an die Stammdaten-Datenbank übertragen und anschließend aus der Stammdaten-Datenbank an Folgeprozesse übermittelt werden.

Während einer Clusterberechnung erhält der Anwender Statusmeldungen über die Clusterberechnung. Hier lassen sich der aktuelle Stand der Clusterberechnung ablesen, Fehler identifizieren und Informationen über die Eingangsdaten erkennen. In diesem Zusammenhang wurden Eingangsdatenvalidierung und Logging stark verbessert und erweitert, wodurch der Anwender im CAT nun umfangreich bspw. über fehlende Eingangsdaten informiert wird.

Das CAT befindet sich gegenwärtig noch in der Entwicklung und soll auch im Jahr 2024 stetig um weitere Funktionen ergänzt werden.

Ansprechpartner FGH ▪ Pascal Pfeifer  
Pia Boehmer

## Untersuchungen zur Überarbeitung der Kapazitätsvergabe zwischen der Schweiz und Deutschland

### Auftragsforschung für TNG

Bereits im Vorjahr hat die FGH im Auftrag der TransnetBW eine Überarbeitung der Kapazitätsvergabe (NTC) von Deutschland in die Schweiz (DE → CH) durchgeführt. Hintergrund dazu waren sehr hohe Leitungsauslastungen im Netzbetrieb, welche auf hohe Handelsflüsse DE → CH und hohe Kraftwerksnichtverfügbarkeiten (KW-NV) im Netzbereich der TransnetBW zurückgeführt werden konnten. Aus dieser Studie heraus haben sich fortführend Überlegungen zur Überarbeitung der Kapazitätsvergabe von der Schweiz nach Deutschland (CH → DE) ergeben.

Fokus dieses Forschungsprojektes war insbesondere die Bestimmung von Abhängigkeiten des NTC CH → DE von Einflussfaktoren und eine mögliche, situationsabhängige Erhöhung des aktuellen Grenzwertes und damit eine Freigabe von mehr Kapazitäten für den Markt. Der bisherige Wert in Höhe von 4.000 MW sollte durch eine situationsabhängige Ermittlung des NTC-Wertes ersetzt werden. Hierzu wurde an der Methodik der vorherigen Studie festgehalten, das heißt, die Bestimmung des NTC-Wertes erfolgte mittels Locally Weighted Scatterplot Smoothing (LOESS).

Im Rahmen dieses Projektes wurden Simulationsrechnungen, zur Ermittlung der zulässigen Handelskapazitäten in unterschiedlichen Situationen, durchgeführt. Hierzu wurde ein Netzmodell gewählt, welches für das untersuchte Sommerhalbjahr 2022 möglichst repräsentativ ist. Zur Berücksichtigung einer möglichen Netzschwächung wurden weiterhin Freischaltzenarien betrachtet. Die Simulation erfolgte auf Basis von historischen Netznutzungsfällen, bei denen zusätzlich die KW-NV, innerhalb der Regelzone von TransnetBW, basierend auf der Kraftwerksrevisionsplanung für das Jahr 2023, in insgesamt 10 Stufen variiert wurde.

Innerhalb der Simulationsrechnungen erfolgte die Bestimmung der situationsbezogen, maximal zulässigen Handelskapazität, über eine schrittweise Anhebung des Marktaustausches von CH → DE – Exportszenario Schweiz – so lange, bis eine Gefährdung der Systemsicherheit (verbleibende Überlastungen, welche sich nicht durch Redispatch heilen lassen) vorlag. Ein weiteres, möglicherweise kritisches Szenario, – Transitszenario Frankreich → Schweiz → Deutschland – wurde in Voruntersuchungen ebenfalls betrachtet, aber, gegenüber dem Exportszenario, als weniger kritisch angesehen und nicht weiterverfolgt.

Für die Ableitung einer Methode zur Bestimmung situationsbezogener maximaler Handelskapazitäten wurden verschiedene Daten als determinierende Faktoren mittels einer Korrelationsanalyse untersucht. Im Ergebnis wiesen vor allem die Windeinspeisung und die vertikale Netzlast die größte Korrelation mit dem NTC CH→DE auf. Diese Einflussfaktoren wurden daher bei der Erstellung der Prognosemodelle verwendet. Des Weiteren wurden die Bilanzen von Frankreich und Italien als mögliche Einflussfaktoren betrachtet, da die Swissgrid diese bei ihrer Methode zur Bestimmung des NTC als Einflussfaktoren verwendet werden.

Basierend auf diesen identifizierten Einflussfaktoren und den in den Simulationsrechnungen ermittelten, maximal zulässigen Handelskapazitäten wurden Prognosemodelle mittels des LOESS erstellt. Die Modelle wurden anschließend für das Sommerhalbjahr 2023 validiert.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass eine situationsbezogene Erhöhung des NTC CH→DE möglich ist. In manchen Situationen scheint jedoch auch eine Einschränkung des NTC unter die bisherige Vorgabe von 4.000 MW erforderlich zu sein. Die FGH hat TransnetBW daher empfohlen, weitere Untersuchungen vorzunehmen, insbesondere für Situationen, in denen eine Einschränkung des NTC auf Basis der Modelle notwendig sein kann.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Simon Krah  
Dipl.-Wirt.-Ing. Dirk Lehmann  
M.Sc. Philipp Reuber

### **Update zur linearisierten Optimierung im Netzplanungssystem INTEGRAL**

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Optimierungsframeworks in INTEGRAL wurde bereits im Jahr 2021 mit der Entwicklung der linearisierten Optimierung begonnen. Diese wurde im Jahr 2022 weiterentwickelt und erfolgreich ausgeliefert. Derzeit wird sie im Netzentwicklungsplan (NEP)-Prozess bereits eingesetzt. Im Jahr 2023 wurde die linearisierte Optimierung kontinuierlich weiterentwickelt. Inhaltliche Schwerpunkte dabei waren insbesondere die umfassendere Berücksichtigung von Netzelementen der Hochspannungs-gleichstromübertragungen (HGÜ). Weiterhin wurde die Ausfallapproximation der linearisierten Optimierung zur Berücksichtigung von Mehrfachausfällen ertüchtigt und Lasten im betrachteten Netzmodell werden nun als zusätzliche Freiheitsgrade für die Optimierung des Redispatches herangezogen.

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Florian Martin

### **Update zum Projekt Bidding Zone Review (BZR)**

Das BZR-Projekt wurde vor dem Hintergrund des Artikel 14 "Überprüfung von Gebotszonen" der EU-Verordnung 2019/943 über den Elektrizitätsbinnenmarkt ins Leben gerufen. Dieser Artikel schreibt die Entwicklung von Methoden und Annahmen zur Gebotszonenüberprüfung bzw. -konfiguration vor. Im Rahmen dieser Methodik soll eine definierte Abfolge verschiedener Netzberechnungen durchgeführt werden. Für diese Berechnungen hat die FGH die Module zur Kapazitätsberechnung und zur Redispatch-Berechnung entwickelt und geliefert. Im Jahr 2023 wurde der BZR-Prozess bei den europäischen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) gestartet. Seitens der FGH zählen neben Wartungs- und Supporttätigkeiten insbesondere eine inhaltliche Prozessbegleitung (Plausibilisierungsrechnungen, etc.) zu den erwähnenswerten Aktivitäten.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Dirk Cremer

## Weiterentwicklungen des Netzplanungssystems INTEGRAL

Das Netzplanungssystem INTEGRAL wird neben den oben genannten Weiterentwicklungen im Rahmen der INTEGRAL-Kooperation kontinuierlich gemäß der durch die Anwender kommunizierten Anforderungen individuell weiterentwickelt. Dabei stand im Jahr 2023 die Weiterentwicklung der Schnittstelle zur Verarbeitung des Netzdatenformats „Common Grid Model Exchange Standard“ (CGMES) im Vordergrund. Ein Arbeitspaket der CGMES-Roadmap war die Bereitstellung des sogenannten Node-Break-Imports für Netzdatensätze im CGMES-Format. Anders als beim bereits in INTEGRAL zur Verfügung stehenden Bus-Branch-Import kann durch den Node-Breaker-Import auch die detaillierte Schaltanlagentopologie inklusive Mehrfachsammelschienen sowie der Kupplungs- und Schaltfeldtypen importiert und übersichtlich dargestellt werden. Ein weiteres Arbeitspaket beinhaltet die Funktion zur Verarbeitung von sogenannten CGMES-Differenzmodellen (engl.: Difference-Models). In einem Differenzmodell können Änderungen an bestimmten Netzobjekten eines Datensatzes abgelegt werden. Genauso können auch neue Netzobjekte hinzugefügt oder bestehende Netzobjekte gelöscht werden. Die Differenzmodelle bieten somit eine effiziente Möglichkeit, Änderungen zwischen verschiedenen Bearbeitern eines Netzdatensatzes auszutauschen ohne den gesamten, in der Praxis oft sehr großen Datensatz in unterschiedlichen Versionen abgleichen zu müssen, obwohl die Änderung nur einige wenige Netzobjekte betreffen. In einem letzten Arbeitspaket der CGMES-Roadmap wurde der Import von CGMES-Datensätzen der Version 3.0.0 ermöglicht. Bisher war der Import von CGMES-Datensätzen der Version 2.4.15 möglich. Neuere Versionen verändern sich insbesondere bei der Struktur der Attribute, mit denen ein Netzobjekt beschrieben werden kann. Hier ist den INTEGRAL-Anwendern die neueste CGMES-Version zugänglich gemacht worden.

Neben den umfangreichen Weiterentwicklungen der CGMES-Schnittstelle wurden neben Anpassungen der grafischen Oberfläche, der Verwaltung der Netzdaten und der Makro-Programmiersprache weiterhin die Abbildung leistungselektronisch-basierter FACTs (Flexible AC Transmissions Systems) vorangetrieben. So wurde ein Modell für Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) entwickelt und für das Berechnungsmodul des Grundlastflusses in INTEGRAL bereitgestellt.

