

ETG *journal*

Energietechnische
Gesellschaft im VDE (ETG)

SYSTEMSTABILITÄT
trotz hohem Anteil an Erneuerbaren Energien

SICHERN SIE SICH DIE NEUESTE VERSION DER WELTWEIT FÜHRENDEN NETZBERECHNUNGS SOFTWARE

POWERFACTORY

DIE VERSION 2022 IST JETZT VERFÜGBAR!

- Ein neues **Künstliche Intelligenz** Modul ermöglicht das Training von neuronalen Netzen für extrem schnelle Ergebnisabschätzungen bei Quasi-Dynamischen Simulationen
- Generische **RMS- und EMT-Co-Simulation** mit anderen Simulationsprogrammen, basierend auf dem weitverbreiteten FMI Standard, mit optionaler Verschlüsselung
- Unterstützung von Modelica als Modellierungssprache für zeitdiskrete Modelle mit digitalen Reglern und Berechnungsalgorithmen
- Eine neue Funktion zur optimalen Platzierung von AWE innerhalb des Moduls **Zuverlässigkeitsanalyse** – mit entsprechend ausgewählten Zielfunktionen werden verbesserte Zuverlässigkeitskennzahlen erreicht
- Erweiterung des **Schutzkoordinationsassistenten**, der nun sowohl Distanz- als auch Überstromschutz unterstützt
- Neue Ansichten für den **Varianten Manager** mit zusätzlichen Filteroptionen, die Vergleiche und Änderungen auf Objekt- und Attributbasis ermöglichen

Neugierig geworden? Weitere Informationen zu PowerFactory 2022 finden Sie im Dokument "What's New in PowerFactory 2022".



Für weitere Informationen besuchen Sie:
www.digsilent.de/2022pf
In mehr als 160 Ländern tätig.

POWER SYSTEM SOLUTIONS
MADE IN GERMANY

Liebe ETG Mitglieder,



hier ist sie, die erste Ausgabe unseres ETG *journals* im Jahr 2022! Ihnen allen noch die besten Wünsche für das (gerade noch so) neue Jahr – vor allem Gesundheit und Erfolg! Und zunächst einmal viel Freude, sowie hoffentlich den ein oder anderen Denkanstoß, bei der Lektüre...

Neues Jahr, Gesundheit, Erfolg... Zum Redaktionsschluss für dieses Editorial, Mitte November 2021, sieht es sehr danach aus, dass uns leider eher „alte“ und nicht besonders erfolgreiche Themen auf Trab halten.

Die Corona-Pandemie ist, trotz aller zwischenzeitlichen Fortschritte, offensichtlich alles andere als ausgestanden – gerade erreichen die Inzidenzwerte ein Allzeit-Hoch nach dem nächsten. Mit all den Themen in der Öffentlichkeit und „im Großen“, wie wir sie mittlerweile zur Genüge kennen... und auch mit all den Herausforderungen im eher „Kleinen“, wie z.B. den Einschränkungen für persönliche Treffen und Veranstaltungen auch im beruflichen/fachlichen Bereich. Als aktive Expertin oder aktiver Experte im Netzwerk der ETG, und/oder als Interessierte oder Interessierter an ETG Veranstaltungen kennen und sehen sie die fortwährenden Auswirkungen auf unsere Arbeit. Nach wie vor gilt: Sicherheit und Gesundheit stehen an erster Stelle, was also weiterhin einen Fokus auf virtuelle, bestenfalls hybride Sitzungen und Veranstaltungen bedeutet. Wie schon mehrfach beschrieben, hat dies ja auch einzelne Vorteile in Bezug auf Flexibilität oder vermiedene Reisezeiten und -kosten. Aber gegen Ende des zweiten Pandemiejahres darf man auch ruhig einmal feststellen und aussprechen: Es ist anstrengend, und der persönliche Kontakt fehlt! Umso mehr noch einmal ein expliziter Dank an alle Aktiven in VDE und ETG, ehren- wie hauptamtlich, dass wir den Großteil unserer Aktivitäten am Laufen halten können, und zwar mit beachtlichen Ergebnissen! Der Lichtblick aktuell: Die Chancen, dass wir gegen Frühjahr 2022 wirklich die pandemische bzw. endemische Lage beenden können (nicht: das Corona-Thema komplett zu den Akten legen), stehen deutlich besser als im Frühjahr 2021. Ich hoffe sehr, dass sich diese Einschätzung bis zum Erscheinungsdatum unseres ETG *journals* deutlich verfestigt haben wird...

Ein zweiter Themenkomplex, der aktuell hoch im Kurs steht: Klimawandel, Energiewende, Energiemärkte und insbesondere -preise. Die Frage, ob es in diesem Themenkomplex Erfolge zu verbuchen gibt oder eher nicht, wird von verschiedenen Gruppen ja sehr kontrovers beurteilt. Zugegebenermaßen, es ist auch ein sehr großer Themenkomplex, den wir in der fachlichen Arbeit, auch in der ETG, natürlich schon seit Langem kennen – und wissen, dass er auch über längere Zeit noch sehr bestimmend sein wird. Neue Aspekte gibt es in Bezug auf die Wahrnehmung dieses Themenkomplexes in der öffentlichen Diskussion. Die bisher, aus Sicht der Öffentlichkeit, eher abstrakten Energiemärkte greifen plötzlich merklich

ins eigene Portemonnaie, vor allem aufgrund der Preissprünge bei Erdgas – hoffen wir mal, dass sich diese Kapriolen in den nächsten Wochen wieder beruhigt haben. Die Koalitionsverhandlungen unserer deutschen Ampelparteien sind noch am Laufen, und Klimaschutz in direkter Verbindung mit Energie, Sektorenkopplung und natürlich den zugehörigen Kosten bzw. Investitionen sind ein großes Thema. Hoffen wir hier, dass bis zur Lektüre eine starke, neue Bundesregierung längst im Amt und tatkräftig am Regieren ist – an Herausforderungen mangelt es ja nicht. Zuletzt greife ich hier noch die UN-Klimakonferenz „COP26“ in Glasgow auf, die in dieser Woche des Redaktionsschlusses enden wird. Hoffen wir hier, dass es zu konkreten Beschlüssen und vor allem konkreten Maßnahmen in der Umsetzung kommt, die auch bis zur Lektüre und darüber hinaus Bedeutung und Bestand haben werden!

Diese zunehmende, und hoffentlich nicht gleich wieder versandende Diskussion von energietechnischen und -wirtschaftlichen Fragen ist wichtig, weil ja tatsächlich weitreichende Entscheidungen zu treffen sind – und zwar möglichst schnell. Schnelle Entscheidungen helfen hier übrigens nicht nur dem Klima, sondern auch der Industrie und der Forschung, indem klare und verlässliche Ziele vorgegeben und ein Rahmen definiert wird, der Investitionsentscheidungen absichert. Und diese Diskussion ist eine Chance, gerade für uns in der ETG, mit unserer Expertise gehört zu werden und Einfluss zu nehmen. Wie zum Beispiel mit unserem Positionspapier zur Entwicklung der Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie, und unserem Impuls zur Wärmewende, die wir gerade veröffentlicht haben. Unsere Expertinnen und Experten haben hier den jeweils aktuellen Sachstand zusammengefasst und geben konkrete Empfehlungen – vielen Dank für die effektive Arbeit in den jeweiligen Gruppen!

Einmal mehr zeigt sich: Bei all den – relevanten! – Diskussionen zu einzelnen Aspekten gibt es im „Großen und Ganzen“, in der Definition der langfristigen Zielbilder, viele Gemeinsamkeiten zwischen Fachlichkeit und Öffentlichkeit/Politik. Wo es aber hapert, und was unsere Handlungsempfehlungen klar adressieren: Die Umsetzung ist an vielen Stellen viel zu langsam. Die Erkenntnis, dass die Energiewende in Summe – eben auch eine Wärme- und eine Verkehrswende – zunächst auf erneuerbar erzeugter Energie, und damit ganz überwiegend erneuerbarer elektrischer Energie, beruht, ist ja wahrlich nicht neu. Trotzdem hatten wir hier, gerade in Deutschland, an Dynamik verloren. Dass es neben den erneuerbaren Energien, Energiespeicher und auch „Schattenkraftwerke“ für die berühmte-berüchtigten Dunkelflauten und die langen Wintermonate braucht, ist ebenfalls alles andere als eine neue Erkenntnis. Dass dies durch einen Mix von Gasturbinen und Gasmotoren, die perspektivisch mit grünen Treibstoffen, wie z.B. Wasserstoff betrieben werden können sowie von elek-

trischen und auch thermischen Speichern geleistet werden muss und geleistet werden kann, ist in der Fachgemeinschaft ebenfalls seit Jahren etabliert.

Es ist also viel zu tun; der Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem ist noch lang. Aber: Wir sind auf dem Weg, und mit der Chance, aus den zunehmenden Diskussionen auch konkrete Einsichten und, noch wichtiger, konkrete Maßnahmen abzuleiten, ergibt sich dann doch wieder ein positiver Ausblick auf das neue Jahr 2022. In jedem Fall wird es wieder ein spannendes Jahr, mit vielen Möglichkeiten, mit Ihrem fachlichen Engagement unsere Arbeit in der ETG voranzubringen – und unsere Ergebnisse in der Fachöffentlichkeit und auch der breiteren Öffentlichkeit zu platzieren und zu vertreten.

Viel Erfolg, uns allen!

Ihr
Dr.-Ing. Michael Schwan
ETG Vorsitzender



**SAVE THE DATE für den nächsten
ETG Kongress: 10. – 11. Mai 2023**
in der Historischen Stadthalle Wuppertal

Editorial 3

T TECHNIK UND TRENDS 7

ETG/GMA Tagung: Netzregelung und Systemführung

- T1** Grundlagen und Stabilität netzbildender Umrichter 7
- T2** Frequency and Nodal Voltage Angle Control using the Hydrogen Storage Power Plant 11

VDE Impuls

- T3** Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr? 15

E ETG AKTUELL 18

Aktuelles aus den Fachbereichen

- E1** Elektrische Maschinen und Antriebe, Mechatronik . . 18
- E2** Bahnen mit elektrischen Antrieben 18
- E3** Wabenstruktur zur Elektromobilität (Teil 4) 20
- E4** Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie . . 24
- E5** Energieübertragung und -verteilung 25
- E6** Energiewirtschaft 26
- E7** Leistungselektronik und Systemintegration 26
- E8** Kontaktverhalten und Schalten 27

ETG Task Forces

- E9** Neue Task Force „Hochautomatisierung von Nieder- und Mittelspannungsnetzen“ 28
- E10** Neue Task Force „Digitaler Zwilling in der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft“ 29
- E11** Neue Task Force „Flexibilisierung des Energiesystems“ 30

Rückblick ETG Veranstaltungen

- E12** Netzregelung und Systemführung: Transformation der Stromversorgung – Netzregelung und Systemstabilität mit Umrichtern 31

VDE Impuls

- E13** Wärmewende jetzt! 32
- E14** Planung zellularer Energiesysteme 32

VDE Position

- E15** Kernaussagen zur Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie 33

VDI VDE Studie

- E16** Klimafreundliche Nutzfahrzeuge 33

VDE Empfehlung an die Politik von ETG und ITG

- E17** Resiliente Strom- und Kommunikationsnetze – Sicherheit und Zuverlässigkeit für Bevölkerung und Wirtschaft 34

ETG Literaturpreis

- Preisaufruf 2022 35

Herbert-Kind-Preis

- Preisaufruf 2022 35

ETG Veranstaltungen

- Vorschau 2022 36

Rückblick ETG Veranstaltungen

- E18** Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie – Wege zu einer klimaneutralen Energieversorgung 38
- E19** Bericht über die 7. Dialogplattform Power-to-Heat 40
- E20** Elektromechanische Antriebssysteme in Theorie und Praxis 42
- E21** eSTE 2021 Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH) 43

Y	<u>VDE YOUNG NET</u>	46	H	<u>HISTORIE DER ELEKTROTECHNIK</u>	64
Y1	<u>Digitaler Kaminabend des VDE Young Net.</u> 46 <u>Call for Young Enthusiasts zur Entwicklung eines</u> <u>Zielbilds für ein klimaneutrales und nachhaltiges</u> <u>Energiesystem</u> 46		H1	<u>Die erste elektrische Drehstrom-Fernübertragung. . .</u> 64	
				25 Jahre Elektrische Wiedervereinigung Deutschlands	
			H2	<u>Die Entwicklung des Verbundbetriebes in</u> <u>Deutschland und in Europa.</u> 66	
A	<u>ABB AKTUELL</u>	48		<u>Nachruf Professor Rainer Bitsch</u> 72	
A1	<u>Blitz- und Überspannungsschutz breit aufgestellt. .</u> 48			<u>Nachruf Professor Hermann-Josef Wagner.</u> 72	
				<u>Nachruf Hon. Prof. Dr.-Ing. Gerhard Neidhöfer</u> 73	
I	<u>INTERNATIONALES</u>	53	L	<u>LESERFORUM</u>	74
I1	<u>Aktuelle Informationen aus CIREN</u> 53		L1	<u>Leserbrief von Prof. Dr. Martin Poppe</u> 74	
I2	<u>ETG CIREN D-A-CH Workshop: Innovationen</u> <u>im Verteilernetz</u> 54				
I3	<u>Aktuelle Informationen aus dem Deutschen</u> <u>Komitee der CIGRE</u> 55			<u>Veranstaltungskalender</u>	75
S	<u>ENERGIEWENDE-SPLITTER</u>	57			
S1	<u>Politik und Regulierung</u> 57				
S2	<u>Industrie und Forschung</u> 59				
S3	<u>International</u> 60				
G	<u>GRUNDLAGEN DER</u>	60			
	<u>ELEKTROTECHNIK</u>				
G1	<u>Wie gelangt die elektrische Energie zum</u> <u>Verbraucher? Fließt die Energie wirklich durch</u> <u>die Anschlussdrähte? (Teil II)</u> 60				

T1 Grundlagen und Stabilität netzbildender Umrichter

Kurzfassung

Die Energiewende führt zu neuen Herausforderungen beim Betrieb regenerativer Erzeugungsanlagen. Um auch beim Rückbau konventioneller Generatoren das elektrische Energieversorgungsnetz weiterhin sicher betreiben zu können, reichen bisher genutzte Umrichterregelungen nicht aus. Das Stromquellenverhalten dieser herkömmlichen Regelungen entspricht nicht dem für einen stabilen Netzbetrieb notwendigen Spannungsquellenverhalten. Die grundlegenden Systemanforderungen benötigen neue netzspannungsbildende Ansätze der Regelungen, die in diesem Beitrag zusammen mit dem resultierenden Umrichterverhalten kategorisiert werden. Um die Defizite einer netzspannungsfolgenden Regelung aufzuzeigen, wird die mangelhafte Stabilität in schwachen Netzen und Inselnetzen im Vergleich zu einer netzspannungsbildenden Regelung analysiert.

1. Einleitung

Im Zuge der Energiewende kommt es derzeit zu einer Transformation der elektrischen Energieversorgung. Die Verfolgung und Umsetzung einer klimaneutralen Energiewandlung wird zu einer Abschaltung bisheriger Kohle- und schließlich auch der Gaskraftwerke führen. Zusammen mit dem bereits beschlossenen Ausstieg aus der Atomkraft wird die Energieversorgung in Deutschland zukünftig (fast) ausschließlich von regenerativen Energien abhängen. [1]

Dabei muss sichergestellt sein, dass nicht nur der Energiebedarf gedeckt wird, sondern auch die elektrischen Netze weiterhin und insbesondere auch in kritischen Zuständen stabil betrieben werden. Dafür müssen regenerative Energien in Zukunft ein netzbildendes Verhalten aufweisen. Das wirkt sich auf die Anforderungen an Umrichtersysteme sowie die Betriebsweise von Umrichtern aus, die zur Einspeisung von regenerativen Energien in das Netz dienen. [2]

2. Verhalten von Energieerzeugungsanlagen

Das dynamische Verhalten netzgekoppelter Umrichtersysteme wird maßgeblich durch das implementierte Regelungsverfahren bestimmt. Je nach Ansatz der gewählten Methode, lässt sich das Verhalten in zwei Kategorien aufteilen – Stromquellenverhalten oder Spannungsquellenverhalten. Diese beiden Ansätze unterscheiden sich bei dynamischen Änderungen im Netz, da entweder der Strom oder die Spannung inhärent konstant bleiben und erst durch eine übergeordnete Regelung ausgeglichen werden.

2.1 Inhärentes Stromquellenverhalten

Regelungsverfahren, die dem bisherigen Stand der Technik entsprechen, sind so konzipiert, dass sie zu jedem Zeitpunkt eine übergeordnete Leistungsvorgabe in das Netz einspeisen. Dies wird erreicht, indem aus der Leistungsvorgabe, unter Kenntnis der Netzspannung, eine Stromvorgabe resultiert, die dynamisch umgesetzt wird. Dadurch kann das dynamische Verhalten des Umrichters durch eine Stromquelle angenähert werden, die über einen Filter an das Netz angeschlossen wird, wie *Bild 1* (oben) zeigt. Kommt es zu einer dynamischen Änderung des Netzspannungsraumzeigers $\mathbf{u}_Q$ – beispielsweise in Amplitude und Phasenlage – wie es bspw. bei Lastflussänderungen der Fall ist, bestimmt diese Charakteristik das resultierende Verhalten, das in *Bild 1* (oben) dargestellt ist. Der Spannungsraumzeiger $\mathbf{u}_{Q1}$ ändert sich sprunghaft in den Raumzeiger $\mathbf{u}_{Q2}$. Da der Stromraumzeiger $\mathbf{i}_{U1,2}$ und damit auch der Spannungsabfall über der Filter-Resistanz R_F und -Reaktanz X_F durch die Stromregelung annähernd konstant gehalten werden, ändert der Umrichter seinen inneren Spannungsraumzeiger $\mathbf{u}_U$ dynamisch.

2.2 Inhärentes Spannungsquellenverhalten

Neuartige Regelungsverfahren verfolgen den Ansatz einer Spannungsregelung. Durch unterschiedliche Methoden wird anstatt des Umrichterstroms die Umrichterspannung berechnet, die zur gewünschten Leistungsabgabe führt. Stationäre Sollwertabweichungen werden hierbei überwiegend durch eine Spannungs- oder Leistungsregelung und nicht über dynamische Stromregler kompensiert. Im Gegensatz zu Regelungsmethoden mit inhärentem Stromquellenverhalten weisen Verfahren zur Abbildung eines inhärenten Spannungsquellenverhaltens eine deutlich reduzierte Dynamik gegenüber Änderungen des Netzspannungsraumzeigers $\mathbf{u}_Q$ auf. Der Vorteil dessen wird durch einen Vergleich des Verhaltens bei der Änderung der Netzspannung deutlich. Ändert sich der Spannungsraumzeiger $\mathbf{u}_Q$, bleibt für diese Charakteristik die Umrichterspannung $\mathbf{u}_U$ zunächst konstant. Hierdurch erfolgt eine inhärente Änderung der abgegebenen oder aufgenommenen Umrichterleistung und führt somit zu einer augenblicklichen Änderung des resultierenden Umrichterstromsraumzeigers $\mathbf{i}_{U1} \rightarrow \mathbf{i}_{U2}$. Dieses inhärente Verhalten gleicht dem Verhalten von Generatoren am Netz. Sie sind durch ihre Rotationsmasse in der Lage, das Netz durch augenblickliche Abgabe (oder Aufnahme) von kinetischer Energie zu stützen. Diese Energie wird als Momentanreserve bezeichnet, die bei Umrichtern, die sich wie eine Spannungsquelle am Netz verhalten, ebenfalls ausgespeist werden kann, auch wenn sie nicht über physische Rotationsmassen verfügen.