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Max Hoven

## Eigenfinanziertes Entwicklungsprojekt „INTEGRAL 8“

Im Rahmen des eigenfinanzierten Entwicklungsprojektes „INTEGRAL 8“ soll die derzeitige INTEGRAL 7-Version zu einer Netzanalyseplattform der Zukunft, der neuen INTEGRAL 8-Version weiterentwickelt werden. Dabei lassen sich die Entwicklungsschwerpunkte in drei Bereiche gliedern, deren Weiterentwicklungsaktivitäten im Jahr 2023 nachfolgend erläutert werden sollen:

### 1) Cloud-Fähigkeit:

Bisher ist INTEGRAL eine ausführbare Datei, die beim Anwender auf dem lokalen Arbeitsplatzrechner oder einem Server installiert werden muss. Für den Anwendungszweck großskaliger, rechenintensiver Netzanalysen kann es Bedarf einer flexiblen Skalierung und Verfügbarkeit von Berechnungskapazitäten geben. Diese Berechnungskapazitäten können nicht immer anwenderseitig in ausreichendem Maße vorgehalten werden und gleichzeitig muss auch eine automatisierte Ressourcenverwaltung für Festplattenspeicher, Arbeitsspeicher und Prozessorleistung vorgehalten werden. Hinzu kommt ebenfalls die Anforderung einer entsprechenden Betriebssystemumgebung, die INTEGRAL erwartet. Mit der MPI (Message Passing Interface)-Fähigkeit von INTEGRAL ist es heute bereits möglich, INTEGRAL mit dem Microsoft Betriebssystem Windows HPC (High Performance Computing)-Server Berechnungsaufträge zu priorisieren, Rechenleistung effizient zu verteilen oder die Abhängigkeit zwischen Aufgaben zu koordinieren. Diese Funktion soll mit INTEGRAL 8 in Form von sogenannten Computation-Containern noch erweitert werden. Ein Container stellt dabei eine standardisierte Einheit dar, die Software und

deren Abhängigkeiten (bspw. Betriebssystem) so miteinander verknüpft, dass sie unabhängig von der unter dem Container liegenden Infrastruktur (Betriebssystem, Netzwerkumgebung, etc.) konsistent ausgeführt werden kann. Somit bietet sich die Anwendung in öffentlichen oder privaten Cloud-Umgebungen gemeinsam mit verschiedenen Workflow-Management-Systemen bzw. Orchestrierungssystemen an. Infolgedessen können in einen Container integrierte INTEGRAL-Rechenkerne hinsichtlich Rechenkapazität flexibel auf beliebigen Zielsystemen eingesetzt werden. Etwaiger Datenimport oder -export wird dabei über sichere Webprotokolle ermöglicht. Die Visualisierung von Netzdaten oder auch Ergebnissen soll dabei über den in diesem Bericht erläuterten Visualisierungsservice geschehen (s. S. 58).

## 2) Neue Schnittstellen:

Das neue INTEGRAL 8 soll sowohl neue Schnittstellen zum Import und Export von Netzdaten als auch einfachere Integration/Ansprache der Rechenkerne in fremden Umsystemen besitzen. Dazu wurde ein Quellcodegenerator entwickelt, der automatisiert schematisch beschriebene Datenmodelle in das INTEGRAL-Datenmodell integriert. So wurden u.a. die Netzdatenformate CGMES sowie die Coordinated Security Analysis Data Exchange Specification (CSA) der ENTSO-E in diversen Datenmodell-Versionen in INTEGRAL übernommen. Fremde Datenmodelle können durch den automatisiert generierten Code einfach übernommen werden und auf das interne Datenmodell übertragen werden. Dabei werden Architekturvorgaben konsequent eingehalten und können bei Bedarf schnell und verlässlich angepasst werden. Weiterhin wurde ein Konzept für eine universell einsetzbare Programmierschnittstelle (API – Application Programming Interface) für INTEGRAL erarbeitet und als Prototyp umgesetzt. Durch die Schnittstelle lässt sich INTEGRAL zukünftig einfacher in die individuellen Workflows der Anwender integrieren. Über die API wird es möglich, sein sämtliche Netzdaten zu lesen, modifizieren und zu erstellen. Auch wird es möglich sein, Berechnungsmodule aufzurufen und Ergebnisse abzuholen. Um einen möglichst einfachen Zugang zur API zu gewährleisten wurde die Schnittstelle in der derzeit immer populärer werdenden Programmiersprache Python umgesetzt. Um die wichtige Fähigkeit der erweiterten Schnittstellen mit dem Bereich Cloud-Fähigkeit (siehe vorheriger Textabschnitt) zu verbinden, befindet sich der Einsatz eines modernen Netzwerkprotokolls zur Kommunikation zwischen verteilten Diensten in Konzeption. Somit muss die über die API anzusprechende INTEGRAL-Instanz lediglich über eine Internet- oder Netzwerkverbindung erreichbar sein. Damit ist die Möglichkeit zur Verwendung als Cloud-Instanz gegeben.

## 3) Kollaborative Netzdatenbearbeitung:

Ein dritter Entwicklungsbereich ist die Entwicklung einer Funktionalität zur kollaborativen Bearbeitung von Netzdatsätzen. Netzmodelle werden in einem immer komplexer werdenden Energiesystem immer umfangreicher und auch Netzanalyse- und Optimierungsfragestellungen erfordern die Berücksichtigung zusätzlicher Freiheitsgrade und Betriebsmittel. Somit steigt der Modellierungsaufwand von Netzmodellen erheblich. Im Rahmen der Erstellungsprozesse der Netzmodelle arbeiten in der Regel mehrere Anwender an einem Netzmodell. Hieraus ergibt sich die Anforderung Änderungen unterschiedlicher Anwender nach Bedarf jedes einzelnen Anwenders zu koordinieren und zu verwalten. Dazu wurde ein Konzept auf Basis des sogenannten „Branching“ (Abzweigen) von einer Version eines Netzmodells und dem sogenannten „Merging“ (Zusammenführen) unterschiedlicher Versionen eines Netzmodells entworfen.

## Visualisierungsservice

### *Internes Projekt*

Bereits im vorherigen Jahr 2022 hat der FGH e.V. mit dem internen Projekt der Zeitreihendatenbank (ZERED) [1] erste Entwicklungen für eine gemeinsame graphische Oberfläche zur Analyse von Zeitreihendaten gestartet. In einem weiteren Schritt wurde nun die Visualisierung generalisiert, sodass diese mit unterschiedlichen Formaten der darzustellenden Daten, die sich aus verschiedenen Projekten und Toolketten ergeben, umgehen kann. Mit der Entwicklung des Visualisierungsservices wurde so eine Oberfläche zur Darstellung der Ein- und Ausgabedaten von unterschiedlichen Projekten geschaffen.

Der Visualisierungsservice ist eine Webapplikation, welche moderne Designelemente aus dem Webdesign verwendet. Grundsätzlich kann er beliebige Daten in Form von Linien, Kreisen oder Icons auf einer Karte darstellen. Derzeit findet er vor allem Anwendung in der Darstellung von Netzberechnungsergebnissen zur Darstellung von Zeitreihen- und Stammdaten. Abbildung 6 zeigt die Hauptansicht der Visualisierung. Sie umfasst eine Darstellung der tabellarischen Ergebnisse direkt im geographischen Bezug zueinander auf einer Landkarte.

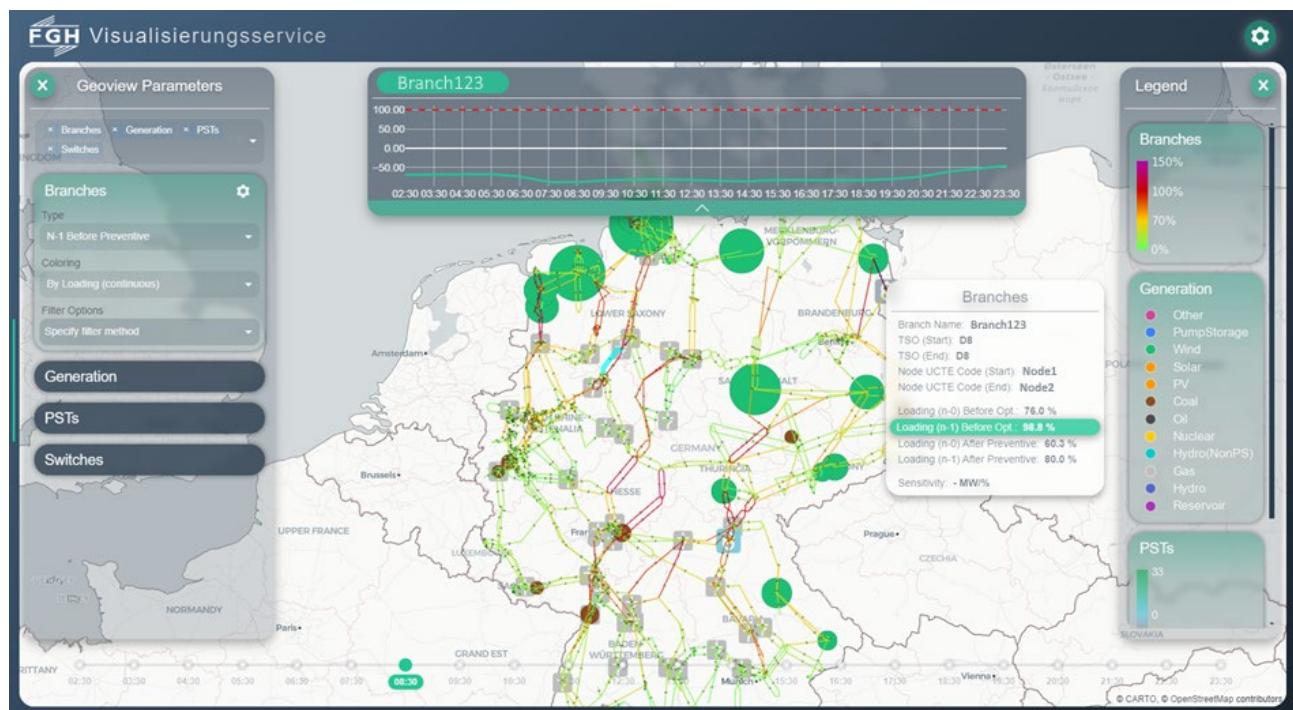


Abbildung 2 Exemplarische Darstellung aus dem Visualisierungsservice

Mit Hilfe des Menüs auf der linken Seite der Ansicht können verschiedene Ebenen ein- und ausgeblendet werden. Hierüber sind auch zahlreiche Filter und Einfärbungen der Elemente konfigurierbar, um die Ansicht an die zu analysierende Situation anzupassen zu können. Auf der rechten Seite wird eine Legende der dargestellten Elemente generiert. Um Zeitreihendaten für einen Zeitschritt anzeigen lassen zu können, kann im unteren Bereich der anzulegenden Zeitstempel auf einem Zeitstrahl ausgewählt werden. Durch das Hovern über ein Element können zusätzliche Informationen, wie verfügbare Stammdaten oder weitere Zeitreihendaten des Elements angezeigt werden. Außerdem gibt es die Möglichkeit bei Auswahl eines Elementes auf der Karte, eine Übersicht über die gesamte Zeitreihe zu erhalten.

Weiter können Detailansichten der Daten eines Elementes in einem zusätzlichen Fenster geöffnet werden oder die Ergebnisse in tabellarischer Form aufgeschaltet werden. Die tabellarische Ansicht ist dabei durch Filter und Sortierfunktionen sowie einer Verknüpfung zur Auswahl in der geographischen Ansicht einfach zu durchsuchen.

Der Visualisierungsservice wird bereits in Projekten wie InnOpTEM (s. S. 16) und CorNet eingesetzt und für diese Zwecke auch weiterentwickelt. Weitere Features, wie eine Anzeige der Ergebnisse einzelner Standorte in einer Netzschemagrafik, welche zur Analyse der konkreten Verschaltung genutzt werden kann oder eine Anpassung der Ergebnisse mit erneuter Lastflussberechnung, sind in Entwicklung.

## Literatur

[1] FGH: Jahresbericht 2022, S. 62 ff.

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Philipp De Felice  
M.Sc. Marco Gehrmann

## Bereich Energietechnische Anlagen

Der Bereich Energietechnische Anlagen der FGH unterstützt mit seinen Dienstleistungen sowie im Rahmen von Projekten der Auftragsforschung seine Kunden und Partner bei der Entwicklung, der Inbetriebnahme und dem Betrieb von energietechnischen Anlagen. Dies umfasst Erzeugungsanlagen sowie alle primär- und sekundärtechnischen Betriebsmittel in allen Spannungsebenen. Ein Fokus liegt auf der normkonformen Auslegung und Integration dezentraler Erzeugungsanlagen für eine erfolgreiche Energiewende.

Nachfolgend werden die thematischen Schwerpunkte und exemplarische Projekte aus

- dem Forschungsbereich Energietechnische Anlagen,
- der Abteilung Netzintegration Erzeugungsanlagen, Speicher und Ladestationen und
- der Abteilung Erzeugungstechnologien und Netzbetriebsmittel

vorgestellt.

### Forschungsbereich Energietechnische Anlagen

Vorwettbewerbliche Kooperation und Auftragsforschung stellen den Schwerpunkt im Forschungsbereich Energietechnische Anlagen dar. Primär- und sekundärtechnische Betriebsmittel und Komponenten der elektrischen Netze sowie deren Einbindung in den Netzbetrieb stehen im Mittelpunkt. Der starke Anwendungsbezug der Ergebnisse gewährleistet einen hohen Nutzen für Kunden und Partner und den schnellen Transfer der Erkenntnisse in die Praxis.

Das Angebot umfasst u.a. die folgenden Themenfelder:

- Berechnungen zur Kabelauslegung und -trassierung bei der Anbindung von Erzeugungsanlagen und für spezifische Verlegeanordnungen; Strombelastbarkeit, Lastprofile und thermische Bewertung
- Kurzschluss-Prüfungen an Mittelspannungskabeln und Lasttrennern
- Beeinflussung der zulässigen Auslastung von Energiekabeln durch Stapelung und parallele Fernwärmeleitungen
- Studien zum Detektionsvermögen Polypropylen-Isolierung
- Unterstützung für Verteilnetzbetreiber bei der Antragsbearbeitung für den Netzanschluss von Erzeugungsanlagen
- Schadensbegutachtung an Lasttrennern in Übergabestationen

- Laboruntersuchungen an Niederspannungs-DC-Kabeln hinsichtlich Kabeltemperatur bei zyklischer Stoßstrombelastung
- Berechnung von Erdungsströmen und Optimierung von Erdungskonzepten in Windparks
- Dokumentenprüfungen für Kompaktstationen bezüglich der Normkonformität in Europa
- Detektion verminderter Haftfähigkeit mittels Ultraschalltechnologie
- Beratungsdienstleistungen für UVRT- und OVRT-Prüfsysteme
- Beratungen hinsichtlich des Schaltanlagendesigns für den Nachweis der Störlichtbogensicherheit
- Modellierung betriebsmittelspezifischer Alterungsverhalten für das Assetmanagement
- Störungsaufklärung
- Schadensanalysen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel mit nachfolgender Netzanalyse zur Vorbeugung zukünftiger Fehler
- Vor-Ort Diagnosemessungen an Mittelspannungskabeln
- Beeinflussungsrechnung parallel geführter Leitungen (Strom/Gas)
- Berechnung elektromagnetischer Felder an Übertragungsleitungen
- Bewertung elektromagnetischer Felder gemäß DGUV und BImSchV
- Bewertung zur möglichen Höherauslastung von Energiekabelsystemen
- Zerstörungsfreie Zustandsbewertung des Isoliersystems energietechnischer Komponenten
- Prototypen- und Verfahrensentwicklung zerstörungsfreier Diagnostik zur Qualitätssicherung in der Produktion
- Entwicklungsprüfungen von Materialien oder Komponenten

Zur Bearbeitung der Fragestellungen kommen neben anerkannten Software- und Analysetools FGH-Entwicklungen zum Einsatz, wodurch auch spezielle Anforderungen flexibel und effektiv erfüllt werden können.

Ansprechpartner FGH ▪ Dipl.-Phys. Bernhard Schowe-von der Brelie  
Dr.-Ing. Gregor Brammer  
Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

**Einfluss expliziter Lastgänge auf die zulässige Übertragungsleistung von Mittelspannungskabeln**

Typischerweise werden Energiekabelsysteme entsprechend den Richtlinien des VDE aus vorgegebenen Tabellen für verschiedene Kabeltypen und Verlegearten ausgelegt. Dabei wird von einer Kabelauslastung von 100 % oder einem Lastfaktor von 0,7 ausgegangen. Faktoren wie Belastungsgrad, Bodentemperatur, Bodenbeschaffenheit, zulässige Betriebstemperatur etc. werden hierbei mit Hilfe entsprechender Reduktionsfaktoren berücksichtigt und die resultierende zulässige Strombelastbarkeit ermittelt. Bei dieser Vorgehensweise wird grundsätzlich keine Detailberechnung für einen konkreten Fall durchgeführt. Daher sind entsprechend Sicherheitsreserven enthalten, welche zu einer niedrigeren nachweisbaren Auslastung führen. Die Berücksichtigung von expliziten Lastgängen bietet den Vorteil, dass die Wärmekapazitäten des Kabels und des Erdreiches ebenfalls in die Berechnung einfließen. Daraus ergeben sich für die Kabelsysteme Zeitbereiche zur Abkühlung, wodurch in der Spitze zeitweilig höhere Strombelastbarkeiten möglich werden.

Die FGH führte für einen PV-Park-Betreiber Berechnungen zur thermischen Kabelauslegung durch. Die Parallelsysteme wurden zur Querung von Straßen und Bahntrassen mittels Spülbohrungsverfahren bis zu einer Tiefe von 5 m verlegt. Zudem bestand die Vorgabe, dass mindestens eine Leistung von 25 MVA übertragen werden muss. Hinsichtlich der nötigen Investitionen stellte sich für den Projektierer die Frage, welche Verlegeanordnung umsetzbar ist und welcher Leiterquerschnitt nötig ist. Die planmäßige Auslastung

ließ sich anhand von Sonneneinstrahlung, Zeitverlauf und Anlagenleistung durch eine Glockenkurve ermitteln, wobei die Stromeinspeisung in den frühen Morgenstunden beginnt, über den Tagesverlauf auf 100 % der Anlagenleistung läuft und ab 20 Uhr mit abnehmender Sonneneinstrahlung wieder sinkt.

Da keine expliziten Daten über die Bodenbeschaffenheiten vorlagen, wurde für eine Worst-Case-Betrachtung ein Wärmewiderstand des Bodens von 2,5m K/W abgestimmt. Dabei ist klar, dass sich hier unter Umständen weitere Reserven für die Auslastung verbergen, da die Bodenbeschaffenheit einen starken Einfluss auf die Wärmeabfuhr hat, wodurch höhere Belastbarkeiten resultieren würden.

Im Ergebnis ließ sich festhalten, dass die Berücksichtigung des Lastganges zu einer deutlich höheren zulässigen Übertragungsleistung führt. Während mit dem Ansatz nach EVU-Last mit dem Lastfaktor 0,7 der Leiterquerschnitt von 800 mm<sup>2</sup> für diese Verlegesituation zu klein ist, ergab sich für den expliziten Lastgang ein um 19 % höherer zulässiger Strom für 800 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt. Somit konnte der Querschnittssprung von 800 mm<sup>2</sup> auf 1.000 mm<sup>2</sup> und die damit verbundenen Mehrkosten vermieden werden.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Gregor Brammer

### **Ultraschalltechnologie zur Detektion kleinsten Einschlüsse in Kabelisolierungen**

Der Anteil fester Isoliermaterialien in Hochspannungsgeräten nimmt immer mehr zu. Die Hauptaufgabe des Isolationssystems besteht darin, eine sichere elektrische Isolierung über eine Lebensdauer von bis zu mehreren Jahrzehnten zu gewährleisten. Daher müssen bei der Herstellung des Isolationssystems sehr hohe Qualitätsstandards eingehalten werden, da bereits kleine Mängel die Spannungsfestigkeit und Lebensdauer drastisch reduzieren können. In den letzten Jahren hat sich die Ultraschallprüfung als geeignete Methode für die zerstörungsfreie Prüfung einer Vielzahl von Hochspannungsgeräten mit einem festen Isolationssystem erwiesen. Der wesentliche Vorteil liegt in der einfachen Probenvorbereitung für die Ultraschallprüfung und der nichtinvasiven Messung.

In der Energiekabelproduktion erfolgt die Sicherstellung der Qualität des Isoliersystems einerseits über die Stückprüfung samt TE-Messung am finalen Kabel. Ebenso werden Aufklarprüfungen zur visuellen Identifikation von kleinen Unreinheiten durchgeführt, wobei hier nur eine kleine Stichprobe einiger Zentimeter der gesamten Produktionslänge betrachtet werden kann. Basierend auf dem Ansatz, mittels Ultraschalltechnik diese Aufklarprüfung durch Ultraschallscans zu unterstützen, wurden für den Kunden entsprechende Untersuchungen an Kabelprüflingen durch die FGH durchgeführt. Im besten Fall sollte die Qualität des Extrusionsprozesses objektiv schneller und automatisiert sichergestellt werden können. Im Vergleich zur Aufklarprüfung ist beim Ultraschallscannen keine spezielle Probenvorbereitung wie das Schälen der OSL erforderlich. Zudem ist eine Erweiterung zu einem Online-Messverfahren grundsätzlich denkbar, wodurch die Qualität der gesamten Produktionslänge schon während der Produktion überwacht werden könnte.

Ein geeignetes Kabelsample in Form einer 18/30-Kabelader mit einer Isolierwanddicke von 8,6 mm wurde mit künstlichen Fehlstellen im Bereich von 0,4 - 0,1 mm Durchmesser versehen. Dabei variierte die Tiefenlage im Bereich der Mitte des Isoliersystems bis hin zur inneren Leitschicht. Nach dem automatisierten Scannen mit optimierten Prüfparametern und der Nachbearbeitung der Messdaten wurden die Ergebnisse mittels der üblichen Methoden-Amplitudenkarte (C-Scan) und Tiefenkarte (B-Scan) visualisiert. Defekte, die größer als 0,4 mm sind, konnten in der Amplitudenkarte als markante Fehlerbereiche leicht erkannt werden. Kleinere Defekte haben eine ähnliche Amplitude wie das Signalrauschen, sodass sie im C-Bild nicht direkt sichtbar waren. Mit dem B-Scan hingegen konnten alle kleinen Defekte bis zu 100 µm in jeder Tiefe erkannt werden, indem nach Veränderungen im Signalmuster gesucht wird. So ist es möglich, Fehler bis zu 100 µm zu finden.