3. Terminologie zum Umrichterverhalten und Systemanforderungen

Im Zusammenhang mit einem inhärenten Strom- oder Spannungsquellenverhalten werden in der Wissenschaft überwiegend die Bezeichnungen „grid-forming; netzbildend“ oder „grid-following; netzfolgend“ verwendet. Der Begriff „grid-forming; netzbildend“ impliziert hierbei die Fähigkeit, dass derar-

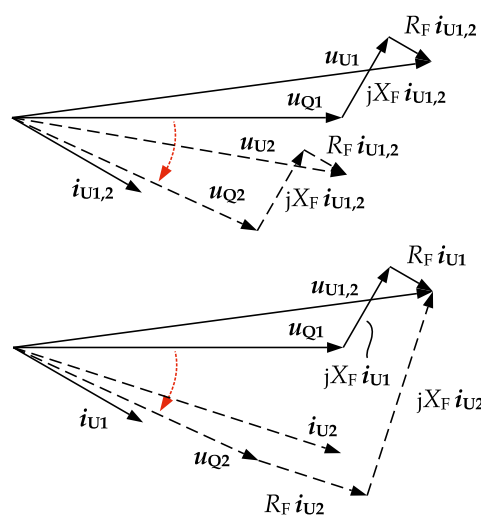
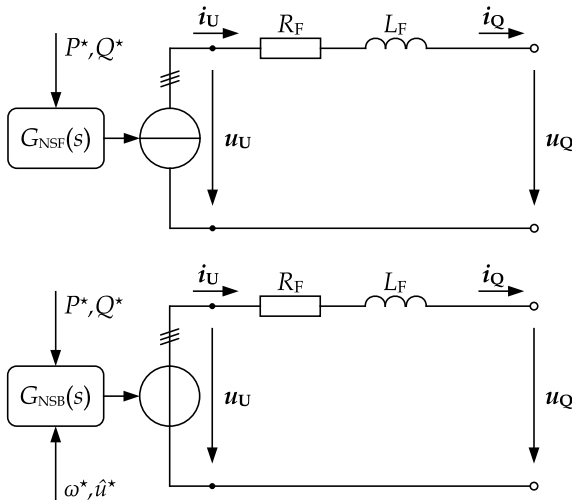


Bild 1: Schematisches Ersatzschaltbild eines Umrichters mit netzspannungsfolgender (oben) und netzspannungsbildender Regelung (unten) sowie Zeigerdiagramm bei Winkel- und Amplitudenänderung des Netzspannungsraumzeigers ($u_{Q1} \rightarrow u_{Q2}$) [3]

tige Umrichtersysteme ein Netz bilden können. Dieses Attribut setzt jedoch neben einem inhärenten Spannungsquellenverhalten auch die Verfügbarkeit einer entsprechenden Primärenergie voraus. Somit liegt bei der allgemeinen Verwendung dieser Begrifflichkeit eine Kopplung zwischen dem gesamten Umrichterverhalten und der Eigenschaft des Regelungsprinzips vor. Um möglichen Fehlinterpretationen vorzubeugen, wird die Terminologie gemäß *Tabelle 1* vorgeschlagen, die insbesondere zwischen dem Regelungsprinzip und dem resultierenden Umrichterverhalten unterscheidet. Die Grundlage hierfür liefert die Einführung der Bezeichnung „netzspannungsbildend“ aus [4]. Gemäß dieser Terminologie aus *Tabelle 1*, kann ein netzspannungsbildendes Regelungsprinzip auch bei Umrichtersystemen zum Einsatz kommen, die kein zusätzliches Energiespeichervermögen besitzen und deren Primärenergievorgaben nicht dynamisch angepasst werden können oder grundsätzlich nicht verfügbar sind. Ein explizites Beispiel für derartige „grid-stabilizing; netzstabilisierende“ Umrichtersysteme repräsentiert ein STATCOM mit netzspannungsbildendem Regelungsprinzip. Somit bildet dieser ein inhärentes Spannungsquellenverhalten ab. Aufgrund des eingeschränkten Speichervermögens sowie der fehlenden Primärenergie weist er jedoch kein netzbildendes Umrichterverhalten auf.

Das gegenwärtige Verhalten des elektrischen Energieversorgungsnetzes ist überwiegend an die physikalischen Eigenschaften netzgekoppelter Synchronmaschinen – zum derzeitigen Zeitpunkt zumeist konventioneller Kraftwerke – gekoppelt, die einen dominierenden Beitrag zur Erhaltung der Systemstabilität liefern [5]. Somit müssen in zukünftigen Netzen, mit

deutlich reduziertem Anteil netzgekoppelter Synchrongeneratoren und großer Durchdringung leistungselektronischer Systeme, Umrichtersysteme die grundlegenden Systemanforderungen des elektrischen Energieversorgungsnetzes realisieren und entsprechend die stabilisierende Wirkung netzgekoppelter Synchrongeneratoren übernehmen [3]. Der offensichtlichste Weg, um ein derartiges Verhalten auf Umrichtersysteme zu übertragen, ist, das physikalische Verhalten einer Synchronmaschine regelungstechnisch zu emulieren. Da dieser Ansatz jedoch auch entbehrliche Begrenzungen und negative Eigenschaften der Synchronmaschine auf ein leistungselektronisches Stellglied überträgt, ist der konsequenteste Weg zunächst die fundamentalen Systemanforderungen des elektrischen Energieversorgungsnetzes, wie in *Tabelle 2* exemplarisch dargestellt [3], zu analysieren und daraus neue Regelungsverfahren abzuleiten. In *Tabelle 2* wird den einzelnen Systemanforderungen zudem auch das Umrichterverhalten gemäß der Terminologie aus *Tabelle 1* zugeordnet.

4. Stabilitätsaspekte

Um einen sicheren Betrieb der Energieversorgung nach Abschalten der konventionellen Kraftwerke zu gewährleisten, muss sichergestellt sein, dass die Netze ausschließlich durch Umrichter gespeist werden können. Allerdings kann es vor der vollständigen Abschaltung zu (Generator-)schwachen Netzen kommen, in denen Umrichter trotzdem sicher operieren müssen.

Umrichterverhalten	netzfolgend (grid-following)	netzstützend (grid-supporting)	netzstabilisierend (grid-stabilizing)	netzbildend (grid-forming)
Zusätzliche Funktionen	keine	$P(f) + \text{Energie } Q(\dot{u})$	$Q(\dot{u})$ (lim. Trägheit) ¹	$P(f) + \text{Energie}^2$ $Q(\dot{u})$
Reg. Prinzip	netzspannungsfolgend (keine Trägheit)		netzspannungsbildend (Trägheit)	
Reg. Verfahren	Spannungsorientierte Stromregelung, Hystereseregulierung, ...		Droop-Regelung, VSM, Netzspannungsbildner, ...	

Tabelle 1: Terminologie zu Umrichterverhalten, Regelungsprinzip und Regelungsverfahren [3]; VSM: Virtuelle Synchronmaschine

(1) inhärente Wirkleistungsbereitstellung auf Basis anlageninterner Energiespeicher stark limitiert (lim.); inhärente Blindleistungsbereitstellung möglich, (2) Energie muss augenblicklich verfügbar sein

	netzfolgend (grid-following)	netzstützend (grid-supporting)	netzstabilisierend (grid-stabilizing)	netzbildend (grid-forming)
Elektrische Spannungsversorgung	⊗	⊗	✓	✓
Leistungsgleichgewicht	⊗	augenblicklich geregelt ⊗	✓ ¹ ✓	✓
Lastverteilung	⊗	augenblicklich geregelt ⊗	✓ ¹ ✓	✓
Spannungs- und Frequenzhaltung	⊗	augenblicklich geregelt ⊗	✓ ¹ ✓ ² ⊗	✓
Insel- und Schwarzstartfähigkeit	⊗	⊗	⊗	✓
Senke für Netzverzerrungen	⊗	⊗	✓	✓

Tabelle 2:
Systemanforderungen
und Zuweisung des
Umrichterhaltens
gemäß Terminologie
aus Tabelle 1 [3]

(1) Inhärente Wirkleistungsbereitstellung auf Basis anlageninterner Energiespeicher stark limitiert (lim.); inhärente Blindleistungsbereitstellung möglich,
(2) Spannungshaltung durch Blindleistungsbereitstellung möglich

4.1. Stabilität in schwachen Netzen

Um die Stärke eines Netzes bemessen zu können, dient der Quotient aus Netzkurzschlussleistung und Nennleistung des Umrichtersystems (engl. Short-Circuit-Ratio bzw. SCR). Wie in [6] definiert, kann für $SCR < 2$ von sehr schwachen Netzen gesprochen werden. Die Untersuchungen in [7] zeigen, dass ein beispielhaftes, netzspannungsbildendes Regelungsverfahren für $SCR < 1,8$ nicht mehr stabil betrieben werden kann, was insbesondere auf charakteristisch hohe Dynamiken innerer Stromregler sowie eine schnelle Spannungsvorsteuerung und Synchronisierung zurückzuführen ist, während ein netzspannungsbildendes Regelungsverfahren für die Betrachtung $SCR \rightarrow 0$ keine Stabilitätsgrenze aufweist [8]. Insbesondere die Überlagerung dynamischer Systemdienstleistungen, wie sie beispielsweise in Form einer schnellen Primärregelung bei netzstützenden Umrichtersystemen zum Einsatz kommt und oftmals fälschlicherweise als Ersatzform inhärenter Momentanreserve beschrieben wird, sorgt für eine Verschiebung der Stabilitätsgrenze zu höheren SCR-Werten und somit für ein schnelleres Erreichen möglicher Instabilitäten in schwachen Netzen [7]. Durch umfangreiche Analysen und Anpassungen der Reglerparametrierung lässt sich diese Stabilitätsgrenze in Abhängigkeit des Netzkurzschlussleistungsverhältnisses SCR zwar verschieben, jedoch nicht eliminieren. In der Realität hätte das Auftreten einer derartigen Instabilität eine Abschaltung der Anlage zur Folge, was eine Kaskade von Abschaltungen weiterer Anlagen und somit einen Blackout nach sich führen kann. Hieraus lässt sich schließen, dass netzspannungsfol-

gende Regelungsverfahren nicht in sehr schwachen Netzen, insbesondere auch bei schwankender Netzstärke, betrieben werden können und zudem netzstützende Systemdienstleistungen netzfolgender Umrichter genau dann verloren gehen, wenn sie am nötigsten gebraucht werden.

4.2. Stabilität in Inselnetzen (Inselnetzfähigkeit)

Weiterhin kann auch die Fähigkeit der Regelungsverfahren und Umrichtersysteme zur Bereitstellung einer stabilen Versorgungsspannung in Inselnetzen betrachtet werden. Inselnetze können durch das Auftrennen der Verbundnetze im Fehlerfall entstehen. In diesem Fall sollten die Erzeugungsanlagen regenerativer Energien weiterhin in der Lage sein, umliegende Verbraucher mit Energie zu versorgen. Neben der Fähigkeit eines alleinigen Inselnetzbetriebs des Umrichtersystems, lässt sich durch derartige Analysen indikativ feststellen, ob Netze ausschließlich durch Umrichter gespeist werden können. Ein Modell zur Überprüfung dieser Fähigkeit bzw. dieses Stabilitätsaspekts ist in Bild 2 abgebildet.

In diesem Modell wird zu einem definierten Zeitpunkt $t = 20$ s die Verbindung zum Verbundnetz aufgetrennt. Danach muss das Umrichtersystem in der Lage sein, eine Netzspannung eigenständig zur Verfügung zu stellen und den Leistungsbedarf der lokalen Verbraucher zu decken. Wie der Vergleich der Simulationsergebnisse für verschiedene Regelungsverfahren in Bild 3 zeigt, ist das netzspannungsbildende Regelungsverfahren in der Lage, im „Stand-Alone-Betrieb“ eine stabile Netzspannung bereitzustellen. Der Übergang vom

netzgekoppelten in den alleinigen Inselnetzbetrieb erfolgt ohne aktive Inselnetzerkennung, sodass es sich für die Regelung hierbei um einen „normalen“ Betriebszustand handelt. Das netzspannungsfolgende Regelungsverfahren wird durch das Fehlen der zur Synchronisierung benötigten Netzspannung sowie des inhärenten Stromquellenverhaltens instabil.

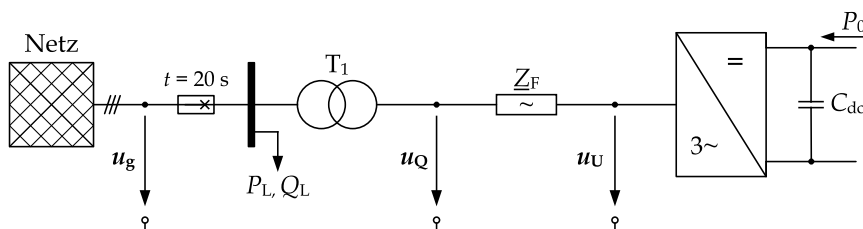


Bild 2: Schematische Darstellung der Inselnetzbildung durch Netzabtrennung mit nachfolgendem Stand-Alone-Betrieb des Umrichters mit lokaler Last [3]

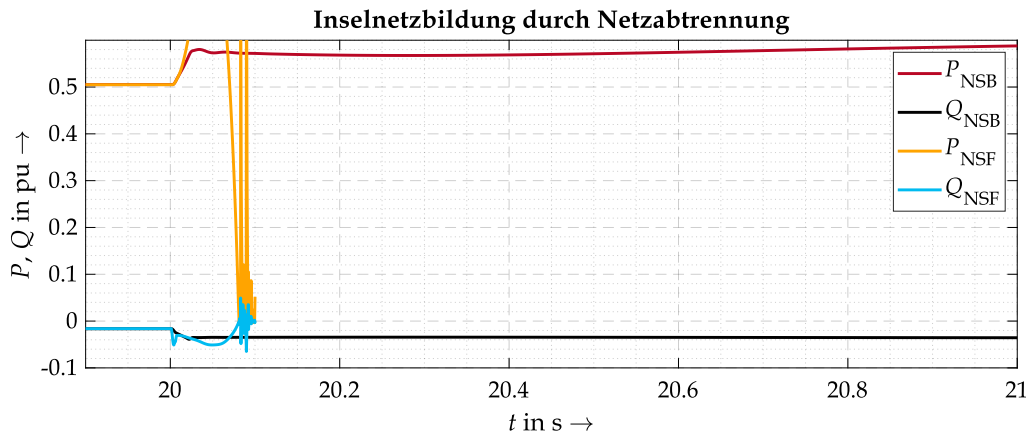


Bild 3: Vergleich des Verhaltens eines Umrichtersystems mit netzspannungsfolgendem und netzspannungsbildendem Regelungsprinzip, hier netzstützende und -bildende Regelung, bei Inselnetzbildung durch Auftrennung [3,8]

5. Fazit & Ausblick

Zur Erhaltung der Systemstabilität in zukünftigen elektrischen Energieversorgungsnetzen müssen neue Ansätze für Umrichterregelungen verfolgt werden, die den Verlust der stabilisierenden Wirkung netzgekoppelter Synchrongeneratoren ausgleichen. Neue Regelungsverfahren, die ein netzspannungsbildendes Regelungsprinzip aufweisen, liefern die Grundlage dafür, den Verlust inhärenter Momentanreserve zu kompensieren. Darüber hinaus stellen derartige Umrichtersysteme eine eigene und stabile elektrische Energieversorgungsspannung bereit, was die fundamentale Anforderung für die Realisierung vollständiger Umrichter netze darstellt. Diese Attribute sind für die Sicherstellung der Systemstabilität in zukünftigen elektrischen Energieversorgungsnetzen unerlässlich, welche durch herkömmliche Regelungsverfahren, die ein netzspannungsfolgendes Regelungsprinzip aufweisen, nicht umgesetzt werden können.

Literatur

- [1] M. Schultz. Zielsetzungen für die deutsche und europäische Stromwende. In *Energiewende in der Stromversorgung – Systemstabilität und Systemsicherheit – 2. ETG / GMA Tagung „Netzregelung und Systemführung“*, 2017.
- [2] Daniel Duckwitz. *Power System Inertia – Derivation of Requirements and Comparison of Inertia Emulation Methods for Converter-based Power Plants*. PhD thesis, University of Kassel and Fraunhofer IEE, 2019.
- [3] Pascal Winter. *Netzspannungsbildende und -folgende Umrichtersysteme am elektrischen Energieversorgungsnetz: Regelungsentwurf, Analyse und Stabilitätsbetrachtung*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2022.
- [4] Peter Unruh, Maria Nuschke, Philipp Strauß und Friedrich Welck. Overview on Grid-Forming Inverter Control Methods. *Energies*, 13(10), 2020.
- [5] MIGRATE – Horizon2020. MIGRATE – Massive InteGRation of power Electronic devices – Description of system needs and testcases Deliverable 3.1, 2016. <https://www.h2020-migrate.eu/downloads.html> (abgerufen am 13.04.2021)
- [6] Cigre TF-77. AC Fault response options for VSC HVDC Converters. Cigre Science and Engineering, 2019.
- [7] Pascal Winter, Julian Struwe, José Cajigal, and Holger Wrede. Stability Margins of Grid-Supporting Converters. In *2021 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pages 387–394, 2021.
- [8] Pascal Winter, Holger Wrede, Julian Struwe, and José Cajigal. Control Design and Analysis for Grid-Connected Converter Systems with Island Ability. In *2021 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pages 364–371, 2021.



Pascal Winter, M.Sc.
Amprion GmbH
Asset Management, Offshore-Netzkonzepte
Ehem. Hochschule Düsseldorf
(Forschungsgruppe LEES)



Prof. Dr.-Ing. Holger Wrede
Hochschule Düsseldorf
Fachbereich Elektro- und Informationstechnik
Forschungsgruppe Leistungselektronische Energiesysteme



Julian Struwe, M.Sc.
Hochschule Düsseldorf
Fachbereich Elektro- und Informationstechnik
Forschungsgruppe Leistungselektronische Energiesysteme



José Manuel Cajigal Núñez, M.Sc.
Hochschule Düsseldorf
Fachbereich Elektro- und Informationstechnik
Forschungsgruppe Leistungselektronische Energiesysteme

T2 Frequency and Nodal Voltage Angle Control using the Hydrogen Storage Power Plant

Abstract

This paper proposes the Hydrogen Storage Power Plant (HSPP) as an ideal solution for providing frequency ancillary services in electrical grids with a high penetration of renewable energy resources. The behavior of the HSPP is initially compared with a conventional coal-fired power plant and its ability in providing instantaneous and primary control reserves is assessed. Next, its provision of secondary control reserves to compensate fluctuations in wind power generation is analyzed. In the final third of the paper, an alternative method, known as the Nodal Voltage Angle Control, is introduced. Implementing this control method in a test network, it is shown that active power balance can be retained at a constant frequency.

1 Motivation

To meet the targets of the Climate Action Plan 2050, Germany has planned to phase-out coal power by 2038 [1]. Hence,

such conventional power plants with synchronous generators are increasingly being replaced with converter-interfaced renewable energy sources (i.e. wind and solar power plants). However, these conventional plants are also responsible for providing frequency ancillary services, in the form of instantaneous, primary and secondary control reserves. Such ancillary actions ensure a reliable and safe supply of electrical energy by continuously maintaining the equilibrium between active power generation and demand.

The intermittency of the primary resource (i.e. wind and solar energy), coupled with the grid-following mechanism of the interfacing inverter mean that renewable energy sources cannot provide the required frequency regulatory actions at all times. Thus, in futuristic electrical grids with a high proportion of renewable sources, additional solutions are required to constantly sustain the active power balance. The Hydrogen Storage Power Plant (HSPP) which works coherently with conventional plants and renewable resources, is one such solution [2].

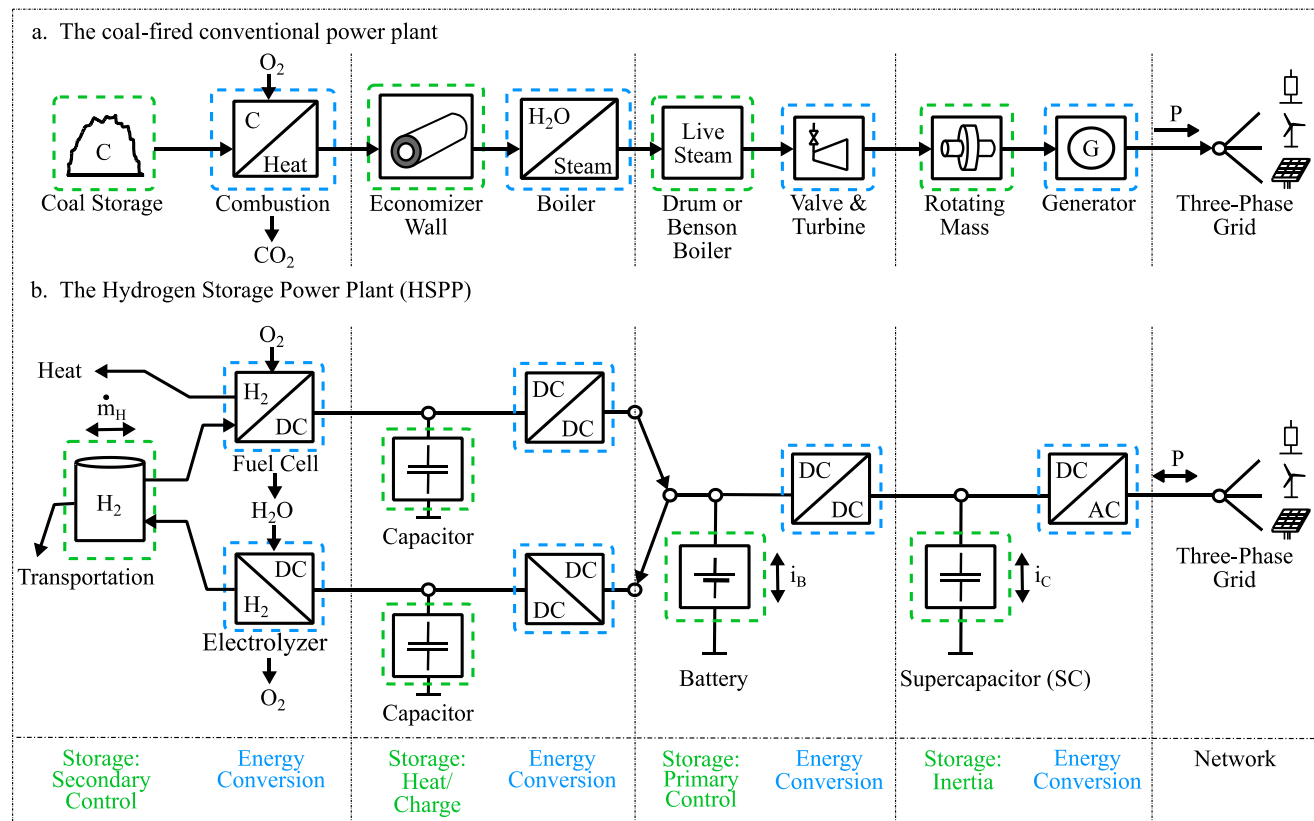


Figure 1: Comparison between the a) Conventional coal-fired & b) Hydrogen Storage Power Plant (HSPP)

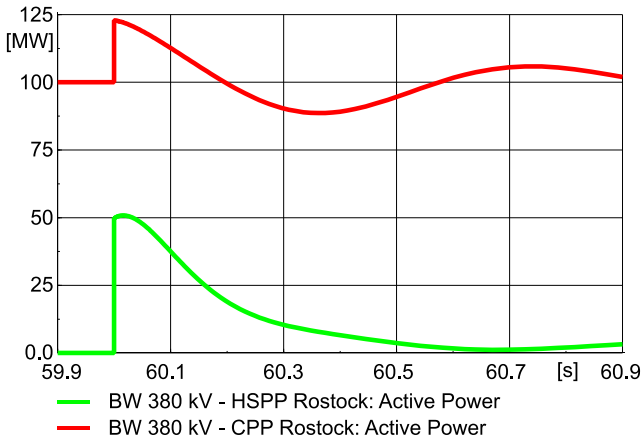


Figure 2: Initial response of CPP and HSPP

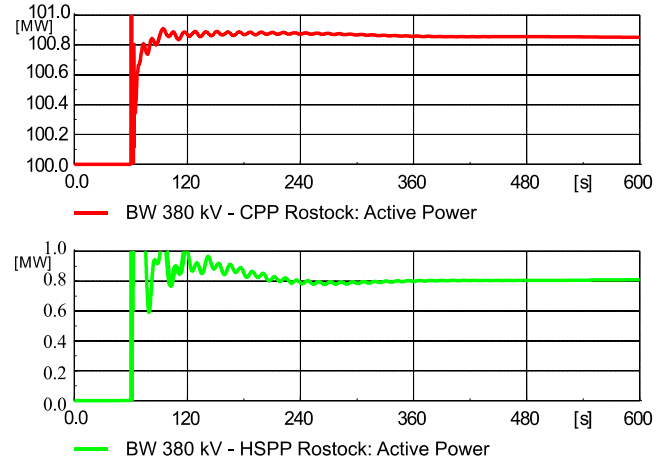


Figure 3: Primary control reserve of CPP and HSPP

2 The Hydrogen Storage Power Plant

The working principle of the HSPP has already been described in [3]. This section compares its functions with a coal-fired plant and summarizes the most important features.

To provide the frequency regulating services, three different energy storages are accessed in a coal power plant, as shown in Figure 1:

- Rotating mass of the turbine-generator set to provide instantaneous reserve
- Live steam storage to supply primary control reserve
- Coal storage to generate secondary control reserve

These functions are performed in the HSPP by a Supercapacitor, Battery and Hydrogen storage respectively. The DC-DC converters in the HSPP regulate the power flow between adjacent storages. The power plant is connected to three phase system via a DC-AC inverter which functions as a voltage source converter (grid-forming mechanism).

In contrast to a coal plant, the active power flow in a HSPP is bidirectional. In response to an increased demand, chemical energy from the hydrogen storage is converted to electrical energy by the fuel cell and supplied to the grid under steady state conditions. Conversely, during periods of surplus generation (e.g. from renewable sources), the electrolyzer is used to synthesize hydrogen which can be used in sector coupling.

3 Frequency Control

For comparing the frequency regulating behavior of the HSPP with a coal plant, dynamic models of both power plants were implemented on part of the German transmission grid controlled by 50Hertz GmbH. The power generation and consumption data were adopted from Germany's Network Development Plan 2025. In addition, the generation scenario was modified leaving only one coal plant (CPP Rostock) in the control area, with the rest being replaced by wind farms. Both the HSPP and CPP Rostock were connected to the same node, *Bentwisch* (BW 380 kV) via identical transformers.

3.1 Instantaneous Response

To assess the provision of instantaneous reserve from both power plants (HSPP and CPP), a sudden disconnection of a 700 MW wind park is simulated at 60 s.

Figure 2 shows the initial response of both plants due to the disturbance. The power increase from the HSPP is about twice compared to that of the CPP. This is due to the additional transient reactance of the synchronous generator in CPP Rostock. The injection of instantaneous reserve from both plants significantly limits the initial frequency gradient of the system after the disturbance. This response is crucial in allowing sufficient time for the subsequent systems to come online and keep the frequency within permissible thresholds.

3.2 Primary Control

The primary control response of both power plants due to the above disturbance can be analyzed by viewing Figure 2 over a longer time scale. This is presented in Figure 3, with a magnified vertical axis scaling for better observation of the oscillations and primary control reserve magnitude of both power plants.

The active power output of the HSPP is more susceptible to oscillations due to its lower transient reactance. However, such oscillations are damped in both cases. Since the primary control droop (σ) for both plants is equal 10 %, they provide similar magnitudes of primary control power of about 0.8 MW.

3.3 Secondary Control

For this phase of investigation, the simulation scenario is modified to incorporate changing wind speeds in the northern part of the grid. Four HSPPs each rated at 500 MW are installed in Bad Lauchstädt, Boxberg, Reuter (Berlin) and Rostock respectively. The first two of these HSPPs provide only primary control reserve while the last two provide both primary and secondary control reserve.

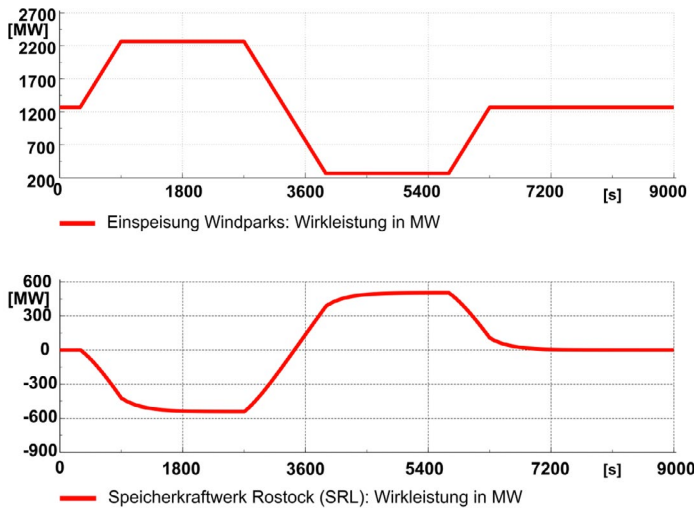


Figure 4: Variation in wind power generation (top) and corresponding response from the HSPP in Rostock (bottom)

Figure 4 (top) illustrates the total change in active power generation of four wind parks due to the varying wind speeds. Due to space limitation the corresponding response of only the HSPP in Rostock is shown, Figure 4 (bottom). Surplus generation from the wind park lead to the HSPP, reducing its active power output and vice versa to maintain active power balance in the grid.

Figure 5 depicts that the combined response of all four HSPPs restored both the power exchange of the control area and the system frequency to their initial setpoints. This satisfies all the requirements of conventional secondary controller action and proves that it is possible to fulfil power trading contracts using HSPPs even with changing power infeed.

4 Voltage Angle Control

In a futuristic electrical grid dominated by converter based renewable generation, a frequency independent governing principle can be used to maintain active power balance. Such a kind of ancillary service is called Voltage Angle Control [4]. In this case, the three-phase supply can be operated at a constant frequency, for instance at 50 Hz. Additionally, regulating services such as instantaneous and primary control reserve can be provided using the nodal voltage angle at the power plant's connection point.

This control method has been implemented in the grid shown in Figure 6. The properties of the grid and the set points of the power plants and loads are summarized in Table 1 and

Voltage base	110 kV
Apparent power base	10 MVA
Line length	250 km
Line reactance per unit length	0.3 Ω /km
Line resistance to reactance ratio	0.1

Table 1:
25 node network
properties

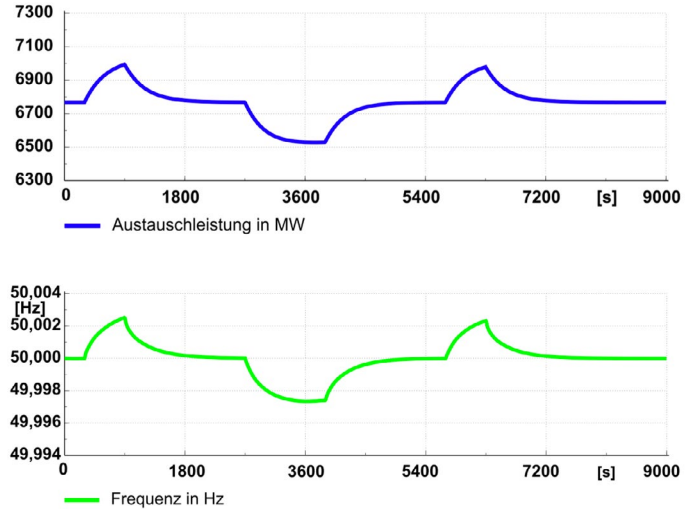


Figure 5: Exchange power of the 50Hertz control area (top) and system frequency (Bottom)

Table 2 respectively. In this grid, the HSPPs function as Slacks (S), i.e. converters at terminals where the voltage magnitude ($|V|$) and angle (ϕ) are kept constant. All the other plants operate as PV nodes, i.e. terminals where the active power (P) and voltage magnitude ($|V|$) are controlled. The loads are represented as PQ nodes, i.e. junctions where the active (P) and reactive power (Q) being consumed are known.

To test the ancillary response of the power plants under this novel control method, the active power demand at node 13 is stepped up from 10 MW to 17 MW after 20 s. In response, the dynamic frequency deviations were minimal. Thus, all power plants functioning as PV nodes had a constant power output. Regulatory actions such as instantaneous and primary control reserve, were provided by the five HSPPs, shown in Figure 7. The response of these slacks is load flow oriented, i.e. a greater response is provided by the HSPPs closer to the point of disturbance. In contrast to frequency control, this allows the power plants farther away to remain undisturbed. These trends are pronounced due to the use of a squared grid in Figure 6.

Type	No.	Power per element (MW)	Total power (MW)
Loads	14	10	140
Losses	-	-	1.1
Total consumption	-	-	141.1
HSPP	5	0	0
Thermal plant	1	23.51	23.51
Hydroelectric plant	1	23.51	23.51
Wind park	4	23.52	94.08
Total generation	-	-	141.1

Table 2: Load and Power Plant setpoints

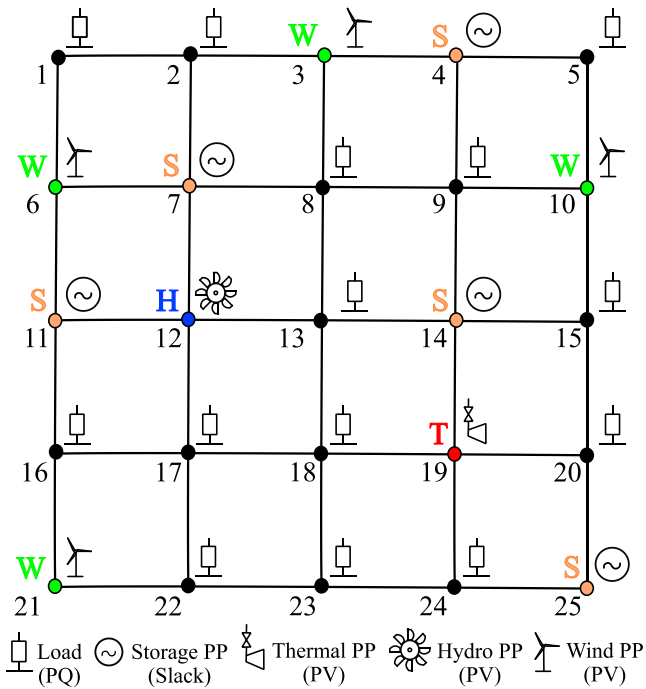


Figure 6: The 25 node example network

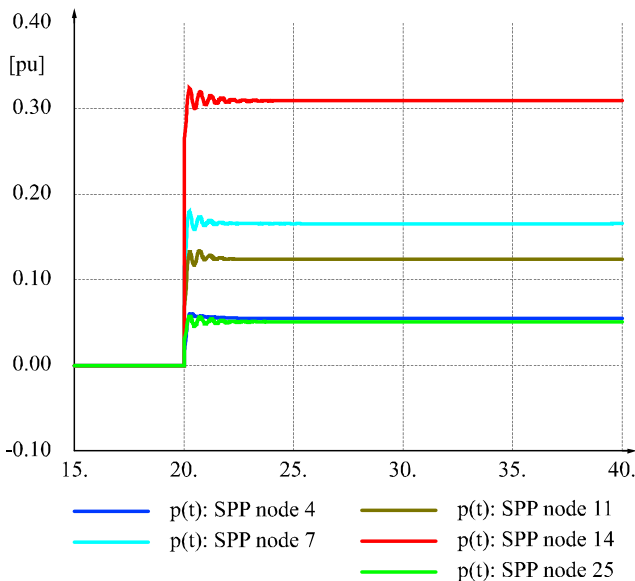


Figure 7: Active power generation of all HSPPs in response to the increase in load demand

Conclusion

This paper highlights the ability of HSPPs to continuously maintain active power equilibrium in grids with a high penetration of renewable resources. Two different methods of achieving this target are described, i.e. frequency control for the present system undergoing gradual transition and nodal voltage angle control for a futuristic converter dominated electrical power generation scheme.

References

- [1] EU Commission (2019). "2050 long-term strategy," [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en#:~:text=The%20EU%20aims%20to%20be,action%20under%20the%20Paris%20Agreement
- [2] Weber, H., Ahmed, N., Töpfer, M., Gerdun, P., Vernekar, V. "Dynamic Behavior of Conventional and Storage Power Plants in a Single Power System". 2019 IEEE Milan PowerTech, 23 – 27.06.2019, Milan, Italy
- [3] Gerdun, P., Ahmed, N., Vernekar, V., Töpfer, M., Weber, H. "Dynamic Operation of a Storage Power Plant (SPP) with Voltage Angle Control as Ancillary Service". 2019 IEEE International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), 09- 11.09.2019, Porto, Portugal
- [4] Weber, H., Baskar, P., Ahmed, N. "Power System Control with Renewable Sources, Storages and Power Electronic Converters". 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 19 – 22.2.2018, Lyon, France



Nayeemuddin Ahmed, M.Sc.,
University of Rostock



Martin Töpfer, M.Sc.,
Amprion GmbH



Prof. Dr.-Ing. Harald Weber
University of Rostock

VDE Impuls

T3 Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr?

Ein neuer VDE Impuls zeigt auf Basis aktueller Erkenntnisse, wie alternativ bei der Auslegung von resonanzsternpunktgeerdeten Netzen (RESPE) vorgegangen werden kann, um die Stromnetze besser auszulasten und Fehlinvestitionen zu vermeiden. Die Vorgehensweise wird schrittweise anhand konkreter Beispiel-Netze veranschaulicht.