Als Resultat lässt sich festhalten, dass der Einsatz der Ultraschalltechnologie in der Kabelproduktion das Potenzial besitzt, beispielsweise die Aufklarprüfung zu unterstützen. Die Vorteile liegen in der objektiven und reproduzierbaren Bewertung erkannter Fehlstellen und der kurzen Zeit bis zum Erhalt von Ergebnissen. Des Weiteren muss das Prüfstück aus der Produktion nicht für die Prüfung vorbereitet werden. Schälen, Entfernen des Leiters oder andere mechanische Bearbeitungen sind überflüssig.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Gregor Brammer

## Weitere Tätigkeiten

Nach den erfolgreichen Entwicklungen hinsichtlich der Fehlstellendetektion mittels Ultraschalltechnologie, gewinnt Ultraschall als zerstörungsfreie und reproduzierbare Messmethode zunehmend an Aufmerksamkeit. So werden mit Blick auf neue Isoliermaterialien in der Energiekabelindustrie zusammen mit Kabelherstellern die Grenzen der Technologie erforscht. Zudem laufen aktuelle Untersuchungen zu Grenzflächenphänomenen wie Ablösungen und verminderter Haftfähigkeit, welche in der Produktion hochspannungstechnischer Betriebsmittel eine wichtige Rolle hinsichtlich der Produktqualität darstellt. Des Weiteren steigt das Interesse an der Berechnung von Kabeltemperaturen im Betrieb weiter stark an. Für Niederspannungskabel sind bisher verwendete Berechnungstools bei speziellen Verlegesituationen – bspw. Häufung von bis zu zwanzig 4-Leiter-Kabeln – limitiert. Daher setzt sich die FGH verstärkt für die Entwicklung von FEM-Tools mit frei wählbarer Verlegegeometrie ein. Erste Implementierungen lassen frei spezifizierte Modelle erstellen, gefolgt von einer dynamischen thermischen Berechnung.

Ansprechpartner FGH ▪ Dr.-Ing. Gregor Brammer

## Abteilung Netzintegration Erzeugungsanlagen, Speicher und Ladestationen

Das Geschäftsjahr 2023 war erneut geprägt durch einen starken weiteren Anstieg der Installationen von neuen Erzeugungsanlagen, insbesondere von PV-Anlagen im unteren Leistungsbereich. Aber auch der Ausbau von Windenergieanlagen zieht weiter spürbar an.

In der Abteilung Netzintegration Erzeugungsanlagen, Speicher und Ladestationen werden für diese Anlagen neben Konformitätsuntersuchungen – unter anderem für anschließende Anlagenzertifizierungen der FGH Zertifizierungsgesellschaft – auch verstärkt elektrische Auslegungsplanungen durchgeführt, um Projektierer frühzeitig bei der normkonformen Betriebsmittelwahl und -auslegung zu unterstützen. Insbesondere bei Projektierern der Photovoltaik ist dabei zusätzlich ein hoher Beratungsbedarf in der Elektroplanung feststellbar, den die Abteilung sowohl projektbezogen als auch prozessorientiert für die Unternehmen als Ganzes anbietet. Die Unterstützung in der Auslegungsplanung schließt dabei auch die technische Planung von Umspannwerken und Überabestationen, die fernwirksame Anbindung, die Regelungs- und Schutzkonzepte sowie die Abstimmung der Gesamtplanung mit allen beteiligten Parteien ein. Abgeschlossen wird das Portfolio für Projektierer mit den im Rahmen des Konformitätsnachweises erforderlichen Inbetriebsetzungserklärungen und Schutzprüfungen. Dabei nehmen zuletzt auch die mit Einführung der neuen VDE-Anwendungsregeln im Jahr 2019 nun im Vier-Jahres-Zeitraum geforderten Wiederholungsprüfungen einen wachsenden Anteil ein.

Im Berichtszeitraum haben Projekte zur Netzanschlussplanung bzw. -bewertung großer Batteriespeicheranlagen an der Hoch- und Höchstspannungsebene deutlich zugenommen. Erfreulich ist auch, dass die Dienstleistungen zur Konformitätsbewertung von Erzeugungsanlagen auch für Projekte im europäischen Ausland, insbesondere in Österreich, wo sich die FGH ein besonderes Standing erarbeiten konnte, weiter stark ausgebaut werden konnten. In diesen Ländern werden anders als in Deutschland keine Anlagenzertifikate gefordert. Der Nachweis erfolgt entsprechend auf Basis von Netzanschlussstudien und -gutachten.

Zugleich bleibt vor dem Hintergrund des weiterhin beschleunigten Zubaus dezentraler Erzeugungsanlagen der Bedarf von Verteilnetzbetreibern, ihre Prozesse zum Netzanschlussverfahren effizient zu straffen, um dem stark wachsenden Anschlussbegehrungen zu begegnen. Hier unterstützt die FGH ihre Kunden bei der Erstellung der TABs, bei der Bearbeitung von Netzanschlussanfragen, beim Handling der Konformitätsnachweise sowie auch gezielt im Monitoring der wiederkehrenden Prüfungen. Passgenaue Workshops und Schulungen zu technischen und prozessualen Themen der Netzintegration von Erzeugungsanlagen, Speichern & Ladestationen runden das Angebot ab. Im Berichtszeitraum war die FGH dabei für eine Vielzahl von Stadtwerken, aber auch kleineren und größeren Flächenverteilnetzbetreibern aktiv. Hervorzuheben ist zudem ein Projekt für den Verband der europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E zur Unterstützung im „ACER DATA Request“, in dem die FGH für den aktuellen Bestand an Erzeugungsanlagen in den vier deutschen Regelzonen Daten zur Überprüfung der Konformität mit dem Europäischen Netzkodex NC RfG mit Blick auf Frequenzeinstellungen aufbereitet hat.

Ein gelungenes Beispiel für die anerkannte Rolle der FGH in der Branche ist ein Unterstützungsprojekt für den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), in dem die FGH gemeinsam mit der Universität Duisburg-Essen einen Diskussionsprozess zur Identifikation von Harmonisierungsansätzen bei der technischen Gestaltung von Kundenstationen für Ladesäulen in der Mittelspannungsebene organisatorisch und inhaltlich begleitet hat. Der Prozess wird beim BDEW im Auftrag des BMWK in der Umsetzung des Masterplans Ladeinfrastruktur II geführt und mündet in zwei Anwendungshilfen, an deren Ausgestaltung die FGH ebenfalls beteiligt ist.

Die Abteilung vergrößerte sich zum Ende des Berichtszeitraums auf 21 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Ein weiterer Ausbau ist in 2024 geplant.

Ansprechpartner FGH ▪ Dipl.-Wirt.-Ing. Frederik Kalverkamp

### **Abteilung Erzeugungstechnologien und Netzbetriebsmittel**

Die Abteilung Erzeugungstechnologien & Netzbetriebsmittel hat ihre Servicedienstleistungen insbesondere für Hersteller von Erzeugungseinheiten erweitert und dabei zugleich den Ausbaupfad des Bestandsgeschäfts der Vorjahre aufrechterhalten.

Erfreulich positiv hat sich dabei im Berichtsjahr das Geschäftsfeld der Einzelnachweisverfahren (ENV) entwickelt, die als eine besondere Form der Anlagenzertifizierung bei Erzeugungsanlagen ohne Einheitenzertifikat den Fokus der Nachweisführung auf die Modellierung und Vermessung im jeweiligen Kraftwerk legen. In diesem Geschäftsfeld sind gleich vier FGH-Abteilungen der FGH GmbH und der FGH Zertifizierungs-gesellschaft mbH eingebunden, wobei die Abteilung Erzeugungstechnologien & Netzbetriebsmittel eine koordinierende Rolle mit ergänzenden Beratungsdienstleistungen für den Endkunden einnimmt und die Modellierung der Erzeugungseinheiten und -anlagen durchführt. Das Geschäftsfeld hatte zuvor vor dem Hintergrund der gesamtpolitischen Lage seit Frühjahr 2022 einen leichten Einbruch erlitten, da ein Großteil dieser Erzeugungsanlagen gasbetrieben geplant sind. Im Berichtsjahr 2023 zog die Nachfrage dagegen wieder deutlich an und es konnten mehrere Abschlüsse realisiert werden. Unter anderem wurde mit der endgültigen Zertifizierung eines großen gasbetriebenen Kraftwerks, das in Deutschland als besonderes netzdienliches Betriebsmittel eingestuft ist, ein bedeutender Meilenstein erreicht, der zugleich die erstmalige vollständige ENV-Zertifizierung seitens der FGH für ein Kraftwerk am Höchstspannungsnetz darstellt.

Zum Bestandsgeschäft, das im Berichtszeitraum ebenfalls erfolgreich ausgebaut werden konnte, gehören die Grid Code- und Gap-Analysen für Hersteller von Stromerzeugungseinheiten und Speichersystemen. Hierbei analysiert die FGH internationale Netzanschlussbedingungen und – in der Regel – auch entsprechende Vorgaben an die Nachweisführung, um den Hersteller optimal auf die Anforderungen in seinen Zielmärkten,

spezifiziert nach Erzeugungstechnologie und Leistungsklasse bzw. Spannungsebene, vorzubereiten. Auf Wunsch schließen sich Gap-Analysen zum Beispiel gegenüber den deutschen VDE-Anwendungsregeln und bereits bestehenden Konformitätsnachweisen wie Typprüfungen und Einheitenzertifikate an, um dem Hersteller effiziente Wege zum Füllen ggf. bestehender Anforderungs- und Nachweislücken aufzuzeigen. Allein im Berichtszeitraum führte die mehr als 20 Grid-Code-Analysen für 16 verschiedene Länder durch.

In einer Kombination aus den langjährigen Erfahrungen aus dem in Deutschland angewandten Einelnachweisverfahren und den Anforderungen im weiteren europäischen Ausland ist ein neues Dienstleistungsangebot der Abteilung entstanden, bei dem die Hersteller und deren Endkunden insgesamt für den Netzachlussprozess in den jeweiligen Zielländern qualifiziert werden. Grundlage sind neben landesspezifischen Anforderungen hierbei insbesondere die Vorgaben aus dem europäischen Network Code RfG. Die Dienstleistungen schließen u.a. die projektspezifische Modellentwicklung und -validierung, Konformitätstudien, Unterstützungen im On-Site-Testing und deren Auswertung sowie maßgeschneiderte Beratungsdienstleistungen ein.

Hervorzuheben ist hierbei ein Projekt, in dem ein Hersteller von Dampfturbinen-basierten Stromerzeugungseinheiten unterstützt wurde, die vorübergehende Betriebserlaubnis für ein Kraftwerksprojekt in Dänemark zu erlangen. Die Abteilung entwickelte hierfür State-of-the-art-Modelle und führte Konformitätssimulationen durch, um dem Netzbetreiber in Dänemark simulationsbasierte Nachweise bereitzustellen.