In § 1 des Energiewirtschaftsgesetzes ist festgehalten, dass die Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität möglichst sicher, preisgünstig, verbraucherfreundlich und effizient zu erfolgen hat. Die Regulierung der Elektrizitätsnetze stellt dieses durch ein entsprechendes Anreizsystem sicher und erhöht damit den Druck auf die Verteilnetzbetreiber, die eigenen Elektrizitätsnetze effizient zu bewirtschaften. Sowohl hinsichtlich Spannungsqualität und Versorgungszuverlässigkeit, als auch aus regulatorischer Sicht hat sich die Erdschlusskompensation (bzw. Resonanzsternpunktterdung – RESPE) für den Großteil der Mittelspannungsnetze als vorteilhaft erwiesen. Allerdings steigt in diesen Netzen der Anteil der Kabel seit Jahren deutlich an. Nicht unerheblich tragen zu dieser Entwicklung die Anschlussleitungen von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen bei, aber auch die Verkabelung von Freileitungen ist eine der zu beachtenden Entwicklungen. In Folge der zunehmenden Kabellängen steigt der kapazitive Erdschlussstrom (I_{CE}) der Versorgungsgebiete massiv an. Da sich der harmonische Anteil des Erdschluss-Reststroms im Betrieb nur schwer bestimmen lässt, leiten zahlreiche Netzbetreiber die Höhe des Erdschluss-Reststroms, gemäß des pauschalen 10-%-Ansatzes der VDE 0101-2, aus dem kap. Erdschlussstrom ab. Häufig sind Erdungsanlagen in Mittelspannungsnetzen bis 20 kV auf die Obergrenze für den Erdschluss-Reststrom von 60 A (vgl. VDE 0845-6-2) ausgelegt, bis zu der pauschal die Beeinflussung von Kommunikationsleitungen nicht untersucht werden muss. Mit dieser Vorgehensweise wird gefolgert, dass nur Netzgebiete mit einem maximalen Erdschlussstrom von 600 A gebildet werden können. Dieser Wert wird derzeit in Netzen häufig erreicht, ohne dass ein Bedarf zur Bildung eines neuen Speisebereiches aufgrund des Lastflusses oder der Transformatorbelastung besteht. Da hiermit hohe Investitionen verbunden sind, ist zu klären, inwiefern die aufgezeigte Vorgehensweise zu restriktiv ist und wie in Netzen mit $I_{CE} > 600$ A der Nachweis zu führen ist, dass die Anforderungen eingehalten werden. Um dies zu beantworten, sind u. a. folgende Fragestellungen zu betrachten:

- Wie sind normative Vorgaben für einen zulässigen Betrieb erdschlusskompensierter Netze zu bewerten?
- Wie lässt sich der Erdschluss-Reststrom inklusive Harmonischen bestimmen?
- Welche Abhängigkeiten des Erdschluss-Reststroms vom I_{CE} bestehen?

- Wie hoch ist der Anteil der Harmonischen des Erdschluss-Reststroms?
- Wo liegen die Quellen der Harmonischen?
- Wie ist die Abhängigkeit der Harmonischen vom Fehlerort? Gibt es unkritische Bereiche im Netz?
- Muss in Netzen mit $I_{CE} > 600$ A die Beeinflussung des Kommunikationsnetzes berücksichtigt werden?

Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, hat sich eine aus dem Arbeitskreis VDE (ETG) „Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV“ gegründete Task-Force unter Einbeziehung weiterer Expertinnen und Experten aus der Branche detailliert mit diesem Themenkomplex auseinandergesetzt. Die Ergebnisse münden im neu erschienenen VDE Impuls „Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr?“. In dem Papier werden neben den neuen Überlegungen und Anwendungsbeispielen auch die Motivation, die normativen und physikalischen Grundlagen sowie Auswertungen zahlreicher zurückliegender Erdschlussmessungen aufgezeigt. Der Impuls kann kostenfrei von der ETG Webseite www.vde.com/de/etg heruntergeladen werden.

Wenn ein Betreiber eines mit RESPE betriebenen Netzes entschieden hat, Doppelerdschlüsse für die Auslegung der Erdungsanlagen und die Bewertung von induktiven Beeinflussungen aufgrund der vorliegenden Betriebserfahrungen nicht zu berücksichtigen, muss für einen normenkonformen Betrieb des Netzes im Wesentlichen nur nachgewiesen werden, dass die zulässigen Berührungsspannungen beim Fließen des Erdschluss-Reststroms eingehalten werden.

Unter der Voraussetzung, dass für die Anlagen, wie z. B. Netzstationen, Maststationen und exponierte Maststandorte eine maximale Erdungsimpedanz (z. B. 2Ω an Stationen) bekannt ist, gibt es zum pauschalen Nachweis der Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen aller Anlagen bzw. eines großen Anteils der Anlagen verschiedene Möglichkeiten zur Abschätzung des Erdschluss-Reststromes, z. B. 10 %-Ansatz des kapazitiven Erdschlussstroms oder Messung des Erdschluss-Reststroms an definierten Orten. Darauf basierend erfolgt dann der Nachweis zur Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung. Andere Optionen sind Ausweisung eines globalen Erdungssystems oder, und diese Möglichkeit ist neu, der sogenannte „Resistive Ansatz“.

Erdschlussmessungen

Die Bilder 1 und 2 zeigen die Korrelation des Erdschluss-Reststroms I_{RES} und seiner harmonischen Anteile $I_{RES}(\nu > 1)$ mit dem kapazitiven Erdschlussstrom des Netzes I_{CE} . Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Messwerte auf die vollständige Kompensation bei Verstimmung $\nu = 0$ ($I_{tb} = 0$) normiert. Es

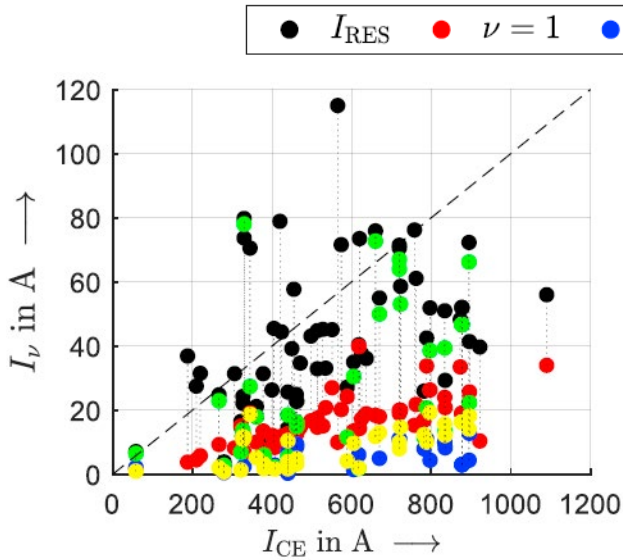


Bild 1: Erdschluss-Reststrom und harmonische in Abhängigkeit zur Netzgröße: Messung im Umspannwerk

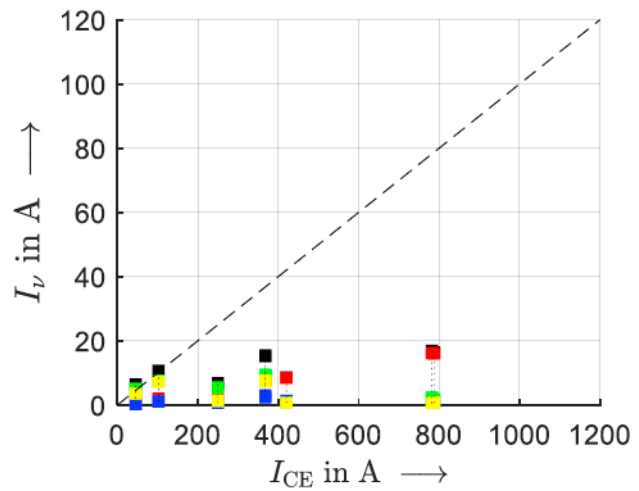


Bild 2: Erdschluss-Reststrom und harmonische in Abhängigkeit zur Netzgröße: Messung im Mittelspannungsnetz, mind. 150 m Entfernung vom UW

liegen nicht zu allen Messungen Angaben zum Pegel der Harmonischen vor, weshalb in manchen Fällen nur die 50 Hz-Ströme (rot) und der Gesamt-Erdschluss-Reststrom (schwarz) abgebildet sind. Es ist ersichtlich, dass der 50 Hz-Anteil nahezu linear mit zunehmender Netzgröße ansteigt, was sich mit der Zunahme des Watt-Reststroms I_{rw} infolge von Verlusten an Erdschlusslöschspulen, Transformatoren und Leitungen erklären lässt.

Wie in den Bildern 1 und 2 erkennbar, bestimmen die variierenden Pegel der Harmonischen $I_{RES}(\nu > 1)$ meist maßgeblich den Erdschluss-Reststrom. Insbesondere die 5. Harmonische weist gerade in mittelgroßen Netzen teils sehr hohe Werte auf. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die Resonanzfrequenz dieser Netze zurückzuführen. Die gestrichelte Linie zeigt als Referenzwert jeweils 10 % des kapazitiven Erdschlussstroms I_{CE} an. Es zeigt sich, dass der Erdschluss-Reststrom diesen Wert bei Messungen im Umspannwerk (Bild 1) aufgrund der sehr geringen Erdungsimpedanz überschreiten kann. Da innerhalb eines Umspannwerkes gute Erdungsverhältnisse anzutreffen sind, treten jedoch i. d. R. keine kritischen Berührungsspannungen auf. Diese Fehler sind folglich als unkritisch zu bewerten. Bei den Messungen in den Anlagen im Mittelspannungsnetz (Bild 2) wurde der Wert 10 % des kapazitiven Erdschlussstroms nicht überschritten. Hier besteht somit durchaus die Option, dass trotz hoher kapazitiver Erdschlussströme die im Fehlerfall auftretenden Restströme in Ihrer Höhe unkritisch sein können.

Resistiver Ansatz

Durch den resistiven Ansatz kann unter Annahme einer Worst-Case-Betrachtung für die Oberschwingungsanteile am Erdschluss-Reststrom für alle Anlagen oder für Anlagen in einer Mindestentfernung zum speisenden Umspannwerk die Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung nachgewiesen werden, wobei sich generell kleine betriebsfrequente An-

teile am Erdschluss-Reststrom und kleine harmonische Anteile an der Betriebsspannung als vorteilhaft erweisen.

Durch die Kenntnis der Maximalwerte für:

- den zulässigen Erdschlussreststrom $I_{RES\ max}$
- den Restwirkstrom (Grundschwingsungsanteil des Reststromes) I_{rw}
- den Restblindstrom I_{rb}
- die Höhe der harmonischen Spannungen $U_{q\ max}^{(\nu)}$
- der Resistanz der Erdungsanlage $R_{E\ max}$

kann mittels folgender Gleichung die sogenannte „Grenzresistenz“ ermittelt werden:

$$R_{Grenz} = 3 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{\nu>1} U_{q\ max}^{(\nu)2}}}{\sqrt{I_{RES\ max}^2 - I_{rw\ max}^2 - I_{rb\ max}^2}} - 3 \cdot R_{E\ max}$$

An welcher Stelle des Mittelspannungsnetzes die gesamte Fehlerimpedanz des Erdschlusspfades minimal wird, hängt von Ort und Ausprägung der Resonanzstellen ab. Als Worst Case wird von vollständiger Resonanz an jeder Stelle des Mittelspannungsnetzes ausgegangen und die Reaktanzen somit vernachlässigt. Entscheidend für die Stromhöhe ist demnach die Resistanz des Erdschlusspfades.

Diese kann für jede Anlage im Netz rechnerisch bestimmt werden, in Abhängigkeit von den ermittelten Resistenzen gilt:

- für $R_{1\ Ltg} + R_{2\ Ltg} + R_{0\ Ltg} \geq R_{Grenz} \rightarrow$ Anlage bzgl. Einhaltung der Berührungsspannungen unkritisch
- für $R_{1\ Ltg} + R_{2\ Ltg} + R_{0\ Ltg} < R_{Grenz} \rightarrow$ Anlage überprüfen!

Mit gängigen Netzberechnungsprogrammen lässt sich über eine Leitungsverfolgung die Resistanz des Erdschlusspfades automatisiert errechnen und somit Netzknoten jenseits der errechneten Grenzresistenz bestimmen. Als praktikables Vorgehen hat sich das Errechnen einpoliger Kurzschlüsse für die einzelnen Netzknoten im Standard-Schaltzustand herausgestellt. So lassen sich die Kurzschlussresistenzen als

Realteil der Mit- und Nullsystemimpedanz direkt ermitteln. Für Anlagen, bei denen die Resistanz des Erdschlusspfades die Grenzresistanz unterschreitet, sind weitere Möglichkeiten zum pauschalen Nachweis der Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen zu überprüfen oder eine Messung zu veranlassen. Es hat sich an zahlreichen Beispielen gezeigt, dass sich die Anzahl dieser Prüffälle durch die vorgenannten rechnerischen Betrachtungen signifikant reduzieren lässt. Das minimierte den operativen Aufwand und eröffnet neue Freiheitsgrade für einen sicheren Netzbetrieb.

Fazit und Ausblick

Der Ausbau und die Erneuerung von Mittelspannungsnetzen mit Resonanz-Sternpunktterdung werden auch zukünftig zu einer deutlichen Zunahme an kapazitiven Erdschlussströmen führen und somit eine Bewertung des Erdschluss-Reststromes in den Fokus rücken.

Resonanzpunktgeerdete Mittelspannungsnetze können auch dann normenkonform betrieben werden, wenn der Erdschluss-Reststrom über der in der VDE 0845-6-2 angeführten Obergrenze liegt (60 A bei 20 kV-Netzen). Werden Doppel-erdschlüsse bei der Auslegung der Erdungsanlagen und der Bewertung von induktiven Beeinflussungen aufgrund der Betriebserfahrung des Netzbetreibers nicht berücksichtigt, muss hierfür nur nachgewiesen werden, dass bei Fließen des Erdschluss-Reststromes die zulässigen Berührungsspannungen eingehalten werden.

Der Resistive Ansatz, der auf einer Worst-Case-Betrachtung der Oberschwingungsanteile basiert, ermöglicht es, rechnerisch und möglichst softwaregestützt, eine *Vielzahl an Anlagen hinsichtlich Berührspannung als unkritisch einzustufen*. Aufgrund der Resistanz des Erdschlusspfades wird der maximal mögliche Erdschluss-Reststrom begrenzt, so dass für Anlagen in einer Mindestentfernung zum speisenden Umspannwerk die Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung gewährleistet ist.

Weitere Anlagen können durch die Ausweisung globaler Erdungssysteme und die Berücksichtigung von Reduktionsfaktoren an Kabelabgängen von weiteren Untersuchungen ausgeschlossen werden. Häufig verbleiben in einem Netzgebiet nur noch vereinzelte Anlagen, bei denen durch konkrete Messungen die Einhaltung der zulässigen Berührspannung zu belegen ist bzw. Maßnahmen zur Verbesserung der Erdungsverhältnisse vorzunehmen sind.

Untersuchungen zur Erweiterung und Verbesserung der genannten Methoden sind weiterhin Bestandteil der laufenden Forschung.

Stellvertretend für die Autorinnen und Autoren des VDE Impulses:



Thomas Bruch
N-ERGIE Netz GmbH / Nürnberg
Netzentwicklung Strom



Marcel Engel
Netze BW GmbH / Stuttgart
Konzernexperte Netzentwicklung



Malte Pauels
EWE Netz GmbH / Oldenburg
Asset Management Energie

Aktuelles aus den Fachbereichen

ETG Fachbereich A1

E1 Elektrische Maschinen und Antriebe, Mechatronik

Erfreulicherweise konnte sich der Fachbereich A1 („Elektrische Maschinen, Antriebe, Mechatronik“) im Herbst 2021 erstmals seit dem Beginn der Corona-Pandemie wieder persönlich zu einem Arbeitsgruppentreffen zusammenfinden.

Das Treffen fand bei der Firma Phoenix Contact E-Mobility GmbH in Schieder-Schwalenberg südlich von Hannover statt. Die Sitzung war mit 15 Teilnehmenden gut besucht. Wir hatten die Gelegenheit, uns fachlich auszutauschen und über drei interessante Fachvorträge zu diskutieren.

Herr Michael Heinmann (Geschäftsführer) begrüßte die Teilnehmenden und erläuterte die Unternehmensgeschichte und die aktuelle Ausrichtung. Neben den klassischen Schaltschrankprodukten im Bereich der Elektrotechnik ist Phoenix seit einigen Jahren verstärkt durch die Aktivitäten bei der Ladeinfrastruktur von Elektroautos in Erscheinung getreten. Man entwickelt und fertigt praktisch alle Komponenten, die für den Bau von AC- und DC-Ladesäulen erforderlich sind.

Anschließend stellte Herr Pucker die Technik der Hochvoltstecker vor, mit denen eine theoretische Ladeleistung von bis zu 500 kW möglich ist, (500 A bei 1.000 V), auch wenn praktische Fahrzeuge derzeit lediglich bis 280 kW ermöglichen. Der Aufbau dieser Stecker ist überraschend komplex mit eigenem Controller und Sensorik. Die Kühlung erfolgt mit Hilfe eines Wassermantels. Besonders spannend waren die Ausblicke im Hinblick auf das Laden von Nutzfahrzeugen, wobei zukünftig Spannungen bis 1.500 V und Ströme bis 2.000 A möglich sein sollen (Megawatt-Charging). In diesem Bereich ist die Normung derzeit noch im Fluss.

Danach wurden die Teilnehmenden von Herrn Abbas in den Erdungsgarten geführt und konnten dort bei verschie-

denen Messungen von Erdungswiderständen an unterschiedlichen Tiefenerdnern und an einem Wurfer der selbst Hand anlegen.

Die Veranstaltung wurde von den Teilnehmenden hervorragend angenommen und wir bedanken uns herzlich bei der Firma Phoenix Contact für die Gastfreundschaft.

Die Mitgliederzahl des FB A1 hat sich trotz Corona positiv entwickelt. Aktuell sind 31 Mitglieder dem Fachbereich zugeordnet, davon sind acht in 2021 neu hinzugestoßen.

Im November 2021 hat der FB A1 zum wiederholten Male die Konferenz „Antriebssysteme“ ausgerichtet. Die Konferenz wurde in der Vergangenheit zusammen mit dem VDI unter gemeinsamer Leitung mit einem Kollegen aus dem Maschinenbau durchgeführt. Der VDI hat sich leider nach dem eher mäßigen Erfolg der letzten Veranstaltung wieder zurückgezogen, so dass die Tagung nun als reine VDE Konferenz ausgerichtet wurde.

Das Konzept einer Tagung für primär mechatronische Themen aus dem Bereich der Antriebssysteme wurde jedoch beibehalten und der Programmausschuss war demzufolge interdisziplinär besetzt. Ebenfalls beibehalten wurde die Mischung von eher praktisch orientierten Beiträgen aus der Industrie und aus wissenschaftlichen Beiträgen aus dem universitären Umfeld (auf Wunsch mit Peer-Review und Veröffentlichung im IEEE Explorer). Um der Veranstaltung neue Impulse einzuhauchen, wurde ein dreiköpfiges Leitungsteam gebildet (Prof. Binder, Prof. Doppelbauer, Prof. Neudorfer) und zusätzlich versucht, den deutschsprachigen Raum einschließlich Österreich und der Schweiz anzusprechen (D-A-CH).

Der ursprüngliche Wunsch nach einer Präsenzveranstaltung in der Nähe von München, ließ sich aufgrund verschärfter Hygienevorgaben leider nicht realisieren, so dass die Konferenz am 9. und 10. November rein online stattfand. Es konnten eine Reihe hochkarätiger Keynotes aus der Industrie eingeworben werden, was das Interesse an der Tagung nochmals steigerte.

Aus der Vielzahl der kommenden fachlich interessanten Konferenzen und Veranstaltungen, seien insbesondere die folgenden hervorgehoben:

- IKMT, Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, 14. bis 15.09.2022 in Linz
- FEMAG Anwendertreffen, 11. bis 12.11.2022 in Aalen
- More Drive, 1. bis 2.9.2022 in Wien
- EEMODS, Energy Efficiency in Motor Driven Systems, 3. bis 5.5.2022 in Stuttgart



Prof. Dr.-Ing.
Martin Doppelbauer
Karlsruher Institut für
Technologie (KIT),
Vorsitzender ETG FB A1

ETG Fachbereich A2

E2 Bahnen mit elektrischen Antrieben

1 Turnusmäßige (halbjährliche) Fachbereichssitzungen

- 17.06.2021, virtuell über MS TEAMS, 18 Teilnehmende
- 22.09.2021, ALSTOM Hennigsdorf (plus virtuell), 9–16 Teilnehmende

2 Neue bzw. ausgeschiedene Mitglieder

Wir begrüßen als neue Mitglieder im Fachbereich die folgenden Herren:

- Sebastian Terfloth von der Siemens Mobilty Infrastruktur (dort tätig seit 2017), Schwerpunkt Systementwicklung von Oberleitungen, als Ersatz für Martin Altmann. E-Highway ist ein besonderes Projekt in seinem Bereich. Herr Terfloth hat sein Studium des Verkehrsingenieurswesens an der TU Dresden absolviert, die Promotion läuft gerade.
- Helmut Möller von der DB Systemtechnik. Als Physiker hat er sich vor 25 Jahren bei DaimlerChrysler mit der Herstellung von Siliziumkarbid-Halbleitern beschäftigt, die mittlerweile ja auch in Bahnstromrichtern zum Einsatz kommen. Nach verschiedenen Stationen bei der DB (International, Einkauf) leitet er heute das Kompetenzzentrum „Komponenten und Funktionen“ mit ca. 130 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.
- Ulrich Zimmermann vom Lehrstuhl für Bahnbetrieb und Infrastruktur der TU Berlin. Er hatte dort mit dem Schwerpunkt Planung & Betrieb studiert und ist aktuell wissenschaftlicher Mitarbeiter. Das Institut ist Kooperationspartner von Bombardier Transportation (heute Alstom) bei der Entwicklung des batterieelektrischen Triebzuges aus der Talent 3 Plattform und kümmert sich um „alles außerhalb der eigentlichen Fahrzeugtechnik“.

3 Außendarstellung

Herr von Stockhausen berichtete, dass mittlerweile drei Fortsetzungen unseres Textdokuments im ETG *journal* erschienen sind; die letzten beiden Teile folgen in 2022. Weiterhin ist die Wabenstruktur auch auf der Webseite des Fachbereichs sichtbar.

Herr Wittemann regte an, dass wir als Reaktion auf den Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung eine klare Position unseres Fachbereichs zur Verkehrspolitik erarbeiten sollten und vereinbaren, mit welchen konkreten Maßnahmen unsere Sichtbarkeit in Öffentlichkeit und Politik erhöht werden soll. Ein Thema könnte sein, für die politischen Ziele einer

Verkehrswende/-verlagerung einen konkreten Maßnahmenkatalog zu benennen.

4 Organisation von Fachtagungen

4.1 Elektrische Fahrzeugantriebe und -ausrüstungen (Coswig, 22. + 23. 04. 21)

Wegen der Aktualität der Themen hatte der Programmausschuss auf eine neuerliche Verschiebung verzichtet und die Tagung digital angeboten, mit der Einladung an alle Referenten und Moderatoren, persönlich ins „Studio“ nach Coswig zu kommen.

Die Erfahrung mit diesem Format ist trotz einiger technischer Probleme positiv (150 Teilnehmende), gerade die Podiumsdiskussion unter der Moderation von Stefan von Mach war sehr gelungen und interessant. Etwas schleppend liefen dagegen die Fragerunden nach den Vorträgen.

Eine Zusammenfassung der Tagung ist unter Mitwirkung von Sven Klein in der *eb* und im ETG *journal* 02/2021 erschienen.

4.2 ETG Kongress 2021 (virtuell)

Wir haben zusammen mit den Fachbereichen A1 und Q1 ein Konzept für eine eigene Session zur Elektromobilität entwickelt, das im Wissenschaftlichen Beirat der ETG auf große Zustimmung stieß. Die eingeworbenen Vorträge zum „Energiefluss in der E-Mobilität“ wurden gut angenommen, auch wenn der rote Faden und die Idee der Doppelvorträge „Pärchen“ im virtuellen Format nicht so gut vermittelt werden konnten.

5 Arbeitsprogramm und Ausblick 2021 / 22

5.1 Sicherheit und Zulassung elektrischer Bahnausrüstungen (Dresden, 9. + 10. 12. 21) wurde aufgrund der Corona-Pandemie auf den 12. + 13. 05. 2022 verlegt

Bei den elektrischen Bahnausrüstungen gibt es derzeit in vielen Bereichen spannende Innovationen wie

- die Integration regenerativer Energien in die elektrischen Bahnnetze,

- neue Hochtechnologiekomponenten für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben
- Energieversorgungsanlagen für die Ladung von Fahrzeug-Energiespeichern,
- Lösungsansätze zum automatisierten Fahren außerhalb der klassischen Nahverkehrssysteme,
- vernetzte Diagnosesysteme in Fahrzeugen und Infrastrukturanlagen oder
- zahlreiche Neuerungen bei der Fahrgastinformation und -lenkung.

Bevor diese Innovationen im Betrieb nutzbringend umgesetzt werden können, müssen sie umfassend abgesichert, zugelassen und gegebenenfalls auch standardisiert werden. Zusätzlich ergeben sich dabei neue Herausforderungen vor allem aus dem Bereich der IT-Sicherheit.

Die Podiumsdiskussion unter dem Motto „Automatisches Fahren – vom People Mover zur Vollbahn“ soll sich in gewohnt lebhafter Weise damit auseinandersetzen, ob und wie man die Erfahrungen von Metros und gegebenenfalls auch autonom fahrenden Fahrzeugen auf die Vollbahn übertragen kann.

5.2 VDV-Schienenfahrzeugtagung 2022 in Leipzig

Auf der kommenden SFA-Sitzung des VDV im November soll der Tagungstermin diskutiert werden; man geht aktuell von Mai-Juli 22 aus. Mitglied in beiden Gremien (SFA und FB A2) ist Herr Kähler.

5.3 Elektrische Fahrzeugantriebe und -ausrüstungen (Dresden, Dezember 2022)

Erste Ideen zur Themenfindung werden in der Auftaktsitzung des Programmausschusses am 8.12. in Dresden diskutiert, damit ein Call for Papers herausgegeben werden kann.



Dr.-Ing.
Carsten Söffker
Alstom Transport
Deutschland GmbH,
Vorsitzender ETG FB A2

E3 Wabenstruktur zur Elektromobilität (Teil 4)

Im ETG journal 02/2020 wurde diese Artikelserie begonnen. Im Rahmen derer wird der Ansatz des ETG Fachbereichs A2 vorgestellt, mit Hilfe einer Wabenstruktur die vernetzten Fragen und Terminologien der E-Mobilität in einem konformen System darzustellen und inhaltlich agil weiterentwickeln zu können. Die Artikelserie ist in 5 Teilen angelegt, in dieser Ausgabe erscheint nachfolgend der vorletzte 4. Teil.

Der Fachbereich A2 „Bahnen mit elektrischen Antrieben“ der ETG im VDE beschäftigt sich mit dem Gesamtsystem „Elektrische Bahn“ und deckt damit naturgemäß viele Sachgebiete der Elektromobilität (kurz: E-Mobilität) ab. Das Gesamtwissen ist in langer Tradition – seit Vorstellung des ersten elektrischen Schienenfahrzeuges 1879 – sukzessive gewachsen und hat mit der Einführung der Leistungs- und Mikroelektronik in den letzten Jahrzehnten neue, bedeutende Impulse erhalten, die nun für Straßenfahrzeuge im Rahmen der E-Mobilitäts-Offensive ebenfalls breite Anwendung finden. Viele technische Grundlagen werden durch die sehr zu begrüßende rasante Entwicklung bei den elektrischen Straßenfahrzeugen derzeit neu herausgearbeitet und mit zum Teil abweichender Terminologie in einen neuen Kontext gestellt, so dass eine schlüssige und kohärente Darstellung der Zusammenhänge zuweilen leidet.

Daher hat sich der Fachbereich A2 der ETG zur Aufgabe gemacht, die Fragen der E-Mobilität ganzheitlich zu betrachten und zu strukturieren, um die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Technik und Betriebsweisen aufzuzeigen, sowie Gemeinsamkeiten aller elektrischen Verkehrsmittel herauszustellen. Der nachfolgend vorgestellte Ansatz verfolgt dabei das Ziel, eine Art wachsendes „Nachschlagewerk“ zu schaffen, das zunächst die relevanten Begriffe definiert und erläutert, sodann in einen allgemeingültigen Gesamtzusammenhang stellt und mit entsprechenden Quellen belegen will.

Um dies zu realisieren ist im Fachbereich A2 die Idee entstanden, die Zusammenhänge in Form einer Wabenstruktur wiederzugeben. Hierbei lässt sich durch das Hexagonal-Prinzip die Evidenz der Zusammenhänge rein optisch sehr gut darstellen und damit Themen trotz mehrfacher Zusammenhänge leicht miteinander vernetzen. Ferner können die einzelnen Themenfelder agil entwickelt werden, wenn das „Wissen“ jeder Wabe über das Internet bereitgestellt und mit den Anwendern sogar interaktiv fortentwickelt werden. Mit jeder Wabe lassen sich zudem im Sinne einer Wissensdatenbank wichtige Quellen aus der Fachliteratur verlinken, so dass nach und nach ein wertvolles und omnipotentes Nachschlagewerk entsteht.

Die Abbildung der Wabenstruktur (Bild 1) zeigt die Vorteile der gewählten Strukturierung. Die Anzahl der Satelliten kann bei Erfordernis erweitert werden. Um jede Wabe im Zentrum eines Satelliten, also um jeden Kernaspekt, können weitere Waben für Subthemen, die sich im Laufe der Entwicklung zusätzlich ergeben, angeordnet werden.

Alle Waben können interaktiv vernetzt und verlinkt werden – sogar bei denjenigen Fällen, in denen sich Subthemen unter verschiedenen Aspekten in mehreren Satelliten wiederfinden sollten.

Die Wabenstruktur und die hier in Teilen vorgestellten Erläuterungen sind in der Gesamtdarstellung auf der Webseite www.vde.com/elektromobilitaet-waben zu finden.

6 Energiezuführung

Unter Energiezuführung (siehe auch Kap. 2.3) versteht man die Schnittstelle zwischen der Energieverteilung einerseits und der Elektrischen Ausrüstung auf dem Fahrzeug andererseits. In diesem Kapitel wird dabei vorrangig auf die elektrische Energiezuführung eingegangen, die Energiezuführung durch Betankung mit anderen Kraftstoffen, die dann On-Board mitgeführt werden, wird im Unterabschnitt 6.4 thematisiert.

6.1 Konduktiv

Die elektrische Energiezuführung erfolgt entweder kontinuierlich oder – in Verbindung mit einem On-Board-Speicher – nur zu bestimmten Zeiten und/oder an festgelegten Orten. Dafür werden die Energiequelle und -senke leitfähig miteinander verbunden.

Die Wahl der Art der Versorgungsspannung (AC- oder DC-Bahnstrom) ist entweder historisch bedingt, oder durch die Verkehrsart (innerstädtisch im überbauten Bereich mit hoher Fahrzeugzahl, überland mit geringer Fahrzeugzahl, aber großen Übertragungswegen). Letztendlich bestimmt die Minimierung der Anzahl der Energieumformungen („Unterwerk oder Fahrzeug-Trafo“) die Wahl des Systems.

Alle modernen Schienenfahrzeuge haben einen Drehstromantrieb, bei dem die elektrische Maschine im Bremsbetrieb generatorisch arbeitet und die so reperierte Energie an die speisenden Netze zurückgegeben werden kann, sofern eine Verbindung zur Energieverteilung besteht und ein Verbraucher in Form anderer Fahrzeuge, Speicherung oder rückspeisefähiger Unterwerke vorhanden ist.

6.1.1 Fahrdrat

Bei Schienenfahrzeugen weit verbreitet ist die einpolige Fahrleitung, die von Unterwerken gespeist wird. Die Stromabnahme auf Fahrzeugseite erfolgt mit einem Pantographen.

Vorteile: Erprobtes, standardisiertes und effizientes System, das hohe Geschwindigkeiten erlaubt, sowie eine kontinuierliche Energieübertragung zwischen Fahrzeugen.

Eine Sonderbauform stellt die feste Deckenstromschiene dar, die vor allem in Tunnelabschnitten zum Einsatz kommt, weil sie weniger Lichtraumprofil benötigt.

Trolley-Busse, und neuerdings auch manche LKW (fern), werden aus Gründen der Rückstromführung über eine zweipolige Fahrleitung versorgt, was einen erhöhten Aufwand bei Errichtung und Instandhaltung bedeutet.

6.1.2 Stromschiene

Im Bereich von Metro und People Mover ist eine (in der Regel einpolige) Seitenstromschiene gebräuchlich.

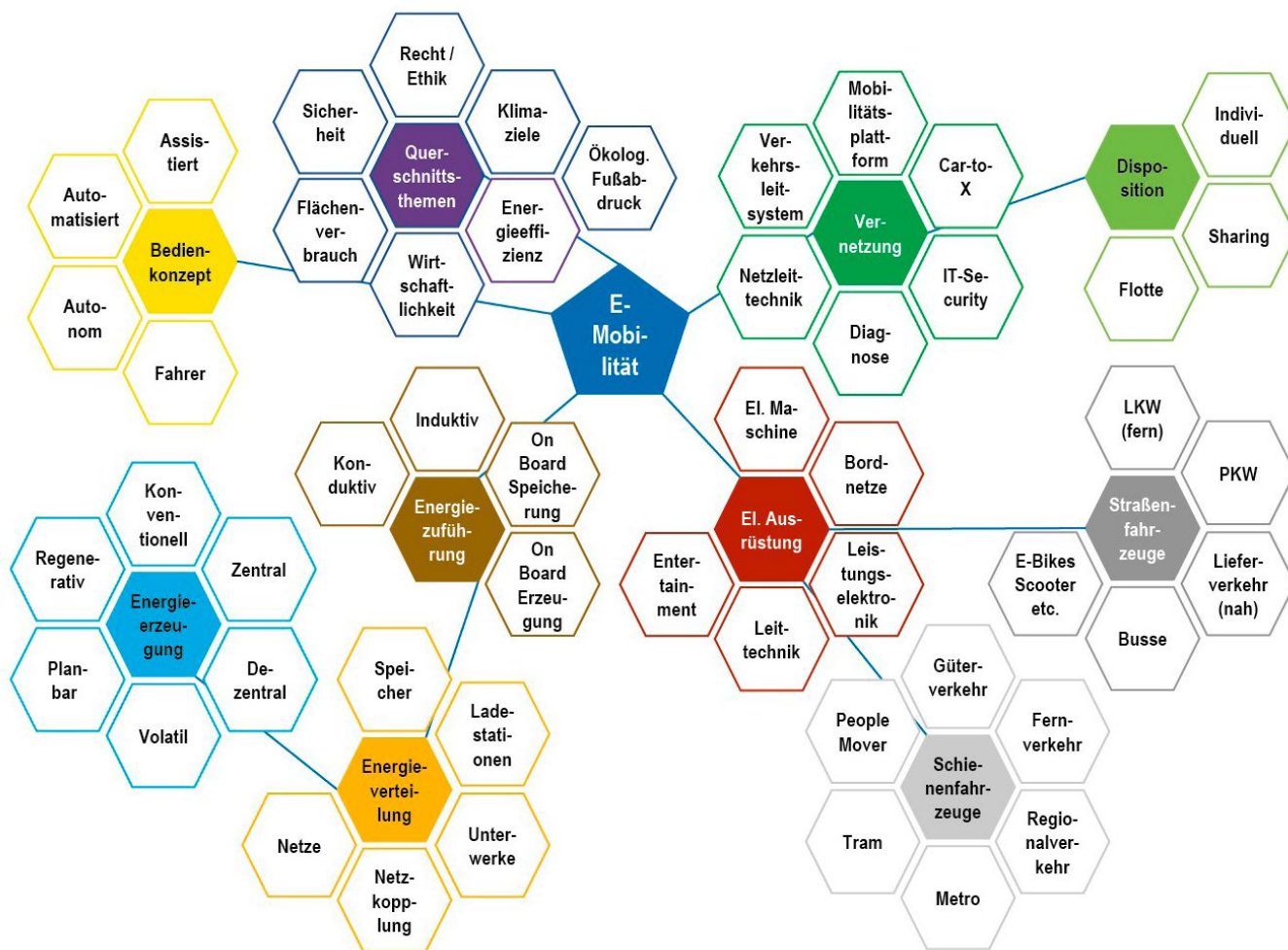


Bild 1: Wabenstruktur zur Elektromobilität

Vorteile: hohe Stromtragfähigkeit, kein Platzbedarf auf dem Dach (geringes Lichtraumprofil senkt Baukosten)

Nachteile: Lücken an Gleisverbindungen, Berührschutz, Geschwindigkeit

Eine Sonderbauform stellt die Bodenschiene für Trams dar, die für deren oberleitungslosen Betrieb entwickelt wurde – motiviert aus städtebaulichen Gründen. Hiervon kann auch eine zweipolige Variante für LKW (fern) abgeleitet werden.

6.1.3 Rückstromführung

Alle einpoligen Systeme nutzen das Gleis für die Rückstromführung zum Unterwerk. Dabei ist zu beachten: Minimierung von Streuströmen bei DC-Bahnen, Begrenzung der Potenzialanhebung, Trennung von Rückströmen und von Maßnahmen der Schutzerdung, Kompensation der Fahr- und Rückleitungs-

systeme zur Reduzierung der Blindleistung und als EMV-Maßnahme. Bei Systemen ohne Gleis (typisch für Straßenfahrzeuge) muss die Energierückführung ebenfalls über ein Stromabnehmersystem erfolgen, was fahrzeugseitig erhöhte Schutzmaßnahmen erfordert.

6.1.4 Stecker (manuell)

Elektrische Straßenfahrzeuge ohne Energieerzeugung on-Bord (z.B. Dieselgenerator) haben üblicherweise keine kontinuierliche Energiezuführung, sondern einen On-Board-Speicher, der stationär nachgeladen werden muss. Abhängig vom Bedienkonzept wird hierzu in den meisten Fällen ein mehrpoliger Stecker verwendet, der aber nur eine begrenzte Leistung übertragen kann.

Als Standard haben sich inzwischen im PKW- und Nutzfahrzeugbereich Ty-

pen etabliert, die eine AC-Ladung (Vorteil Anschluss an Steckdose) und eine effiziente DC-Ladung (vorgeschaltetes Ladesystem) ermöglichen.

6.1.5 Kontaktsysteme (automatisch)

Das häufigste automatische Kontaktsystem für die stationäre Nachladung eines On-Board-Speicher besteht aus einem beweglichen (oft mehrpoligen) Stromabnehmer und dem passenden Gegenstück. Dabei kann der Stromabnehmer sowohl auf dem Straßenfahrzeug angeordnet sein als auch stationär am Lademast.

Eine alternative Ausführung zur Dachmontage stellt die Anordnung im Unterflurbereich dar, wobei der bewegliche Teil ebenfalls stationär oder mobil sein kann. Das letztgenannte Prinzip gibt es auch für die Gelegenheitsladung einer Tram, die die Distanz zwischen den

Haltestellen mittels eines On-Board-Speichers überbrücken kann.

6.2 Induktiv

Bei Schienenfahrzeugen kennt man die induktive Energiezuführung lediglich von der Magnetschwebbahn. Diese erfolgt auch während der Fahrt und darf nicht mit dem Linearmotor verwechselt werden, der dem Fahrtrieb dient und eine klassische elektrische Maschine ersetzt.

Für Straßenfahrzeuge, insbesondere Busse, ist seit einigen Jahren ein System in der Erprobung, das stationär während der Standzeit den On-Board-Speicher aufladen kann.

Vorteile: Berührungslos, robust gegen Umwelteinflüsse

Nachteile: Positionierung, begrenzter Wirkungsgrad, begrenzte Leistungsdichte

6.3 On-Board-Speicher

Abhängig vom Betriebskonzept und den technischen Daten des Fahrzeuges bestimmen der notwendige Energieinhalt (Kapazität) und der Leistungsbedarf nicht nur die Dimensionierung des Speichers, sondern auch seine Technologie.