In einem weiteren Leuchtturmprojekt dieses neuen Geschäftsfelds hat die Abteilung im Berichtsjahr einen Hersteller von Batteriespeichersystemen intensiv begleitet, um ihn bei der Produktentwicklung und -qualifizierung für verschiedene Länder vorzubereiten. Die Unterstützung umfasste die kontinuierliche und enge Zusammenarbeit mit mehreren Abteilungen des Herstellers sowie mit dessen Lieferanten, um Ziele für die Entwicklung festzulegen, die Entwicklungsphase fortlaufend zu überwachen und Qualitätsziele mit Hilfe von Vorabprüfungen abzusichern. Hierbei konnte sich die FGH als kompetenter und verlässlicher Partner etablieren.

Darüber hinaus schloss die Abteilung das Berichtsjahr erfolgreich mit der Ausstellung mehrerer Prüfberichte zur Netzkonformität für Kraftwerke in Schweden mit einer Gesamtkapazität von mehreren hundert MW ab.

Insgesamt ist es der Abteilung damit gelungen, sich von dem immer noch mit Unsicherheiten behafteten Geschäftsfeld des Gaskraftwerksneubaus in Deutschland und damit der Einelnachweisverfahren unabhängiger zu machen, in dem weitere hoch diversifizierte und spezialisierte Beratungs- und Modellierungsdienstleistungen für die Netzkonformität entwickelt und erfolgreich am Markt platziert werden konnten.

Die Abteilung bestand im Berichtszeitraum aus 5 Mitarbeitern. Eine weitere Verstärkung ist in 2024 geplant.

Ansprechpartner FGH ▪ M.Sc. Mansoor Ali

## Zertifizierungsgesellschaft – Prüfungen und Zertifizierungen

### Zertifizierungsstelle

Wirtschaftlich blicken wir auch in diesem Jahr auf ein sehr erfolgreiches Geschäft in allen Geschäftsbereichen zurück, getragen durch ein kontinuierliches Wachstum im Anlagengeschäft sowie stark nachgefragter Leistungen für internationale Zielmärkte. In Summe konnte so durch Personalausbau und Effizienzsteigerungen die Anzahl der ausgestellten Zertifikate um mehr als 40 % gegenüber dem Vorjahreszeitraum gesteigert werden. Neue Leistungsangebote wurden im Berichtszeitraum v.a. im Segment der Einheiten- und Komponentenzertifizierung für weitere europäische Länder entwickelt, um so das Geschäft weiter zu diversifizieren und abzusichern. Eine weiterhin überaus erfreuliche Auftragsentwicklung in allen Segmenten unterstreicht die Attraktivität der Leistungen der akkreditierten FGH-Zertifizierungsstelle und dient als solide Basis für den weiteren Wachstumskurs.

### Prüflabor und Inspektion

Im Prüflabor war das Geschäftsjahr 2023 geprägt durch eine hohe Nachfrage nach individuell maßgeschneiderten Prüfdienstleistungen im Kraftwerksbereich, wobei die Bandbreite von Geothermieanlagen über Gas- und Dampfkraftwerke mittlerer Leistung bis hin zu Großkraftwerken zur Netzstabilisierung reichte. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Vermessung der elektrischen Eigenschaften von Regeleinrichtungen auf einem eigens hierfür konstruierten mobilen Hardware-in-the-Loop-Prüfstand sowie stark nachgefragter Leistungen für internationale Zielmärkte.

### Erfolgreich Re-Akkreditierungen

Eine wichtige Grundlage hierfür stellte die erneute erfolgreiche Begutachtung der akkreditierten Stellen *Zertifizierungsstelle* und *Prüflabor* durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) dar. Im Zuge dessen konnten beide akkreditierten Stellen die Akkreditierung erfolgreich um weitere international gültige Standards erweitern und so die künftige Geschäftsentwicklung sichern.

### Forschungsaktivitäten

Im geförderten Verbundforschungsprojekt VirTuOS (Virtualisierung der Testverfahren von Windenergieanlagen durch Online-Services, Laufzeit 2023 - 2026) werden notwendige Randbedingungen bei der Virtualisierung von Prüfungen an Windenergieanlagen in Nachfolge des ebenfalls unter FGH-Beteiligung kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojektes CertBench untersucht. Die zugrunde liegende Idee ist hierbei, Teile des Gesamtsystems der realen Windenergieanlage durch Echtzeitsimulationen der fehlenden Komponenten zu ersetzen, um so den zeitlichen Testaufwand, die Flexibilität in der Testdurchführung und Reproduzierbarkeit von Messungen zu verbessern. Die Etablierung neuartiger Testprozesse für den Entwicklungs- und Zertifizierungsprozess auf Komponentenebene erfordert, dass die durchgeföhrten Experimente valide und zuverlässige Aussagen über die Eigenschaften der getesteten Komponenten zulassen. Im Forschungsprojekt soll dazu ein neuartiger Komponentenprüfstand zur Abbildung des elektrischen Verhaltens einer Windenergieanlage (maschinenseitige Emulation) und des elektrischen Netzes (netzseitige Emulation) für Umrichtertests entwickelt und hinsichtlich seiner Eignung zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften untersucht werden. Das zweite Kernziel des Projekts ist es, Echtzeitsimulationen von WEA und elektrischem Netz Internet-basiert mit dem Prüfstand zu koppeln und das Gesamtsystem als geographisch-verteilte Echtzeitsimulation zu betreiben.

Weitere in der Anbahnung befindliche Forschungsprojekte adressieren die Entwicklung autarker Konformitätsüberwachungseinrichtungen für in Betrieb befindliche Erzeugungsanlagen und Speicher sowie die Entwicklung geeigneter Nachweisverfahren für über netzbildende Umrichter leistungselektronisch netzkoppelte Anlagen im Rahmen des Verbundforschungsprojektes SysStab2030.

## Kurznachrichten – Rückblick 2023

### Beiträge zur Revision der Europäischen Network Codes

Die europäische Agentur für die Zusammenarbeit der Energieregulierungsbehörden ACER hat Ende 2023 ihre Entwurfsvorschläge Requirements for Generators (RfG) und Demand Connection Code (DCC) der Europäischen Kommission übergeben. Die FGH hat sich über ihre Stakeholderverbände stark in den vorangehenden Konsultationsprozess eingebbracht und konnte insbesondere weitergehende Festlegungen und die Präzisierung zur Betriebsmittelzertifizierung in einem eigenen Artikel einbringen. Die Europäische Kommission hat die Inkraftsetzung beider Kodizes noch in 2024 angekündigt.

### Internationales Zertifizierungsprogramm zur Grid Code Compliance veröffentlicht

Im Herbst 2023 wurde das bislang erste internationale Zertifizierungsprogramm für Netzanschlusskonformität unter dem Dach des Electrotechnical Committee for Renewable Energy (IECRE) veröffentlicht. Die OD-009 ermöglicht die Zertifizierung von Erzeugungseinheiten und deren Komponenten auf Basis von Herstellerangaben und damit eine sogenannte Capability Certification, welche dann die Basis für eine nachfolgende Zertifizierung nach nationalen Netzanschlussregeln bilden kann. Die FGH war an der Erarbeitung intensiv beteiligt und stellt ab 2024 den Convenor der Arbeitsgruppe.

### Expertengruppe legt Bericht zur Netzanschlusszertifizierung vor

Die Expertengruppe „Harmonisation of Certification“ unter dem Dach des European Stakeholder Committees bei ACER und ENTSO-E hat seinen Abschlussbericht veröffentlicht. Die FGH hatte dabei eine Subgroup geleitet, in der wesentliche Erweiterungsvorschläge für die Definition und Anwendung von Betriebsmittelzertifikaten erarbeitet worden sind, um deren Verfügbarkeit und Akzeptanz in Europa zu beschleunigen. Einige dieser Vorschläge sind in die Revisionsentwürfe für die europäischen Netzwerkkodizes eingeflossen.

### FGH durchläuft erfolgreich das Zertifizierungsaudit

Wir freuen uns sehr, auch weiterhin die Urkunde der Zertifizierung nach dem international anerkannten Standard für Informationssicherheits-Managementsysteme (ISMS) DIN EN ISO/IEC 27001:2017 in den Händen halten zu dürfen, die uns Ende 2022 erstmalig ausgestellt worden ist. Nach einem erfolgreichen Wiederholungsaudit hat uns die unabhängige und akkreditierte Zertifizierungsstelle GUTcert bestätigt, dass wir die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen innerhalb des Unternehmens umfassend schützen. Die Aufrechterhaltung stärkt das Vertrauen unserer Kunden in unsere Dienstleistungen.



Dirk Lehmann und Dr. Andreas Olbrich

### FGH auf der internationalen Leitmesse EM-Power in München

Vom 14.-16.06.2023 präsentierte die FGH an ihrem Messestand zukunftsweisende Lösungen ihrer Kompetenzlinien Energietechnische Anlagen und Prüfung & Zertifizierung. Die „EM Power“ ist eine internationale Fachmesse für Energiemanagement und vernetzte Energiesolutions und Teil der übergeordneten Veranstaltung „The Smarter E“. In zahlreichen Gesprächen hat sich das Standteam der FGH intensiv mit den Fachbesuchern vernetzt und sowohl mit Bestandskunden als auch potentiellen Neukunden einen regen Austausch geführt.

## Verleihung des Dr. Karl-Heinz Weck-Preises

Am 18.10.2023 hat die FGH e.V. zum zweiten Mal den Dr. Karl-Heinz Weck-Preis für herausragende studentische Arbeiten im Bereich der elektrischen Energietechnik verliehen. Die Auszeichnung fand im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung im historischen Trafohaus des Trafohaus e.V. in Mannheim statt.

Die Preisträger des Jahres 2023 sind:

- 1. Platz:** Enrico Graneris, High Voltage Laboratory, ETH Zürich
- 2. Platz:** Niklas David Sturm, Institut für Elektrische Energiesysteme, TU Darmstadt
- 3. Platz:** Niclas Corte, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, RWTH Aachen

Die Preisgelder, gesponsert von der Westenergie AG und der Westnetz GmbH, belaufen sich auf insgesamt 3.250 €, aufgeteilt auf 1.250 € für den ersten Platz, 1.000 € für den zweiten Platz und 750 € für den dritten Platz.

Dr. Andreas Olbrich, Vorstand des FGH e.V., würdigte die Preisträger für ihre bemerkenswerten wissenschaftlichen Beiträge zur Energiewende und hob die Bedeutung der Tugenden von Dr. Karl-Heinz Weck hervor: technischer Tiefgang, Wissen-

schaftlichkeit, Praxisbezug, Hartnäckigkeit und Pragmatismus.

Die Jury, bestehend aus Vertretern von Unternehmen und Universitäten, prüfte die eingereichten Arbeiten sorgfältig. Ein besonderer Dank geht an die Jury-Mitglieder:

- Dr.-Ing. Ulrich Groß, Rheinische NETZGesellschaft mbH
- Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Lutz Eckenroth, E.ON SE
- Dr.-Ing. Michael Schwan, Siemens AG
- Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson, Technische Universität Darmstadt
- Prof. Dr.-Ing. Albert Moser, RWTH Aachen University
- Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal
- Dr.-Ing. Annika Klettke, FGH e.V.

Die FGH zeigt sich begeistert von der wissenschaftlichen Qualität der eingereichten Arbeiten und wird den Dr. Karl-Heinz Weck-Preis auch für das nächste Jahr ausschreiben.