Wenn die Energiezuführung nicht kontinuierlich erfolgt, können solche Speicher neben der stationären Nachladung auch die rekuperierte Bremsenergie des Fahrzeuges aufnehmen und verbessern so Energieeffizienz und Reichweite. Die On-Board-Speicher können damit zur Kappung der aufgenommenen Leistung angewandt werden, indem die gewonnene Bremsenergie kurzzeitig gespeichert wird und beim darauf folgenden Fahrzyklus die Energieaufnahme aus der Fahrleitung reduziert.

Alle Speicher werden mittels Leistungselektronik angebunden, um einen geregelten Energiefluss zu ermöglichen.

6.3.1 Batteriespeicher

Klassische Bleiakkumulatoren spielen für den Fahrtrieb keine Rolle mehr, weil sie bezüglich Leistungsdichte und Lebensdauer gravierende Nachteile aufweisen. Sie kommen nur für die Stützung der Bordnetze zum Einsatz.

Derzeit werden zumeist verschiedene Varianten von Li-Ionen-Batterien als Traktionsbatterie verwendet. Es werden aber auch andere Typen eingesetzt, oder Hybridsysteme zusammen mit Kondensatorspeichern aufgebaut.

6.3.2 Kondensatorspeicher

Doppelschichtkondensatoren haben bei längerer Lebensdauer eine höhere Leistungsdichte als Batteriespeicher, aber eine geringere Energiedichte. Deshalb kommen sie in der Regel dann zum Einsatz, wenn häufige, aber kurze Lade- und Entladezyklen auftreten.

6.4 On-Board-Erzeugung

Das Mitführen von Erzeugungsanlagen elektrischer Energie auf dem Fahrzeug lohnt sich dann, wenn hohe Reichweiten den Einsatz von Speichern sehr hoher Energiedichte erfordern, oder wenn der Verbrauch zeitlich von der Energieerzeugung entkoppelt werden soll, weil diese zunehmend regenerativ und damit volatil erfolgt.

Zu unterscheiden wäre zwischen Aggregaten, die mittels Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine (Generator) aus klassischen oder synthetischen Kraftstoffen Energie für die elektrische Ausrüstung erzeugen, und Brennstoffzellen, die dies auf einem direkten elektrochemischen Wege tun.

7 Energieverteilung

Die Energieverteilung ist als Bestandteil der Energiewirtschaft ein Teil der Energieversorgung und grenzt an die Fachbereiche „Energieerzeugung“ und „Handel“, wobei inzwischen auch der Handel mit Blindleistung zu einem bedeutenden Faktor (Stichwort „Regelenergiemarkt“) wird. Unternehmen, die in diesem Wirtschaftssektor tätig sind, werden als Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) bezeichnet.

In diesem Kapitel wird dabei vorrangig auf die Aspekte der Energiezuführung eingegangen, die im Zusammenhang mit elektrisch angetriebenen Verkehrssystemen stehen.

7.1 Netze

Energieverteilungsnetze werden nach verschiedenen Kriterien klassifiziert:

- Spannungsebenen:
 - Höchstspannung mit 220 kV oder 380 kV
 - Hochspannung mit 60 kV bis 150 kV
 - Mittelspannung mit 1 kV bis 35 kV
 - Niederspannung unter 1 kV
- Funktion:
 - Übertragungsnetz zur landesweiten Energieverteilung von den Kraftwerken zu Verbraucherschwerpunkten sowie zum Anschluss an das internationale Verbundnetz
 - Verteilnetz für die Grobverteilung elektrischer Energie mit einem Leistungsbedarf von 10 bis 100 MW
 - Mittelspannungsnetz zur Verteilung elektrischer Energie an regional verteilten Stationen (größere Einrichtungen wie zum Beispiel Krankenhäuser oder Fabriken), Stadtwerke, die ebenfalls kleinere Kraftwerke oft auch mit Kraft-Wärme-Kopplung betreiben, speisen ihren Strom in das Mittelspannungsnetz.
 - Niederspannungsnetze sind für die Feinverteilung zuständig
- Struktur:
 - Verbundnetz
 - Inselnetz
 - Einspeisenetz für die Aufnahme und Weiterleitung von Strom aus erneuerbaren Energien, das durch den Betreiber der Energieanlagen errichtet und betrieben wird

Öffentliche Beachtung findet aktuell der fehlende Ausbau der Höchstspannungsnetze von Norddeutschland, wo die Erzeugung aus erneuerbaren Energien stark ausgebaut wurde, in die Ballungs- und Industriezentren im Rhein-Main-Gebiet und in Süddeutschland.

Intelligente Stromnetze (Smart Grids) kombinieren Erzeugung, Speicherung und Verbrauch. Eine zentrale Steuerung stimmt diese optimal aufeinander ab und gleicht somit Leistungsschwankungen – insbesondere durch fluktuierende erneuerbare Energien – im Netz aus. Wird der Anteil solcher „unkoordi-

nierter“ Erzeuger zu hoch, steigt das Risiko von instabilen Netzzuständen. Die Vernetzung erfolgt dabei durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie dezentral organisierter Energiemanagementsysteme zur Koordination der einzelnen Komponenten.

Entwicklungsanstrengungen fließen in den Ausbau der Einspeisenetze zur weiteren Nutzung erneuerbarer Energien.

Ausreichende Versorgungssicherheit bei gewöhnlich schwankender Energieabnahme und zunehmend volatiler Erzeugung aus den erneuerbaren Energien Photovoltaik und Windenergie, bieten eine starke Vernetzung der Energieverteilung sowie ergänzend Energiespeicher.

7.2 Netzkopplung

Die Verbindung von Stromnetzen mit unterschiedlichen Spannungsebenen erfolgt über Transformatoren, die in Umspannwerken installiert sind. Der Stromfluss durch die Netze und zu Netzen mit gleicher Spannungsebene erfolgt über Schaltanlagen.

Stromnetze mit unterschiedlicher Frequenz oder Phasenzahl oder Stromnetze, die nicht miteinander synchronisiert sind, können über moderne Umrichter (z. B. auch HGÜ-Anlagen) oder in älteren Umformer-Anlagen mittels Motor-/Generator-Kombinationen miteinander gekoppelt werden. In Deutschland werden seit vielen Jahrzehnten derartige Technologien zur Kopplung der 50 Hz-Landesenergieversorgung mit dem 16,7 Hz-Bahnenergieversorgung angewendet.

7.3 Unterwerke

Als Unterwerk wird ein Umspannwerk bezeichnet, das Wechselspannung oder Gleichspannung zur Versorgung der Eisenbahnen, Stadt- und Straßenbahnen, der U- und S-Bahnen sowie der Oberleitungsbusse bereitstellt.

Aktuelle Entwicklungen beinhalten die Integration von Energiespeichern, die Rückspeisefähigkeit bei Gleichstrombahnen und die Versorgung von Ladestationen für Batteriefahrzeuge aus dem dreiphasigen Landesnetz.

7.4 Ladestationen

Eine Ladestation bezeichnet im allgemeinen eine elektrische Anlage, welche dazu dient, mobilen akkubetriebenen Geräten, Maschinen oder Fahrzeugen durch einfaches Einstellen oder Einstecken Energie zuzuführen.

Zunehmend werden im städtischen Nahverkehr und Regionalverkehr Ladestationen entsprechend großer Leistung bis über 2 MW zum Wiederaufladen batterieelektrischer Busse und Regionaltriebwagen in Betriebshöfen und an Endhaltestellen bzw. Bahnhöfen installiert.

7.5 Speicherung

Angesichts des wachsenden Anteils der fluktuierenden erneuerbaren Energien muss das Energieversorgungssystem flexibler werden, damit die System- und Versorgungssicherheit weiterhin gewährleistet bleibt. Energiespeicher stellen eine von mehreren Optionen dar, um diese Flexibilität zu erhöhen.

Für das Verkehrswesen werden aktuell und künftig vor allem Kurzzeitspeicher in Form von Batterien verwendet. Batterien weisen einen relativ hohen Gesamtwirkungsgrad auf und sind für einen großtechnischen Einsatz noch relativ teuer. Hier werden aber deutliche Kostensenkungen in den nächsten Jahren erwartet. Druckluftspeicher und Pumpspeicherwerke sind wegen besonderer geologischer und geografischer Anforderungen auf Einzelanwendungen beschränkt.

Als Langzeitspeicher bieten Power-to-Gas-Anlagen eine interessante ökologische Alternative, bei denen Wasser mit Hilfe von Elektroenergie aus erneuerbaren Energien in Wasserstoff und gegebenenfalls weiter in Methan umgewandelt wird. Der Vorteil hierbei ist auch, dass der Wasserstoff (in bestimmten Grenzen) und das Methan (ohne Einschränkung) in das bereits vorhandene Erdgasnetz eingespeist und dort gespeichert werden können. Die eingespeisten Gase können stationär rückverstromt oder z.B. für mobile Anwendungen (Brennstoffzellenfahrzeuge, Gasmotorfahrzeuge) genutzt werden. Die Technologie ist derzeit noch teuer und die Wirkungsgrade sind gering. Um die notwendigen Kostensenkungspos-

tenziale zu erreichen, führt die Bundesregierung derzeit die „Forschungsinitiative Energiespeicher“ durch.

Der 5. Teil und damit der Abschluss der Artikelserie folgt in ETG *journal* 02/2022.

Autoren:

- Dr.-Ing. Daniel Horstmann,
Siemens Mobility GmbH
- Dipl.-Ing. Sven Klein,
Stadler Pankow GmbH
- Dr.-Ing. Ludger Schülting,
Kiepe Electric GmbH
- Dr.-Ing. Carsten Söffker,
ALSTOM Transport Deutschland GmbH
- Dipl.-Ing. Ulrich von Stockhausen,
VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg
- Dipl.-Ing. Nyascha Wittemann,
Technische Univ. Dresden
- Dipl.-Ing. Martin Walcher,
ehemals: Siemens Mobility GmbH

ETG Fachbereich V1

E4 Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie

Unter dem Vorsitz von Herrn Dr. Martin Kleimaier und dessen Stellvertreter, Herrn Prof. Dr. Hendrik Lens (Universität Stuttgart) konnten die Arbeiten zu dem Themenkomplex „Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie“ zielgerichtet fortgeführt werden.

Mit dem geänderten und verschärften Klimaschutzgesetz ist Deutschlands Weg zur Klimaneutralität vorgezeichnet. Nun ist es an der Zeit zu handeln. Um in Deutschland bis spätestens zum Jahr 2045 Klimaneutralität über alle Sektoren zu erreichen, müssen fossile Energieträger so weit und vor allem so schnell wie möglich substituiert werden (Defossilisierung). Dies ist auch eine Grundvoraussetzung für die Nutzung von EE-Strom für die angestrebte Kopplung zu bzw. Integration von anderen Sektoren wie Verkehr, Wärme und Wasserstoff.

Im Berichtsjahr wurde insbesondere an dem Positionspapier zum Thema „Entwicklung der Stromerzeugung und des Speicherbedarfs unter dem Aspekt eines Ausstiegs aus Kernenergie und Kohleverstromung“ gearbeitet. Ein erster Entwurf der „Kernaussagen und Handlungsempfehlungen“ wurde bereits im Rahmen des ETG Kongresses 2021 vorgestellt und mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern diskutiert. Die Auswertung der online erfolgten Umfrage zur Akzeptanz der vorgeschlagenen Kernaussagen und Handlungsempfehlungen ist ebenso wie die im Chat eingegangenen Kommentare in die Überarbeitung eingeflossen. Nach mehreren Sitzungen des Fachbereichs hat ein Redaktionsausschuss eine finale Fassung des Positionspapiers erstellt, das nach Freigabe durch den ETG Vorstand Anfang November auf der ETG Homepage veröffentlicht worden ist: www.vde.com/etg-V1-Handlungsbedarf (s. auch S. 33 in dieser Ausgabe). Kommentare und Anregungen hierzu nehmen wir gerne entgegen. Bitte melden Sie sich hierfür beim Vorsitzenden des Fachbereichs, Herrn Dr. Kleimaier.

In Ergänzung zu diesem Positionspapier sind zu allen angesprochenen The-

men Factsheets bzw. Hintergrund-Informationen in Arbeit, welche die im Positionspapier getroffenen Aussagen mit Fakten und zusätzlichen Informationen untermauern sollen. Es wird angestrebt, dass bis Ende 2021 zu allen Themen erste Entwürfe hierzu vorliegen.

Nachdem die V1-Fachtagung im Oktober 2020 nur als Online-Veranstaltung durchgeführt werden konnte, wurde eine Neuauflage einer Präsenzveranstaltung geplant, die am 16.–17. November 2021 wieder im Kongress-Palais in Kassel stattfinden sollte. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen der Corona-Inzidenz mussten wir jedoch kurzfristig wieder auf ein Online-Format ausweichen. Einen ausführlichen Bericht über die Fachtagung finden Sie auf S. 38.

Die nächste Fachtagung zu diesem Themenkomplex ist für den 21.–22. November 2022 in Kassel geplant. Dann hoffentlich auch wieder als Präsenzveranstaltung.

Abweichend von der bei ETG Fachbereichen üblichen Sitzungsfrequenz von zwei Sitzungen pro Jahr wurde auch in diesem Jahr wieder an kürzeren Zeitabständen zwischen den Sitzungen festgehalten. Im Berichtsjahr wurden insgesamt sechs Online-Meetings durchgeführt. Obwohl das Online-Format die höhere Sitzungsfrequenz erleichtert, sollten aus Sicht des Fachbereichs zukünftig ergänzend auch wieder Präsenz-Meetings abgehalten werden. Weitere engagierte Mitglieder sind im Fachbereich V1 gerne willkommen. Bei Interesse melden Sie sich bitte bei der ETG Geschäftsstelle (etg@vde.com).

Schwerpunktmäßig wurde in den Sitzungen an der Erstellung des Positionspapiers gearbeitet. Für die Bereitstellung von Hintergrundinformationen konnten Referenten zu PV-Potenzialen in Deutschland sowie zu den Entwicklungen im Bereich Kraftwerke (Gasmotoren und Gasturbinen) eingeladen werden. Für die kommenden Sitzungen sind als Schwerpunktthemen „Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff“ als flexible Last, Speicher und zur Nutzung für die flexib-

le Stromerzeugung (gesicherte Leistung) sowie „Zellulare Energiesysteme“ geplant.

Die Abstimmung mit anderen Fachbereichen und Task Forces wird durch die gleichzeitige Mitarbeit einzelner Mitglieder gewährleistet, z.B. beim Fachbereich V2, beim Fachausschuss V2.1 „Netzregelung und Systemführung“ sowie bei den Task Forces „Zukunftsbild“ und „EnerFlex“. Insbesondere an Letzterer arbeiten bereits mehrere V1-Mitglieder aktiv mit.

Aktive Fachausschüsse:

FA V1.1: „Wasserstoff und Brennstoffzellen“ (zusammen mit VDI-GEU)

Leiter: Martin Pokojski

Stellvertreter: Martin Kleimaier

Die in 2019 präsentierte VDI VDE Studie „Die Bedeutung von Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen für die Elektromobilität“ war auf den PKW-Bereich ausgerichtet und sollte nun um Aussagen zum Thema Nutzfahrzeuge erweitert werden. Hierfür wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die eine ergänzende Kurzstudie mit dem Titel „Klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ erstellt hat. Diese ist inzwischen sowohl seitens ETG als auch von VDI-GEU freigegeben und veröffentlicht worden (S. 33). Im Berichtsjahr wurde vom FA noch keine weitere Veranstaltung für die Präsentation der Ergebnisse geplant.

Das Thema Schienenfahrzeuge wurde in der Kurzstudie zunächst ausgeklammert, soll aber in einer separaten Studie zu gegebener Zeit aufgegriffen werden.



Dr.-Ing.
Martin Kleimaier
kom. Vorsitzender
ETG FB V1



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Hendrik Lens
Universität Stuttgart,
stv. Vorsitzender
ETG FB V1

E5 Energieübertragung und -verteilung

Inhaltliche Arbeit

Die Arbeit der ETG im Bereich der Energieübertragung und -verteilung war auch im Jahr 2021 – wie so vieles andere – von der Corona-Pandemie geprägt. So konnten sowohl die Frühjahrs- als auch die Herbstsitzung des Fachbereichs lediglich als Web-Konferenzen durchgeführt werden.

Einen Schwerpunkt der inhaltlichen Arbeit stellte im vergangenen Jahr weiterhin das Thema Flexibilisierung des Strom- aber auch des gesamten Energiesystems dar. Hier konnte der Fachbereich V2 im April 2021 das Thesepapier „7 Thesen zur Flexibilisierung des Energiesystems“ vorlegen, welches unter der Leitung von Prof. Wolter aus Magdeburg erarbeitet wurde. Aufgrund einer Vielzahl von positiven Rückmeldungen zu diesem Thesepapier wird die Arbeit in einer gleichlautenden ETG Task Force weitergeführt und detailliert. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der weiteren Ausgestaltung des „zellularen Ansatzes“. Der enormen Resonanz auf dieses Thema wurde durch die Implementierung des neuen ETG Fachausschuss V 2.4 „Zellulare Energiesysteme“ unter Leitung von Frau Dr. Theresa Noll (Westnetz GmbH) und Herrn Björn Uhlemeyer (Bergischen Universität Wuppertal) Rechnung getragen. Hier soll im Frühjahr 2022 ein Umsetzungskonzept für zellulare Energiesysteme vorgelegt werden.

Veranstaltungen

Gleich zu Beginn des Jahres 2021 konnte die ETG Fachtagung „Hochautomatisierter Netzbetrieb“ zum VDE Impuls „Systematisierung der Autonomiestufen in der Netzbetriebsführung“ unter Leitung von Prof. Braun im Online-Format mit einer sehr guten Beteiligung durchgeführt werden.

Ebenso im Online-Format erfolgte der ETG Kongress 2021 im Mai, maßgeblich geprägt vom Themenfeld Übertragungs- und Verteilungsnetze. Die

rege Teilnahme mit über 150 Veröffentlichungen in Form von Vorträgen oder Postern und deutlich über dreihundert Teilnehmenden, ist für eine Online-Veranstaltung als großer Erfolg zu werten. Der ursprünglich in Präsenzform in der historischen Stadthalle in Wuppertal geplante ETG Kongress wird nun 2023 an gleicher Stelle nachgeholt.

Zudem wurde Ende Juni unter Leitung von Herrn Prof. Luther aus Erlangen die Fachtagung „Perspektiven der Übertragungstechnik“ – ebenfalls im Online-Format – mit ca. 50 Teilnehmenden durchgeführt.

Personalien

Um der großen fachlichen Breite des Fachbereichs V2 geeignet Rechnung tragen zu können, wird dieser zukünftig von einem Vorsitzenden (aus dem Bereich der Netzbetreiber) unterstützt durch zwei Stellvertreter (aus dem Bereich der Industrie bzw. der Wissenschaft) geführt. Neuer Vorsitzender des Fachbereichs V2 ist seit der Herbstsitzung 2021 Dr. Johannes Schmiesing (Avacon Netz GmbH), die Stellvertreter sind Dr. Uwe Kaltenborn (HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH) sowie Prof. Markus Zdrallek (Bergische Universität Wuppertal).



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Markus Zdrallek
Bergische Universität
Wuppertal,
Vorsitzender ETG FB V2
bis Herbst 2021



Dr.-Ing. Johannes
Schmiesing
Avacon Netz GmbH,
Vorsitzender ETG FB V2
seit Herbst 2021

ETG Fachbereich V3

E6 Energiewirtschaft

Der Fachbereich V3 Energiewirtschaft der ETG beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Frage, wie der energiewirtschaftliche Rahmen im Zuge der Energiewende weiterentwickelt werden sollte. Dabei versuchen wir Lösungen zu entwickeln, die den teilweise konkurrierenden energiepolitischen Zielen einer sicheren, effizienten und umweltfreundlichen Energieversorgung gleichermaßen gerecht werden.

Im Jahr 2021 haben wir uns neben kleineren Themen wie der Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung des ETG Kongresses maßgeblich mit der Frage auseinandergesetzt, wie das politische Ziel der vollständigen Dekarbonisierung bis 2045 erreicht werden kann. Dazu haben wir die Ergebnisse von Top-Down-Systemoptimierungen mit exemplarischen konkreten Überlegungen in einzelnen Regionen verglichen und Übereinstimmungen sowie Unterschiede herausgearbeitet. Ins-

gesamt passten die Analysen an vielen Punkten gut zusammen. Der klare Trend zu einer deutlich stärkeren Rolle des Energieträgers Strom auch im Bereich der Wärmeversorgung sowie ein hoher Fokus auf Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz zeigten sich übereinstimmend. Abweichungen gab es allerdings bei der Rolle des Wasserstoffs gerade im Bereich der Fernwärme. Die Ursachen dieser Abweichungen sollen im kommenden Jahr noch genauer analysiert werden.

Im Zuge der Umsetzung der beschleunigten Dekarbonisierung haben wir uns auch mit der Frage beschäftigt, wie zielführend die aktuell diskutierten Vorschläge zur Anpassung des energiewirtschaftlichen Rahmens sind. Eine erste Bewertung der Vorschläge wurde vom Fachbereich Energiewirtschaft erstellt. Nach einer noch ausstehenden Konsolidierung soll diese Bewertung breiter in der ETG verteilt werden. Zwar teilen wir dabei die Sicht, dass der energiewirtschaftliche Rahmen an einigen Stellen angepasst werden muss, um die Planung der verschiedenen Infrastrukturen besser aufeinander abzustimmen, Stromnetze möglichst gut auszulasten und vorhandene Flexibilität für den

Markt zu erschließen. Kritisch sehen wir aber den Trend, dass von einigen Stakeholdern verstärkt Lösungsvorschläge in die Diskussion eingebracht werden, die sich daraus ableiten, dass der eigentlich volkswirtschaftlich sinnvolle Netzausbau nicht umgesetzt werden kann. Am Ende werden diese Vorschläge das ohnehin kostspielige Gesamtprojekt Energiewende nochmals deutlich verteuern und die Komplexität des erforderlichen EE-Ausbaus weiter vergrößern.

Im kommenden Jahr wird sich der Fachbereich Energiewirtschaft u.a. intensiver mit Fragen beschäftigen, die sich aus dem verstärkten Ausbau des Offshore-Windes ergeben. Dabei sollen sowohl Aspekte der marktlichen Einbindung von Offshore-Wind als auch Vor- und Nachteile von offshore-seitigen Vermaschungen diskutiert werden.



*Dr.-Ing.
Klaus von Sengbusch
50Hertz Transmission
GmbH,
Vorsitzender ETG FB V3*

ETG Fachbereich Q1

E7 Leistungselektronik und Systemintegration

Der Fachbereich Q1 „Leistungselektronik und Systemintegration“ engagiert sich in der Ausrichtung und Ausgestaltung verschiedener Veranstaltungen und Tagungen, in denen die aktuellsten Entwicklungen, die die Leistungselektronik aber auch angrenzende Fachgebiete betreffen, aufgezeigt werden und Gelegenheit zum intensiven fachlichen Austausch bieten.

Auch das Jahr 2021 wurde von der Corona-Pandemie geprägt. Das Arbeitstreffen des Q1-Fachausschusses fand online statt.

Auch der ETG Kongress 2021 wurde online ausgerichtet. Der Fachausschuss Q1 Leistungselektronik trug erfolgreich zu dessen Ausgestaltung durch eine Reihe von Übersichts-Beiträgen zu

Stand und Trends technischer Systeme der Energietechnik z.B. für Batterieladetechnik oder Traktionsantriebe bei.

Der bereits für 2020 geplante Industriearbeitskreis Mittelspannungs-Leistungselektronik wurde weiter verschoben und ist nun für den 19.09.2022 in Berlin geplant. Im Fokus stehen Stromrichter in der Mittelspannungsebene als evidenten Thema in der Energieversorgung. Dazu gehören auch aktive und passive Bauelemente der Leistungselektronik, Isolationstechnik, Mess- und Prüftechnik sowie Modellbildung und Simulation, so dass mehrere für die ETG relevante Themen adressiert werden. Die Veranstaltung wird maßgeblich durch das Fraunhofer ISE Freiburg unterstützt und dient vorwiegend Teilneh-

menden aus der Industrie als Plattform für Austausch und Netzwerkbildung.

Das Jahr 2021 diente auch der Vorbereitung großer Veranstaltungen, die für das Jahr 2022 aber auch 2023 geplant sind. Dies sind:

- 12. International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS), 15. bis 17. 03. 2022 in Berlin
- European Conference on Power Electronics and Applications (EPE – ECCE Europe), 05. bis 09. 09. 2022 in Hannover
- Tagung Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen, 20. bis 21. 04. 2023 in Bad Nauheim.

Die CIPS findet im Rhythmus von 2 Jahren statt und wird gemeinsam von Q1 und ECPE veranstaltet. Das Programm umfasst i.d.R. ca. 100 eingereichte und eingeladene Beiträge aus der internationalen Fachwelt zu Bauelementen der Leistungselektronik, Aspekten von Gehäusen und ihrer Montage in mechatronischen Systemen sowie der daraus

resultierenden Zuverlässigkeit und Aspekten der elektromagnetischen Verträglichkeit. Der Fachbereich Q1 sieht darin Schlüsselthemen der modernen Leistungselektronik in den diversen Stromversorgungen, Energieverteilungs- und Antriebslösungen an. Die 12. CIPS in 2022 ist als Präsenz-Veranstaltung geplant.

Die European Conference on Power Electronics and Applications (EPE – ECCE Europe) findet jedes Jahr in einer der europäischen Leistungselektronik-Metropolen statt und wird 2022 in Hannover ausgerichtet. Sie bietet eine Austausch-Plattform zwischen Spezialisten aus Industrie, Instituten und Hochschulen zu den Schwerpunkten leistungselektronische Systeme und Komponenten. Bei dieser Konferenz handelt es sich um die umfassendste europäische Fachkonferenz zur Leistungselektronik. Der Fachbereich Q1 unterstützt bei dieser „Heim“-EPE in Vorbereitung sowie Durchführung der Konferenz.

Die Tagung „Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen“

wird im Frühjahr 2023 in Kooperation mit ECPE – European Center for Power Electronics e.V – in Bad Nauheim ausgerichtet. Diese Fachtagung gibt einen Überblick über die in den letzten 6 Jahren erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Leistungselektronik, und einen Ausblick auf die kommenden Innovationen. Die Beschränkung auf eingeladene Übersichtsvorträge verleiht der deutschsprachigen Tagung einen eigenen Charakter; Teilnehmende schätzen sie wegen ihrer hohen Qualität und ihrem großen Informationsgehalt.

Der Fachausschuss Q1.1 Kontaktlose Energie- und Datenübertragung führte ein Arbeitstreffen durch. Bei diesem Arbeitstreffen standen die Schwerpunkte aktueller Stand der Normung IEC 61980, Entwicklung der EMV-Normungsaktivitäten CISPR 11 und aktuelle Entwicklungen und Projektergebnisse auf dem Gebiet der induktiven Energie- und Datenübertragung im Fokus. Insbesondere zum Thema EMV-Normung wurden in Fachvorträgen aktuelle Grenzwertvorschläge der IARU und EBU sowie aktuelle Ergebnisse

einer Vergleichsmessung zur Auswirkung induktiver Ladeinrichtungen auf Amateurfunksysteme aus der Schweiz vorgestellt und diskutiert. Weiterhin vorgestellt und diskutiert wurden die Themen Bidirektionales induktives Laden (Technische Lösungen und Geschäftsmodelle) und Automatisches Parken und Laden.

Der Fachbereich Q1 Leistungselektronik und Systemintegration freut sich in diesem Jahr über einen ETG Literaturpreisträger. Herr Patrick Hofstetter (Universität Bayreuth/Siemens AG) wurde für seinen Beitrag „Parasitic Turn-On of SiC-MOSFETs – Tuning a Bug into a Feature“ als Preisträger ausgewählt. Herzlichen Glückwunsch!



Frau Prof. Dr.-Ing.
Regine Mallwitz
Technische Universität
Braunschweig,
Vorsitzende ETG FB Q1

ETG Fachbereich Q3

E8 Kontaktverhalten und Schalten

1. Organisation von Tagungen, Diskussionsveranstaltungen, Schulungsseminaren

Geplante Veranstaltungen:

- 26. Albert-Keil-Kontaktseminar „Kontaktverhalten und Schalten“, 30. März 2022 – 1. April 2022, KIT Karlsruhe, Tulla-Hörsaal

Abgeschlossene Veranstaltungen 2021:

Keine

Wiederholungsveranstaltungen:

- Seminare an der Technischen Akademie Wuppertal e. V.
- Seminare an der Technischen Akademie Esslingen
- Seminare im Haus der Technik e. V. Essen

2. Bearbeitung von Fachthemen

Edelmetallbeschichtung für Kontaktsysteme, Schalten und Unterbrechung von Gleichstromsystemen (z. B. Photovoltaik, Bordsysteme, ...), Aluminium als Leiterwerkstoff und dessen Anschlusstechnik, DC-Schalttechnik, veränderte Rahmenbedingungen für Betriebsmittel und Netzschutz, Auswirkung auf Schaltgeräte, Isolierstoff für die Niederspannung, Kontaktmaterialien, neue Entwicklungen und Tendenzen, Simulation in der Schaltgeräte- und Anlagentechnik, Lichtbogensimulation, Prüfverfahren und Ausrüstungen für elektrische Kontakte und Geräte, Steckverbindertechnik, Schleifringsysteme

3. Erstellung von Fachberichten/ Veröffentlichungen

Regelmäßige Beiträge im ETG *journal* und in der ITG Mitgliederinformation



Prof. Dr.-Ing.
Frank Berger,
Technische Universität
Ilmenau,
Vorsitzender ETG FB Q3

Foto: A. Kradisch

ETG Task Forces

E9 Neue Task Force „Hochautomatisierung von Nieder- und Mittelspannungsnetzen“

Im Juli 2021 hat die neue ETG Task Force „Hochautomatisierung von NS- und MS-Netzen“ mit einem Kick-Off gestartet. Die Gestaltung von hochautomatisierten Verteilnetzen spielt im Zuge der Energiewende und der Dezentralisierung von Energieerzeugung eine große Rolle. Wir haben mit dem Leiter der Task Force, Dr.-Ing. Sönke Loitz, und dessen Stellvertreter, Dr.-Ing. Dominik Hilbrich, ein Interview über die Inhalte der Task Force geführt.

ETG journal: Was war Ihre Motivation zu dieser Task Force?

Sönke Loitz: Im letzten Jahr gab es eine ETG Task Force, die sich mit Autonomiestufen für den Stromnetzbetrieb beschäftigt hat. Die Resonanz auf die Veröffentlichung war sehr positiv. Auch die Veranstaltungen waren sehr gut besucht mit vielen inspirierenden Impulsen. Gleichzeitig haben wir das Thema im ETG ITG Fachausschuss Schutz- und Automatisierungstechnik immer wieder auf der Agenda. Das Thema ist ja ganz und gar nicht neu. Auf der anderen Seite sehen wir, dass die Stromnetze auf der Mittel- und Niederspannungsebene noch immer einen sehr geringen Durchdringungsgrad von Automatisierungstechnik haben. Wir haben uns gefragt: Warum ist das so? Wo wollen oder wo müssen wir denn diesbezüglich hin? Und wie wäre der Weg zu einem hohen Automatisierungsgrad? Diese Antworten wollen wir in der Task Force geben.

ETG journal: Und wie war die Resonanz?

Sönke Loitz: Sehr erfreulich! Wir sind nun über 30 Mitwirkende aus der Industrie, von Universitäten und Instituten sowie von den Netzbetreibern. Dabei freut mich besonders die hohe Zahl der teilnehmenden Netzbetreiber. Im Juli war nun der Auftakt der Task Force.

Dominik Hilbrich: In den ersten Diskussionen haben wir auch gleich gemerkt, dass die Task Force so etwas wie einen Nerv getroffen hat. Wir waren schnell in einem offenen Austausch zum Thema.

ETG journal: Stellen wir uns schwierig vor, so digital zu starten...

Dominik Hilbrich: Ja, natürlich ist das erst einmal komisch. Man sieht sich nicht immer und kann z.B. ausbleibende Reaktionen nicht so richtig einschätzen. Aber das sind wir doch mittlerweile alle gewöhnt. Wir konzentrieren uns auf die Vorteile: Die Teilnahmequote ist sehr hoch, da die Reisen wegfallen. Und die Kollaborations-Tools sind hoch entwickelt, so können wir uns z.B. in verschiedene Räume aufteilen und in kleineren Runden diskutieren. Das hilft enorm.



Dr.-Ing. Sönke Loitz,
Netze BW GmbH,
Leiter der TF Netzautomatisierung

Dr.-Ing. Dominik Hilbrich,
Institut ie³ – Technische Universität
Dortmund, stv. Leiter der TF
Netzautomatisierung

ETG journal: Und wo stehen Sie jetzt?

Sönke Loitz: Wir hatten nun die dritte Sitzung und haben die großen Themen identifiziert, in denen wir jetzt in die Tiefe gehen wollen. Das sind u.a. die Themen „Engpassmanagement und Systemdienstleistungen“, „Autonomes Schalten“, „Netzzustandsschätzung und -bewertung“ sowie „Integration von Automatisierungssystemen“. Zu den Themen haben wir nun Arbeitsgruppen gebildet, die unabhängig voneinander arbeiten können. Der Austausch über den Stand der Arbeitsgruppen erfolgt dann in den Sitzungen.

ETG journal: Wir sind gespannt auf die Ergebnisse!

Dominik Hilbrich: Wir auch! Wir planen im Herbst diesen Jahres mit der inhaltlichen Arbeit abzuschließen – mit dem Stand, den wir bis dahin haben. Auch das ist vielleicht neu: Wir haben kein vordefiniertes Ziel, was wir alles erreichen wollen. Am Ende ist es uns wichtiger, auch zeitnah zu veröffentlichen und damit Impulse für weitere Entwicklungen zu geben.

ETG Task Forces

E10 Neue Task Force „Digitaler Zwilling in der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft“

Das Konzept des *Digitalen Zwillings* gibt es schon seit vielen Jahren und stammt ursprünglich aus der Raumfahrt. Bereits im Rahmen der Apollo-Mission wurde ein zweites, identisches Raumschiff entwickelt, um Abläufe, wie z.B. Reperaturen, am Leitstand auf der Erde durchspielen zu können, bevor korrespondierende Schritte am Raumschiff im Weltall durchgeführt wurden. Im Zuge der Entwicklung von Rechnersystemen wurde bei späteren Missionen statt einer realen Kopie des Raumschiffs digitale Kopien geschaffen, die als digitaler Zwilling bezeichnet werden. Im Laufe der Jahre sind weitere Anwendungen auch ausserhalb der Raumfahrt entstanden und ein *Digitaler Zwilling* kann als ein virtuelles Abbild von Gegenständen, Prozessen oder auch Dienstleistungen verstanden werden.

Mit der fortschreitenden Digitalisierung werden *Digitale Zwillinge* nun auch zunehmend im Bereich der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft für vielfältigste Anwendungen vorgeschlagen und eingesetzt. Typische Beispiele hierfür sind:

- neue Trainings- und Schulungssysteme in der Systemführung
- neue digitale Abbilder zum Monitoring von Objekten, wie Schaltanlagen oder Betriebsmittel
- die digitale Verknüpfung von Prozessen und Daten mit der realen Welt über alle Bereiche eines Netzbetreibers von der Planungsabteilung über das Assetmanagement bis hin zur Systemführung

Digitale Abbilder des realen Energiesystems sind zwar schon seit Jahren fester Bestandteil der Leittechnik zur Unterstützung des Leitstellenpersonals, die zunehmende Leistungsfähigkeit von Informations- und Kommunikationsinfrastruktur eröffnet aber mannigfaltige, neue Möglichkeiten. Eine klare Definition des *Digitalen Zwillings* in der Netz- und Energiewirtschaft sowie die Einordnung neuer und bestehender Konzepte sind Voraussetzung für Handlungssicherheit und seinen mehrwertbringenden Einsatz.

Aus diesem Grund wurde die neue ETG Task Force „Digitaler Zwilling in der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft“ ins Leben gerufen und ist im Juli 2021 erfolgreich gestartet. Die Task Force besteht aus ca. 40 Expertinnen und Experten von Netzbetreibern, Technologieherstellern, IT-Dienstleistern und aus der Forschung. Sie arbeitet derzeit in monatlich stattfindenden Online-Sitzungen und hat damit begonnen im Rahmen eines breit angelegten Brainstormings Voraussetzungen, Anwendungen und Eigenschaften von Digitalen Zwillingen zusammenzutragen. Basierend darauf wurde eine erste Arbeitsversion für eine mögliche Definition erarbeitet, die im weiteren Verlauf der Task Force noch geschärft wird.

Aktuell beschäftigt sich die Task Force im Rahmen von drei parallel arbeitenden Untergruppen mit den folgenden Themen:

- Erstellung einer Übersicht der elektrizitäts- und netzwirtschaftlichen Prozesse und Abbildung von Hauptkomponenten und Datenmodellen für die Digitalisierung
- Ausarbeitung der Mehrwerte und Herausforderungen, die sich durch den Einsatz und die Umsetzung von Digitalen Zwillingen ergeben
- Zusammenstellungen von Trends in der Software-, IKT und Leittechnikindustrie für technologische Lösungen und neue Technologien für Digitale Zwillinge

Erste Ergebnisse werden voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2022 vorgelegt. Diese sollen insbesondere auch Handlungsempfehlungen zur nutzbringenden Umsetzung eines Digitalen Zwillings in der Elektrizitäts- und Netzwirtschaft beinhalten.

Bei Fragen wenden Sie sich gerne an
ulf.haege@tu-dortmund.de.



Dr.-Ing. Ulf Häger,
 TU Dortmund,
 Institut für Energiesysteme,
 Energieeffizienz und Energiewirtschaft (ie³),
 Leiter der TF Digitaler Zwilling

ETG Task Forces

E11 Neue Task Force „Flexibilisierung des Energiesystems“

Unter der Flexibilisierung des Energiesystems wird das aktive Hinwirken auf ein zukünftig verändertes, situativ angepasstes Verhalten der Energieanbieter oder -kunden an Energienetzen verstanden. Bezugspunkt ist dabei das bekannte Versorgungssystem, bei dem zu jedem Zeitpunkt die Stromerzeugung mittels mehr oder weniger flexiblen Kraftwerken an einen – im Wesentlichen ungesteuerten – Strombedarf angepasst wurde. Im Hinblick auf ein möglichst kostengünstiges Energiesystem, müssen in Zukunft sowohl die erneuerbare Stromerzeugung als auch der Strombedarf flexibilisiert werden. Diese Flexibilisierung des Energiesektors kann mittels technischer und / oder wirtschaftlicher Anreize und / oder verpflichtender ordnungspolitischer Vorgaben erfolgen.

Der VDE hat im April 2021 ein Thesenpapier zur zukünftigen Ausgestaltung der Flexibilisierung des Energiesystems veröffentlicht (www.vde.com/de/etg/publikationen/studien), das die Grundlage für die Etablierung einer Task Force war, die branchenübergreifend erarbeiten wird, wie und unter welchen Voraussetzungen die Flexibilisierung einen sinnvollen Beitrag zum Gelingen der Energiewende beisteuern kann. Diese Task Force (TF EnerFlex) hat im Juli 2021 ihre Arbeit aufgenommen.