Preisübergabe: Dr. Groß, Enrico Graneris, Niklas David Sturm, Niclas Corte, Lutz Eckenroth, Dr. Olbrich (li. nach re.)

## Publikationen

### Vorträge

**Ahmed, S.:** FGH-Seminar „Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen in Theorie und Praxis“, 23. - 27.10. 2023, online sowie am 26. - 28.04.2023, Aachen

*Nachbildung von Betriebsmitteln*

**Ali, S. M.; Schowe-von der Breie, B.:** Konferenz „22nd Wind & Solar Integration Workshop“, 26. - 28.09.2023, Kopenhagen / Dänemark

*European Network Codes – The next generation*

**Ali, S. M.:** Konferenz „22nd Wind & Solar Integration Workshop“, 26. - 28.09.2023, Kopenhagen / Dänemark

*Common provisions of compliance simulations for grid integration of Power Park Modules (PPMs)*

**Makki, E.:** Konferenz „22nd Wind & Solar Integration Workshop“, 26. - 28.09.2023, Kopenhagen / Dänemark

*Product development challenges for grid code compliance*

**Brammer, G.; Kahlen, J. C.:** FGH-Seminar „Asset Management in Verteilungsnetzen“, 22.03. - 23.03.2023, Köln

*Blick ins Betriebsmittel – Diagnosemethoden zur Zustandsbewertung*

*Besonderheiten der Installation und Inbetriebnahme*

**Bünger, J.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online

*Im Fokus: neue technische Anforderungen in den TARs in a Nutshell*

*Neue Vorgaben aus der VDE-AR-N 4105*

**Döll, J.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online

*Anforderungen an Energiespeicher und Ladeeinrichtungen*

*Einzelnachweisverfahren – Zwischen Produkt- und Projektnachweis*

**Ewerszumrode, A.; Erle, N.; Kalisch, L.; Krahl, S.; Moser, A.:** IEWT 2023 „13. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien“, 15. --17.02.2023, Wien / Österreich

*Analyse des Potentials der Optimierung topologischer Maßnahmen anhand von linearen Sensitivitätsfaktoren*

**Kahlen, J. C.:** FGH-Seminar „Isolationskoordination - Überspannungen, Überspannungsschutz und Isolationsbemessung in Drehstromnetzen“, 09.10 - 13.10.2023, online

*Prinzipien der Isolationskoordination und Isolationsbemessung – Einführung*

**Kalverkamp, F.:** „Informationsforum TOR Erzeuger“, 09.02.2023, Wien / Österreich

*Richtlinienkonformer Netzanschluss von Stromerzeugungsanlagen – Sichere Stromversorgung von morgen:*

*Konformitätsnachweise gemäß RKS-AT*

**Kalverkamp, F.:** Branchentag Windenergie NRW, Gelsenkirchen, 20.-21.06.2023

*Stromnetze und Komponenten*

**Kalverkamp, F.:** FGH-Seminar „Grundlagen der Netzschatztechnik“, 05.12 - 07.12.2023, online

*Schutzkonzepte für Erzeugungsanlagen in MS- und HS-Netzen*

**Ledwon, S.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online

*Rechte, Pflichten, Fristen*

**Lütke-Lengerich, C.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online

*Anlagenberechnung und -zertifizierung und EZA-Modelle*

*Behandlung von Prototypen-Anlagen*

**Rauber, J.:** „Informationsforum TOR Erzeuger“, 09.02.2023, Wien / Österreich  
*Richtlinienkonformer Netzanschluss von Stromerzeugungsanlagen – Sichere Stromversorgung von morgen:  
Anschluss und Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen gemäß TOR*

**Schowe-von der Brelie, B.:** Konferenz „Windenergietage (Spreewind) 2023“, Forum 16 – Internationale Märkte,  
10.11.2023, Potsdam  
*European Network Codes 2.0 – The next generation of European Network Codes is coming up*

**Schowe-von der Brelie, B.:** Konferenz „15. Branchentag Windenergie NRW“, Workshop „Zukunft der Netze“,  
20.06.2023, Gelsenkirchen  
*Aktuelle Entwicklungen zum Netzanschluss – Neue europäische Vorgaben am Horizont und kurzfristige Änderungen in  
den deutschen TARS*

**Schowe-von der Brelie, B.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an  
elektrischen Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online sowie am 27. - 28.09.2023, Köln  
*Aktuelle Richtlinien zur Anschlussbeurteilung von Erzeugungsanlagen  
Grid Code Zertifizierung – Eine Einführung  
Einheiten- und Komponentenzertifikate als Basis der weiteren Nachweisführung*

**Waldorf, F.:** FGH-Seminar „Nachweis- und Zertifizierungsverfahren für Erzeugungsanlagen an elektrischen  
Verteilungsnetzen“, 28.02. - 09.03.2023, online  
*Prozesse für die Inbetriebsetzung und Konformitätserklärung  
Compliance Monitoring und wiederkehrende Prüfungen*

**Ziegeldorf-Wächter, J.:** FGH-Seminar "FNN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik - Erfassung und Auswertung",  
14. - 15.02.2023, Mannheim  
*Nutzen und Anwendung der Störungsstatistik  
Auswertung der Verfügbarkeitsstatistik*

## Veröffentlichungen

**Ali, S. M.; Schowe-von der Breie, B.:** European Network Codes – The next generation. 22nd Wind & Solar Integration Workshop, 26. - 28.09.2023, Kopenhagen / Dänemark, Proceedings, IET Digital Library and IEEE Explore

**Brammer, G.; Lemmerz, F.; Planic, M.:** Nondestructive ultrasound technology for quality assurance in power cable production. Jicable, Lyon / Frankreich, Postersession, 19.06.2023

**Düvel, B.; Lutz, B.; Kuschel, M.; Dürr, T.; Wersching, K.; Kallweit, R.; Badicu, L.-V.; Schramm, J; Linossier J.P.; Groß, U.; Schröder, A.:** SF6- freie gasisolierte Schaltanlagen – Lösungen von Herstellern und Umrüststrategien von Netzbetreibern. ew 4/2023, S. 48-51

**Meuser, M.:** Foundations for the Future Power System: Inverter-Based Resource Interconnection Standards. IEEE Power and Energy Magazine, Volume 22, Issue 2, March/April 2024, 42-54

**Vanselow, A.; Garn, T.; Moser, A.; Engel, B.:** Analysing the impact of operating strategies of active customers on flicker and voltage unbalance. 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023), Rome / Italy, 2023, pp. 2198-2202, doi: 10.1049/icp.2023.1205

**Vanselow, A.; Kalisch, L.; Krahl, S.; Moser, A.:** Simulation and comparison of the impact of different price tariffs on grid utilization. 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023), Rome / Italy, 2023, pp. 3150-3155, doi: 10.1049/icp.2023.0892

**Vanselow, A., Krahl, S., Moser, A., Fröhlich, C., Wirtz, C.:** Simulation and analysis of a congestion management utilizing load-side flexibilities within the distribution grid. 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 1-5

**Wirtz, C.; Murglat, M.; Krahl, S.; Moser, A.:** Analysis and modelling of temporary overvoltage events and comparison with overvoltage ride through requirements. 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023), Rome / Italy, 2023, pp. 1150-1154, doi: 10.1049/icp.2023.0668

**Wirtz, C.; Weßelmann, M.; Murglat, M.; Vanselow, A.; Krahl, S.; Moser, A.:** A Switch Model for Emulation of Zero Current Switching in Dynamic Phasor. 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 1-5

## Gremienarbeit

### Mitarbeit in internationalen Normungsgremien

Neben ihrer klassischen Aufgabe, der Abwendung von Gefahren bei der Erzeugung, Verteilung und Anwendung elektrischer Energie, hat die Normung im Rahmen der Vollendung des europäischen Binnenmarktes zusätzliche Bedeutung erlangt, indem sie einheitliche Standards setzt und somit Markteintrittsbarrieren vermindert oder vermeidet. Die europäische Gemeinschaftspolitik verleiht ihr die Rolle eines Instruments bei der Erfüllung wesentlicher Anforderungen aus europäischen Rechtsetzungsakten.

Eine Einflussnahme auf die Entstehung und Weiterentwicklung von Normen ist hierbei nur noch durch Mitarbeit in internationalen Gremien möglich. Knapp 80 % der Europäischen Normen (EN) werden in weitgehender Anlehnung an internationale Festlegungen der IEC herausgegeben. Etwa 20 % der Europäischen Normen wurden von der CENELEC eigenständig erarbeitet. Rein nationale Normen sind nur noch auf Sonderfälle beschränkt. Angesichts dieser Situation ist eine Beteiligung an den internationalen Normungsaktivitäten unumgänglich, um die berechtigten Interessen der deutschen Energieversorgungsunternehmen und der Industrie zu sichern.

Die derzeitigen strukturellen Veränderungen und Rationalisierungsbestrebungen in unseren Mitgliedsunternehmen haben jedoch leider zu einem spürbaren Rückgang der deutschen Beteiligung an der internationalen Normungsarbeit geführt. An dieser Stelle trägt der Satzungsauftrag der FGH, die Normungsarbeit aktiv mitzugestalten, direkt zum Mitgliedernutzen bei.

Bereits in den zurückliegenden Jahren hat die FGH auf Gebieten ihrer Kompetenzen die Interessen ihrer Mitgliedsunternehmen tatkräftig und erfolgreich vertreten. FGH-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in einer Vielzahl von Arbeitsgremien, insbesondere aber auch an exponierter Stelle in den Lenkungsgremien tätig. Die FGH betrachtet dies als eine für ihre Mitgliedsunternehmen erbrachte Dienstleistung und ist gerne bereit, im Rahmen ihrer personellen Möglichkeiten zusätzliche Verantwortung zu übernehmen. Die FGH sieht diese Aktivitäten zugleich als ein hervorragendes Beispiel, wie durch gemeinschaftlich getragene Aktivitäten kostengünstige Lösungen erreicht werden können. In den vergangenen Jahren haben hierbei insbesondere nationale wie internationale Gremien im Kontext der Netzintegration von Erzeugungsanlagen eine wachsende Bedeutung erfahren.

## Standardisierung

CLC TC8X, WG003	Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks	B. Schowe-von der Brelie
DKE K 121	Kurzschlussströme	J. Sichermann
DKE UK 121.1	Kurzschluss-Strom-Berechnung	J. Sichermann
DKE UK 261.1	Elektrische Energiespeichersysteme	J. Döll (Gast)
DKE AK 261.0.1	Prüfgrundsätze für die VDE-AR-N4105	M. Brennecke J. Döll
DKE AK 952.0.10	Kommunikation und Modellierung	M. Zanner
DKE K 383	Windenergieanlagen	M. Brennecke
DKE K 434	Messrelais und Schutzeinrichtungen	J. Bünger
IEC TC 57 WG 10	Power system control and associated communications – Power system IED communication and associated data models	M. Zanner
IEC TC 88, MT 21	Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines	M. Brennecke
IEC TC 88, WG 27	Electrical simulation models for wind power generation	M. Brennecke
IECRE, REMC WG 010	Grid Code Compliance	B. Schowe-von der Brelie (Convenor)

## Verbände, Behörden und Wissenschaftliche Vereinigungen

ACER/ENTSO-E	European Stakeholder Committee on Grid Connection	B. Schowe-von der Brelie
BMWK	AG Systemsicherheit der Plattform „zukunftsfähige Energienetze“	S. Krahl B. Schowe-von der Brelie
BWE	Arbeitskreis Netze	S. Ledwon
CIRED	Deutsches Komitee	D. Schacht
DAkkS	Expertenrat Erneuerbare Energien	M. Meuser
ENTSO-E	Expert Group Harmonization of Product Family Grouping and Acceptance of Equipment Certificates in European Level	B. Schowe-von der Brelie
ENTSO-E	Technical Group Compliance Monitoring and Compliance Testing	B. Schowe-von der Brelie
FGW	FA Elektrische Eigenschaften	M. Meuser
FGW TR3	Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz	J. Döll
FGW TR8	Arbeitsgruppe Komponenten	J. Döll
FGW TR8	Arbeitsgruppe Speicherzertifizierung	J. Döll
FGW FAEE	Arbeitsgruppe Zertifizierungsstellen	C. Lütke-Lengerich
FGW TR8	Arbeitskreis Zertifizierungsverfahren	M. Meuser (Vorsitz) B. Schowe-von der Brelie
FGW TR8	Technische Konformitätsbewertung	M. Brennecke (Vorsitz)
FGW TR10	Arbeitskreis Methodik	C. Docktor
FGW TR10	Fachausschuss Betriebsdaten & Standortertrag	C. Docktor
FGW UG	Treffen der Messinstitute	M. Brennecke
FNN im VDE	Arbeitsgruppe EN-Netzschutz	J. Bünger
FNN im VDE	Expertennetzwerk Europäische Netzcodes	B. Schowe-von der Brelie
FNN im VDE	Projektgruppe Automatische Letztmaßnahmen	S. Krahl
FNN im VDE	Projektgruppe Einflussgrößen auf die Versorgungszuverlässigkeit (derzeit ruhend)	S. Krahl J. Ziegeldorf-Wächter
FNN im VDE	Projektgruppe Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz	M. Schoeneberger
FNN im VDE	Projektgruppe Störungsstatistik	J. Ziegeldorf-Wächter T. Honné

FNN im VDE	Projektgruppe TAR Hochspannung / VDE-AR-N 4120	M. Meuser
FNN im VDE	Projektgruppe Umsetzung Spitzenkappung	S. Krahlf
LEE e.V.	Landesverband Erneuerbare Energien NRW, Regionalverband Köln/Rheinland	B. Schowe-von der Brelie (Beisitzer Vorstand)
VAZ e.V.	Fachgruppe Netzintegration Erneuerbarer Energien	B. Schowe-von der Brelie (Leitung)
VAZ e.V.	Verband akkreditierter Zertifizierungsstellen	B. Schowe-von der Brelie (Beisitzer Vorstand)
VIK	Projektgruppe Kennzahlen in Industrienetzen (derzeit ruhend)	T. Honné J. Ziegeldorf-Wächter
WindEurope	Working Group Electrification	F. Kalverkamp
WindEurope	Working Group System Integration	F. Kalverkamp

## Mitglieder

### Übertragungsnetzbetreiber

50Hertz Transmission GmbH, Berlin

Amprion GmbH, Dortmund

TenneT TSO GmbH, Bayreuth

TransnetBW GmbH, Stuttgart

## Verteilnetzbetreiber & Infrastruktur Betreiber

AVU Netz GmbH, Gevelsberg

CURRENTA GmbH & Co. OHG, Leverkusen

e-netz Südhessen AG, Darmstadt

E.ON SE, Essen mit den Töchtern

- Avacon AG, Helmstedt
- Avacon Netz GmbH, Helmstedt
- Bayernwerk AG, Regensburg
- Bayernwerk Netz GmbH, Regensburg
- Celle-Uelzen Netz GmbH, Celle
- E.DIS AG, Fürstenwalde
- E.DIS Netz GmbH, Fürstenwalde
- HanseWerk AG, Quickborn
- LSW Netz GmbH & Co. KG, Wolfsburg
- Schleswig-Holstein Netz AG, Quickborn

Energienetze Offenbach GmbH, Offenbach

seit 1. Dezember 2023

EWE NETZ GmbH, Oldenburg

LEW Verteilnetz GmbH, Augsburg

MVV Netze GmbH, Mannheim

N-ERGIE Netz GmbH, Nürnberg

NEW Netz GmbH, Mönchengladbach

seit 1. Dezember 2023

NRM Netzdienste Rhein-Main GmbH, Frankfurt am Main

seit 1. Dezember 2023

Regionetz GmbH, Aachen

RheinEnergie AG, Köln

Städtische Werke Netz + Service GmbH, Kassel

seit 1. Dezember 2023

SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG, München

Vorarlberger Energienetze GmbH, Bregenz / Österreich

wesernetz Bremen GmbH, Bremen

Westnetz GmbH, Dortmund

WSW Netz GmbH, Wuppertal

## **Elektroindustrie & Infrastruktur Services**

BKW Infra Services Europa SE, Radebeul

Elektrotechnische Werke Fritz Driescher & Söhne GmbH, Moosburg

Fritz Driescher KG Spezialfabrik für Elektrizitätswerksbedarf GmbH & Co., Wegberg

Hitachi Energy Germany AG, Mannheim

Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg

NKT Group GmbH, Köln

seit 1. Dezember 2023

OMEXOM Umspannwerke GmbH, Berlin

seit 1. Juni 2023

PFISTERER Insulators Wunsiedel GmbH, Wunsiedel

PFISTERER Kontaktsysteme GmbH, Winterbach

Schneider Electric GmbH, Seligenstadt

Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Erlangen

SPIE SAG GmbH, Langen

Tyco Electronics Raychem GmbH, Ottobrunn

## Think Tanks & Consultants & Software

BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Aachen

CONSENTEC GmbH, Aachen

IPH Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik“ GmbH, Berlin

PSI Software SE, Berlin

SOPTIM AG, Aachen

umlaut Energy GmbH, Aachen

## Korrespondierende Mitglieder

Bauer, Hartmut, Doz. Dr.-Ing., Dresden

Harnischmacher, Georg, Prof. Dr.-Ing., Olpe

Hinrichsen, Volker, Prof. Dr.-Ing., Darmstadt

Lindmayer, Manfred, Prof. Dr.-Ing., Braunschweig

Meyer, Ernst-Peter, Prof. Dr.-Ing., Kempten

Möller, Klaus, Prof. Dr.-Ing., Aachen

Oeding, Dietrich, Prof. Dipl.-Ing., Ober-Ramstadt

Schegner, Peter, Prof. Dr.-Ing., Dresden

Schneider, Karl-Heinz, Prof. Dr.-Ing., Heddesheim

## Präsidium

Dipl.-Ing. Wilfried Breuer  
Mitglied der Geschäftsführung  
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg

Präsident

Dipl.-Ing. Pascal Daleiden  
Vorstandsvorsitzender  
Hitachi Energy Germany AG, Mannheim

Dr.-Ing. Frank Golletz  
Technischer Geschäftsführer  
50Hertz Transmission GmbH, Berlin

stellv. Präsident

Dr.-Ing. Ulrich Groß  
Technischer Geschäftsführer  
Rheinische NETZGesellschaft mbH, Köln

Dr.-Ing. Alexander Montebaur  
Vorstandsvorsitzender  
E.DIS AG, Fürstenwalde/Spree

## Verwaltungsrat

Dipl.-Ing. Sven Behrend  
Geschäftsführender Direktor / CEO  
BKW Infra Services Europa SE, Radebeul

Dipl.-Ing. Wilfried Breuer  
Mitglied der Geschäftsführung  
Maschinenfabrik Reinhäusen GmbH, Regensburg

Präsident

Dipl.-Ing. Pascal Daleiden  
Vorstandsvorsitzender  
Hitachi Energy Germany AG, Mannheim

Dipl.-Ing. Albrecht Driescher  
Geschäftsführer  
Fritz Driescher KG Spezialfabrik für Elektrizitätswerksbedarf GmbH & Co., Wegberg

Dipl.-Ing. (TU) Stefan Dworschak  
Geschäftsführer  
SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG, München

Dr.-Ing. Frank Golletz  
Technischer Geschäftsführer  
50Hertz Transmission GmbH, Berlin

stellv. Präsident

Dr.-Ing. Ulrich Groß  
Technischer Geschäftsführer  
Rheinische NETZGesellschaft mbH, Köln

Dipl.-Ing. Michael Jesberger  
Geschäftsführer  
TransnetBW GmbH, Stuttgart

Dr. Ulf Katschinski  
Vice President SE GT PRM  
Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Erlangen

Dr. rer. nat. Urban Keussen  
Technischer Vorstand  
EWE Aktiengesellschaft, Oldenburg

Dipl.-Ing. Holger Klein  
Technischer Geschäftsführer  
e-netz Südhessen AG, Darmstadt

Dr. Konstantin Kurfiss  
Mitglied des Vorstands  
PFIISTERER Holding AG; Winterbach

Dipl.-Ing. Tim Meyerjürgens  
Geschäftsführer  
TenneT TSO GmbH, Bayreuth

Dr.-Ing. Alexander Montebaur  
Vorstandsvorsitzender  
E.DIS AG, Fürstenwalde/Spree

Dr.-Ing. Hendrik Neumann  
CTO  
Ampriion GmbH, Dortmund

Dipl.-Ing. Florian Pavel  
Geschäftsführer  
MVV Netze GmbH, Mannheim

Dipl.-Ing. Peter Pfannenstiel  
Mitglied der Geschäftsleitung  
SPIE Deutschland & Zentraleuropa GmbH, Ergolding

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. Ulrich Rüdiger  
Rektor  
RWTH Aachen University, Aachen

Dr.-Ing. Patrick Wittenberg  
Geschäftsführer  
Westnetz GmbH, Dortmund

## Forschungsbeirat

Entsprechend ihrer Satzung (Artikel 10, Ziffer 4) wird die FGH auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung durch einen Forschungsbeirat unterstützt.

Der Forschungsbeirat entscheidet anhand der Aktualität der Problemstellungen, unserer technischen Möglichkeiten und personellen Kapazitäten über die Aufnahme neuer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und legt die Programme fest.

Bei Projekten der Gemeinschaftsforschung, für die Fördermittel des Bundeswirtschaftsministeriums über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) beantragt werden, bestätigt der Forschungsbeirat durch sein Votum der AiF gegenüber, dass die zu erwartenden Ergebnisse einen wirtschaftlichen Nutzen und eine sinnvolle Ergänzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse darstellen.

Der Forschungsbeirat begleitet laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und unterstützt nach ihrem Abschluss die Umsetzung der erzielten Ergebnisse in die Praxis. Zu diesem Zweck pflegt der Forschungsbeirat intern und mit den Mitgliedsunternehmen der FGH einen intensiven Erfahrungsaustausch. Hierzu gehören u.a. alle Veranstaltungen, die die Forschungsvereinigung in der Fachöffentlichkeit durchführt.

### Zusammensetzung des Forschungsbeirats

Dipl.-Ing. Stefan Bernards  
Fritz Driescher KG, Spezialfabrik für Elektrizitätswerksbedarf GmbH & Co. Wegberg

Dr.-Ing. Markus Brandl  
e-netz Südhesse AG, Darmstadt

Dipl.-Ing. Hannes Buzanich  
Vorarlberger Energienetze GmbH, Bregenz / Österreich

Dipl.-Ing.(FH) Thomas Bruch  
N-ERGIE Netz GmbH, Nürnberg

Dr.-Ing. Arefeh Danesh Shakib  
Hitachi Energy Germany AG, Mannheim

Dr. Frank Drumm  
Tyco Electronics Raychem GmbH, Ottobrunn

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Lutz Eckenroth  
E.ON SE, Essen

Dr.-Ing. Wolfgang Fritz  
CONSENTEC GmbH, Aachen

Dr.-Ing. Ulrich Groß  
Rheinische NETZGesellschaft mbH, Köln

Vorsitz

Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson  
Technische Universität Darmstadt, Darmstadt

Dr.-Ing. Christian Hille  
umlaut energy GmbH, Aachen

Dr. Christian Hurm  
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg

Dipl.-Ing. Bernd Jauch  
TransnetBW GmbH, Stuttgart

Dipl.-Ing. Tobias Küter  
ENGIE Impact GmbH, Berlin

Dr. Dirk Kunze  
50Hertz Transmission GmbH, Berlin

Prof. Dr.-Ing. Albert Moser  
RWTH Aachen University, Aachen

Dr.-Ing. Andreas Nolde  
BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Aachen

Dipl.-Ing. André Osterholt  
MVV Netze GmbH, Mannheim

stv. Vorsitz

Dr.-Ing. Oliver Scheufeld  
SOPTIM AG, Aachen

Dr. Martin Scheufen  
Amprion GmbH, Dortmund

Dipl.-Ing. Ralf Schlosser  
SPIE SAG GmbH, Langen

Jörg Michael Schmidt  
TenneT TSO GmbH, Bayreuth

Dr.-Ing. Christian Schröders  
CURRENTA GmbH & Co. OHG, Dormagen

Dr.-Ing. Michael Schwan  
Siemens AG, Erlangen

Prof. Dr. sc. Andreas Ulbig  
RWTH Aachen University, Aachen

Dr.-Ing. Enno Wieben  
EWE NETZ GmbH, Oldenburg

Dr.-Ing. Frank Wirtz  
Bayernwerk Netz GmbH, Regensburg

Dr.-Ing. Michael Wolf  
PSI Software AG, Aschaffenburg

Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek  
Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

## Arbeitskreis

Der Forschungsbeirat wird durch das **Netzwerk „Energiesystem-Experten“ (NESE)** – bisher bekannt unter dem Namen **AKEI (Arbeitskreis ENERGIE-INFORMATIONSTECHNOLOGIE)** – unterstützt, das spezielle abgegrenzte Themenkomplexe detailliert bearbeitet und entsprechende Vortrags-, Diskussions- und Weiterbildungsveranstaltungen, z.B. die erfolgreichen FGH-Seminare, initiiert und unterstützt.

### Namensänderung und Überarbeitung der Satzung

Die Anpassung des Namens erfolgte aufgrund geänderter thematischer Schwerpunkte und Herausforderungen vor dem Hintergrund der Neuausrichtung der elektrischen Energieversorgung.

Auch die Satzung des Arbeitskreises wurde überarbeitet. So hat NESE die folgenden Aufgaben:

- Förderung der Weiterentwicklung der elektrischen Energiesysteme durch Schaffung von Plattformen für den Erfahrungs- und Informationsaustausch unter Fachleuten und den Wissenstransfer für die Mitgliedsunternehmen der FGH und zwischen den Mitgliedsunternehmen der FGH.
- Information der Fachöffentlichkeit durch FGH-Fachinformations- und Weiterbildungs-Veranstaltungen. Weiterbildung der Mitarbeiter der FGH-Mitgliedsunternehmen durch FGH-Weiterbildungs-Veranstaltungen.
- Impulsgeber sein für neue Forschungsthemen, welche an den Forschungsbeirat der FGH weitergeleitet werden.

Weitergehende Informationen zum NESE finden sich auf der Homepage der FGH unter

<https://www.fgh-ma.de/de/ueber-uns/organisation/fgh-ev/nese>

### Zusammensetzung des NESE

Dr.-Ing. Laurentiu-Viorel Badicu  
TransnetBW GmbH, Stuttgart

Dr.-Ing. Markus Brandl  
e-netz Südhesse AG, Darmstadt

Vorsitz

Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Draxler  
KNG-Kärnten Netz GmbH, Klagenfurt / Österreich

Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson  
Technische Universität Darmstadt, Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Michael Igel  
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Dr.-Ing. Kevin Kotthaus  
Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Andreas Moermann  
PSI Software SE, Aschaffenburg

Dr.-Ing. Markus Obergünner  
Westnetz GmbH, Wesseling

Dipl.-Ing. Dieter Quadflieg  
Forum Netztechnik/Netzbetrieb des VDE (FNN), Berlin

Dr.-Ing. Thomas Schlegel  
Maschinenfabrik Reinhäusen GmbH, Erfurt

Dr. rer. nat. Matthias Ulrich  
CAIGOS GmbH, Ettlingen

Prof. Dr.-Ing. Hendrik Vennegeerts  
Universität Duisburg-Essen, Essen

Dr.-Ing. Thomas Weber stellv. Vorsitz  
Schneider Electric GmbH, Seligenstadt

## Jahresabschluss

### Bilanz zum 31. Dezember 2023

#### Aktiva

	<b>31.12.2023</b>	<b>31.12.2022</b>
	EUR	EUR
<b>A. ANLAGEVERMÖGEN</b>		
<b>I. Immaterielle Vermögensgegenstände</b>		
1. Entgeltlich erworbene Konzessionen, gewerbliche Schutzrechte und ähnliche Rechte und Werte sowie Lizenzen an solchen Rechten und Werten	8.080	8.719
<b>II. Sachanlagen</b>		
1. Grundstücke, grundstücksgleiche Rechte und Bauten einschließlich der Bauten auf fremden Grundstücken	7.724	7.724
2. Technische Anlagen und Maschinen	104.369	113.941
3. Andere Anlagen, Betriebs- und Geschäftsausstattung	219.378	72.585
	<b>331.471</b>	<b>194.250</b>
<b>III. Finanzanlagen</b>		
1. Anteile an verbundenen Unternehmen	314.850	314.850
<b>Summe Anlagevermögen</b>	<b>654.401</b>	<b>517.819</b>
<b>B. UMLAUFVERMÖGEN</b>		
<b>II. Forderungen und sonstige Vermögensgegenstände</b>		
1. Forderungen aus Lieferungen und Leistungen	1.833	518.836
2. Forderungen gegen verbundene Unternehmen	1.909.600	1.257.389
3. sonstige Vermögensgegenstände	12.280	2.668
	<b>1.923.713</b>	<b>1.778.894</b>
<b>III. Kassenbestand, Bundesbankguthaben, Guthaben bei Kreditinstituten und Schecks</b>		
	<b>2.862.323</b>	<b>2.826.988</b>
<b>Summe Umlaufvermögen</b>	<b>4.786.036</b>	<b>4.605.882</b>
<b>C. RECHNUNGSABGRENZUNGSPOSTEN</b>	<b>20.826</b>	<b>19.895</b>
<b>Bilanzsumme Aktiva</b>	<b>5.461.263</b>	<b>5.143.596</b>

	<b>Passiva</b>	
	<b>31.12.2023</b>	<b>31.12.2022</b>
	EUR	EUR
<b>A. EIGENKAPITAL</b>		
Vereinskapital		
I. Gewinnrücklage	2.700.879	2.535.453
<b>Summe Eigenkapital</b>	<b>2.700.879</b>	<b>2.535.453</b>
<b>B. RÜCKSTELLUNGEN</b>		
1. Steuerrückstellungen	17.487	22.009
2. Sonstige Rückstellungen	1.603.562	1.478.945
	<b>1.621.048</b>	<b>1.500.954</b>
<b>C. VERBINDLICHKEITEN</b>		
1. Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen	15.393	25.143
2. Verbindlichkeiten gegenüber verbundenen Unternehmen	515.784	192.153
3. Sonstige Verbindlichkeiten	608.160	889.893
<b>Summe Verbindlichkeiten</b>	<b>1.139.336</b>	<b>1.107.189</b>
<b>Bilanzsumme Passiva</b>	<b>5.461.263</b>	<b>5.143.596</b>

## Gewinn- und Verlustrechnung

	2023 ABSCHLUSS (EUR)	2022 ABSCHLUSS (EUR)
<b>1. Umsatzerlöse</b>	<b>3.477.800</b>	<b>3.269.050</b>
Mitgliedsbeiträge	710.700	705.000
Auftragsforschung	664.300	888.200
Öffentliche Zuschüsse	647.900	598.000
Wissenschaftliche Veranstaltungen	732.600	417.000
Weiterbelastungen Intercompany	707.700	646.000
Sonstige	14.600	14.850
<b>2. Bestandsveränderungen (+/-)</b>	<b>0</b>	<b>-9.750</b>
<b>GESAMTLEISTUNG</b>	<b>3.477.800</b>	<b>3.259.300</b>
<b>3. Direkte Projektkosten</b>	<b>-718.800</b>	<b>-623.200</b>
<b>ROHERTRAG</b>	<b>2.759.000</b>	<b>2.636.100</b>
<b>4. Sonstige betriebliche Erträge</b>	<b>65.400</b>	<b>61.700</b>
<b>5. IPV</b>	<b>544.000</b>	<b>544.000</b>
<b>6. Personalaufwand</b>	<b>-2.956.700</b>	<b>-2.906.100</b>
Löhne und Gehälter	-2.445.600	-2.283.250
Sonstige Abgaben u. Aufwand für Altersvorsorge	-511.100	-622.850
<b>7. Abschreibungen</b>	<b>-40.100</b>	<b>-31.300</b>
<b>8. Sonstige Aufwendungen für Vereinsbetrieb</b>	<b>-806.200</b>	<b>-855.900</b>
Verwaltungsnebenkosten	-234.400	-283.200
IPV durchlaufender Posten	-544.000	-544.000
Reisekosten	-27.800	-28.700
<b>9. Erträge aus Beteiligungen</b>	<b>600.000</b>	<b>600.000</b>
<b>10. Steuern vom Einkommen und Ertrag</b>	<b>0</b>	<b>-3.500</b>
<b>ERGEBNIS NACH STEUERN</b>	<b>165.400</b>	<b>45.000</b>
<b>11. Sonstige Steuern</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>JAHRESÜBERSCHUSS</b>	<b>165.400</b>	<b>45.000</b>