Nach Rekapitulation der Thesen wurde festgestellt, dass es weiterhin große Unterschiede in der Interpretation von Flexibilität, ihrem Nutzen und ihren Nutzern gibt, so dass sich die Task Force entschlossen hat, zunächst saubere Definitionen zu erarbeiten. Anschließend erfolgt eine Quantifizierung von vorhandenen und hebbaren Flexibilitätspotenzialen differenziert nach unterschiedlichen Eigenschaften und Einsatzgebieten. Diese werden im Folgenden beleuchtet und die entsprechenden Prozesse sowie der regulatorische Rahmen für

die eigene Nutzung, den marktorientierten und netzdienlichen Einsatz sowie deren Zusammenwirken dargestellt, die Verfügbarkeit bewertet und der jeweilige Nutzen nach volks- und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten analysiert. Neben den technischen Erwägungen werden auch die Kosten für die Flexibilitätsnutzung und -bereitstellung abgeschätzt und dem Nutzen gegenübergestellt. Hierzu werden Case Studies definiert und auch Alternativen zur Flexibilitätsnutzung, z. B. klassischer Netzausbau, berücksichtigt. Dies dient der Identifizierung notwendiger Anpassungen am regulatorischen Rahmen zur Schaffung geeigneter Anreize, Nutzungsformen und Regelungen für den Flexibilitätseinsatz. Abschließend werden aus den Erkenntnissen Handlungsempfehlungen sowohl für das Marktdesign als auch den Regulierungsrahmen abgeleitet und eine Bewertung der Ausbaupfade von Flexibilität und ihres möglichen technischen und wirtschaftlichen Beitrags zum zukünftigen Energiesystem vorgenommen.

Die Task Force plant, die Ergebnisse in einer Studie zu veröffentlichen, die im ersten Halbjahr 2023 vorliegen soll.



*Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,
Leiter der TF EnerFlex*

Rückblick

E12 Netzregelung und Systemführung: Transformation der Stromversorgung – Netzregelung und Systemstabilität mit Umrichtern

14. ETG/GMA Online-Tagung am
28. September 2021

Die 14. Tagung des ETG/GMA Fachausschusses „Netzregelung und Systemführung“ fand am 28. September 2021 von 13:15 Uhr bis 17:15 Uhr aufgrund der Corona-Situation als nachmittägliche Online-Veranstaltung statt. Dennoch konnte die stattliche Zahl von 87 Teilnehmenden erreicht werden.

Der Titel „Transformation der Stromversorgung – Netzregelung und Systemstabilität mit Umrichtern“ war mit Bedacht deshalb gewählt worden, da sich in der Elektrischen Energieversorgung mit dem Übergang zu erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne auch die Notwendigkeit des vermehrten Einsatzes von netzbildenden Umrichtern für Speichertechnologien, HGÜ-Verbindungen und auch von Wind- und PV-Anlagen selbst ergibt. Da sich die netzbildenden Umrichter aber in vielen Aspekten anders verhalten als die bisher eingesetzten Synchron-Generatoren, müssen die Punkte „Netzregelung und Systemstabilität mit Umrichtern“ zukünftig gesondert und vertiefter behandelt werden. Hier sind vor allem auch Fragen des Überstromschutzes verstärkt zu adressieren. Aber auch die Notwendigkeit der Spannungs- und Blindleistungsregelung darf beim Einsatz von Umrichtern nicht vernachlässigt werden.

Deshalb wurden für diese Veranstaltung aus einer Vielzahl von Einreichungen sieben Beiträge ausgewählt, welche diese Herausforderungen besonders adressierten. Alle Einreichungen wurden vorher in Fachausschusssitzungen detailliert präsentiert, so dass dem eingesetzten Programmausschuss eine solche Auswahl auch tatsächlich möglich war.

Diese sieben Vorträge spannten den Bogen von möglichen auftretenden Störungen im Netz, welche zukünftig auch mit Umrichtern beherrscht werden müssen (January 8th 2021 Event Analysis & Reflections), über die Frage der daraus resultierenden notwendigen Systemstabilität für Transiente Stabilität, Frequenzstabilität und Spannungsstabilität ausgehend vom Netzentwicklungsplan 2021 (Ergebnisse aus den Stabilitätsanalysen im NEP21), der Aufrechterhaltung der notwendigen Momentanreserve im System (Integration von RPSA und STATCOM-Anlagen in das Übertragungsnetz), der zukünftigen Blindleistungsregelung aus allen Netzebenen (Aktive Blindleistungsregelung aus dem Verteilnetz), der Stabilität der Netzregelung mit Umrichtern (Grundlagen und Stabilitätsaspekte netzbildender Umrichter), dem Kurzschlussverhalten dieser neuen Elemente im Netz (Kurzschlussverhalten netzspannungseinprägender Wechselrichter und Auswirkungen auf die Stabilität des elektrischen Verbundsystems) hin zum letztendlichen Einsatz dieser netzbildenden Umrichter in Wasserstoff-Speicherkraftwerken für die zukünftige

vollumfängliche Regelung des Netzes auch ohne konventionelle Kraftwerke (Frequenz- und Winkelregelung mit dem Wasserstoff-Speicherkraftwerk).

Das Tagungsprogramm mit den jeweiligen Vortragenden wurde deshalb wie folgt arrangiert:

13:15 – 13:45: January 8th 2021 Event Analysis & Reflections

Giorgio Giannuzzi, Terna; Walter Sattinger, Swissgrid

13:45 – 14:15: Ergebnisse aus den Stabilitätsanalysen im NEP21 | Marvin Kaiser, Amprion GmbH

14:30 – 15:00: Integration von RPSA und STATCOM-Anlagen in das Übertragungsnetz | Klaus Vennemann, Amprion GmbH

15:00 – 15:30: Aktive Blindleistungsregelung aus dem Verteilnetz | Moritz Koch, Philipp Kertscher, WEMAG Netz GmbH

15:30 – 16:00: Grundlagen und Stabilitätsaspekte netzbildender Umrichter | Pascal Winter, Holger Wrede, Hochschule Düsseldorf; Martin Coumont, Jutta Hanson, TU Darmstadt

16:15 – 16:45: Kurzschlussverhalten netzspannungseinprägender Wechselrichter und Auswirkungen auf die Stabilität des elektrischen Verbundsystems |

Nils Wiese, Daniel Duckwitz, Fraunhofer IEE;

Christian Schöll, Hendrik Lens, Universität Stuttgart

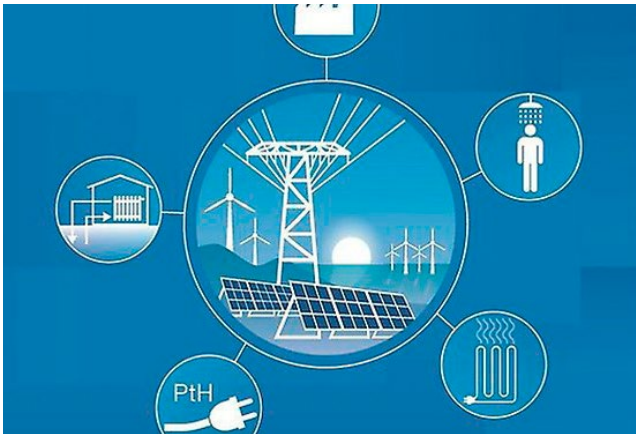
16:45 – 17:15: Frequenz- und Winkelregelung mit dem Wasserstoff-Speicherkraftwerk | Nayeemuddin Ahmed, Paul Gerdun, Martin Töpfer, Universität Rostock

Die einzelnen Beiträge wurden engagiert vorgetragen und haben danach, im Rahmen der Möglichkeiten einer Online-Veranstaltung, jeweils eine intensive Diskussion ausgelöst. Viele noch offene Fragestellungen konnten adressiert werden und für die Vortragenden waren daraus neue Blickwinkel auf ihr Forschungsgebiet möglich. Generell waren sich alle Teilnehmenden einig, dass eine zukünftige Elektrische Energieversorgung nur mit erneuerbaren Energien möglich ist und dass dabei die notwendige sichere Netzregelung und Systemführung jederzeit aufrecht erhalten werden kann. Voraussetzung ist allerdings, dass sowohl über die Einspeisung erneuerbarer Energien in Deutschland selbst als auch über den notwendigen Import von Wasserstoff aus dem Ausland genug Energie zur Verfügung steht und das auch für alle anderen Aspekte der Sektorenkopplung.

Anlässlich dieser Veranstaltung ging auch die Leitung des Fachausschusses „Netzregelung und Systemführung“ von Sen.-Prof. Dr. Harald Weber, Universität Rostock in die bewährten Hände von Frau Prof. Dr. Jutta Hanson von der Technischen Universität Darmstadt über. Mit diesem Wechsel besteht kein Zweifel daran, dass der Fachausschuss auch weiter gut durch die turbulenten Zeiten der Transformation der Elektrischen Energieversorgung in Deutschland geleitet werden wird.



Sen.-Prof. Dr. Harald Weber,
Universität Rostock,
wiss. Tagungsleiter und
Leiter FA V2.1 Netzregelung und Systemführung
(bis September 2021)



VDE Impuls

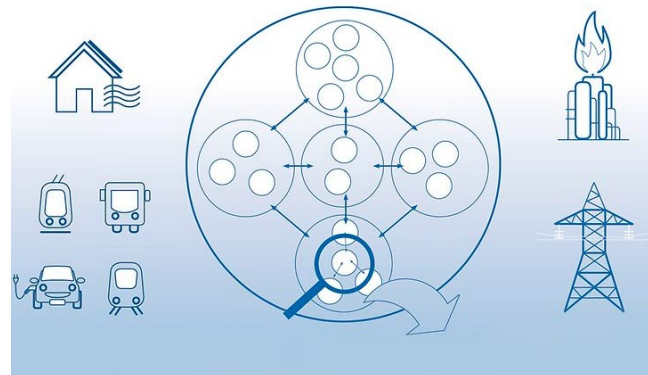
E13 Wärmewende jetzt!

Mit einem Anteil von über 50 % am gesamten Endenergieverbrauch, stellt der Wärmesektor in Deutschland den größten Hebel für die Substitution fossiler Energieträger dar. Doch der Anteil erneuerbarer Energien (EE) stagniert in diesem Sektor seit fast einer Dekade auf niedrigem Niveau, während sich im Stromsektor der EE-Anteil in dieser Zeit fast verdreifachte.

Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Ausgereifte technische Lösungen stehen zwar zur Verfügung, aber oft ist deren Betrieb einfach nicht wirtschaftlich, da die aktuelle Belastung von Strom durch Umlagen und Abgaben im Wärmesektor keine fairen Wettbewerbsbedingungen zulässt.

Der Impuls der Expertinnen und Experten von VDE ETG und EFZN (Energie-Forschungszentrum Niedersachsen) zeigt umsetzbare Lösungsansätze auf und gibt Handlungsempfehlungen, wie auch eine beschleunigte Transformation des Wärmesektors gelingen kann.

www.vde.com/waermewende



VDE Impuls

E14 Planung zellulärer Energiesysteme

Teil 1: Effektive integrierte Investitions- und Betriebsplanung von Energiezellen

In einem zellulären Energiesystem wird die physikalische Balance zwischen Energieangebot und -nachfrage so weit als möglich bereits auf regionaler, lokaler Ebene hergestellt. Der zentrale Baustein dabei ist die Energiezelle. Sie kann Energie in Form von Wärme, Elektrizität oder Gas aufnehmen und/oder Elektrizität und Wärme (z. B. aus erneuerbaren Energien) selbst erzeugen, um so den eigenen Wärme- und Elektrizitätsbedarf zu decken. Energieüberschüsse können (elektrisch und/oder thermisch) gespeichert oder anderen Zellen im Nahbereich oder einem Energieversorger zur Verfügung gestellt werden. Ein Energiezellenmanagement kann in Koordination mit Nachbarzellen den Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch über alle vorhandenen Energieformen organisieren. Die Planung und der Betrieb zellulärer Energiesysteme ist eine komplexe Aufgabe, da eine Vielzahl von dezentralen Energietechnologien, verschiedenste Ziele und auch Entscheidungsträger berücksichtigt werden müssen.

Der vorliegende VDE Impuls beschreibt als ersten Schritt die Planung einer Energiezelle, welche mit Energieversorgern interagieren kann. Er ist der Auftakt einer Reihe weiterer Veröffentlichungen zur detaillierten Planung von Energiezellen und zellulären Energiesystemen.

Der VDE Impuls steht als herunterladbares PDF zur Verfügung: www.vde.com/zellulare-energiesysteme



VDE Position

E15 Kernaussagen zur Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie

Zeit zum Handeln: VDE Expertinnen und Experten sehen dringenden Handlungsbedarf für eine zukunftsfähige Energiestrategie

Mit dem geänderten und verschärften Klimaschutzgesetz ist Deutschlands Weg zur Klimaneutralität vorgezeichnet. Nun ist es an der Zeit zu handeln. Um in Deutschland bis spätestens zum Jahr 2045 Klimaneutralität über alle Sektoren zu erreichen, müssen fossile Energieträger so weit und vor allem so schnell als möglich durch erneuerbare Energien ersetzt werden.

Mit dem Positionspapier fassen die Expertinnen und Experten des VDE ETG Fachbereichs „Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie“ ihre Kernaussagen zum Stromsektor zusammen und geben, sortiert nach den vier Themenfeldern

- Struktur der elektrischen Energieerzeugung,
- Steuerbarkeit von Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie,
- Systemdienstleistungen,
- Marktmodell,

Handlungsempfehlungen, wie die Ziele erreicht werden können.

www.vde.com/etg-V1-Handlungsbedarf



VDI VDE Studie

E16 Klimafreundliche Nutzfahrzeuge

Vergleich unterschiedlicher Technologiepfade für CO₂-neutrale und -freie Antriebe

Mit der Kurzstudie „Klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ untersuchen VDE und VDI die Auswirkungen der Elektromobilität für den Nutzfahrzeugsektor. Im Einzelnen werden in der Studie die elektrischen Antriebssysteme mit Batterien, Brennstoffzellen, Oberleitungen, aber auch mit regenerativen Energien erzeugter Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren betrachtet. Diese Antriebe werden verglichen in Bezug auf Technik, Kosten, Nutzerverhalten, Emissionen und Energiebeschaffung.

Bei der Bewertung der Systeme stehen die Zielstellungen der EU zur CO₂-Reduktion im besonderen Fokus der Analysen. Weiterhin berücksichtigen die Analysen die neuen Pläne der deutschen Regierung, die bis 2030 eine Treibhausgasreduktion um 65 % und bis 2045 eine Klimaneutralität in Deutschland vorgeben.

Die Kurzstudie ist als Ergänzung zu der VDI VDE Pkw-Elektromobilitätsstudie „Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge – Bedeutung für die Elektromobilität“ zu betrachten. Entsprechend konzentrieren sich die Ausführungen auf technische Aspekte, die Nutzfahrzeuge betreffen. Alle anderen Informationen wie Tanken, kritische Rohstoffe, Forschungsbedarf sowie Ausbau des Stromnetzes und der Ladeinfrastruktur, sind der Pkw-Studie zu entnehmen.

Die VDI VDE Studie steht als herunterladbares PDF zur Verfügung: www.vde.com/Klimafreundliche-Nutzfahrzeuge



VDE Empfehlung an die Politik von ETG und ITG

E17 Resiliente Strom- und Kommunikationsnetze – Sicherheit und Zuverlässigkeit für Bevölkerung und Wirtschaft

Resiliente Strom- und Kommunikationsnetze sind die Voraussetzung für die Energiewende, die Verkehrswende, die Digitalisierung und den Klimaschutz. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit dieser Infrastrukturen des digitalen Zeitalters muss für Bevölkerung und Wirtschaft aufrechterhalten werden. Der VDE hat mit einem Team aus Experten und Expertinnen der Fachgesellschaften ETG und ITG eine Empfehlung erarbeitet, die Politikern aller Parteien und politischen Entscheidungsträgern in Berlin als Beitrag zu den Koalitionsverhandlungen überreicht wurde. Wegen der zunehmenden gegenseitigen Abhängigkeit von Energieversorgung und Kommunikation sind gezielte sektorübergreifende Forschungsvorhaben zu Resilience und Recovery erforderlich, deren Ergebnisse dann in ein koordiniertes Vorgehen und eine kluge Regulierung umgesetzt werden müssen.

Die 2020er Jahre sind insbesondere durch die Chancen aus der Digitalisierung und gleichzeitig durch die enormen Herausforderungen des Klimawandels geprägt. Dazu ist ein fundamentaler Umbruch in der Erzeugung, der Verteilung und beim Verbrauch elektrischer Energie notwendig. Parallel dazu prägen Digitalisierung und Vernetzung die Wertschöpfung in der Wirtschaft sowie fast alle übrigen Lebensbereiche.

Sowohl für die Energiewende als auch die Digitalisierung sind zuverlässige und resiliente Telekommunikationsdienste und eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie zwingend erforderlich. Um beides krisenfest zu gestalten, sind neue Anstrengungen und Konzepte notwendig, die auch die zunehmende wechselseitige Abhängigkeit berücksichtigen. Hierbei ist der Blick zu richten auf

- eine zuverlässige und flächendeckende Kommunikation in der Mittelspannungs- und Niederspannungsebene für die Netzsteuerung und -überwachung und die digitale Koordination der Energieflüsse,
- technisch bedingte Ausfälle,
- die Systemwiederherstellung bei großflächigen Stromausfällen (Schwarzfall),
- Maßnahmen gegen Störungen durch Naturkatastrophen einschließlich Ansätzen zur temporären Versorgung,
- Cyberangriffe.

Insgesamt muss also eine hohe Widerstandsfähigkeit von Energie- und Telekommunikationsnetzen gegen Ausfall und Angriff erreicht werden (engl. Resilience und Recovery). Die bewährte Praxis, dies jeweils isoliert innerhalb der Energie- bzw. Telekommunikationsnetzinfrastrukturen sicherzustellen, muss wegen der zunehmenden gegenseitigen

Abhängigkeit um sektorübergreifende koordinierte Maßnahmen erweitert werden, damit auch im Schadens- oder Krisenfall die Versorgung von Bevölkerung und Wirtschaft mit Elektrizität und Kommunikationsdiensten sichergestellt bleibt. Dies erfordert das konsequente Zusammenwirken aller Beteiligten im Markt. Der Erfolg wird maßgeblich bestimmt durch geeignete politische Maßnahmen und Randbedingungen für Unternehmen, die zu großen Teilen einem regulierten Wettbewerb unterliegen.

Aus den geschilderten Herausforderungen leiten sich die folgenden Handlungsfelder ab:

- Ein zielorientiertes, strukturiertes und an den Notwendigkeiten unserer Gesellschaft orientiertes, gemeinsames Vorgehen der Beteiligten aus der Energie- und der Kommunikationsbranche. Hier kann der VDE ein ausgleichender Moderator sein.
- Gezielte Forschungsvorhaben im Bereich der Telekommunikations- und Energieversorgungsnetze zum Thema Resilience und Recovery. Ergebnisse sollen u.a. geeignete Werkzeuge, Methoden und KPIs sowie Aussagen zu den erforderlichen grundlegenden Änderungen der Netzstrukturen sein, die dann in neue Konzepte für den Ausfallschutz und den strukturierten Wiederaufbau überführt werden können.
- Ein im Austausch mit den Fachexpertinnen und -experten klug gesetzter regulatorischer Rahmen, auf dem die entsprechende Weiterentwicklung von Normen, der Netztechnik und den Betriebskonzepten aufbauen kann.

Die VDE Fachgesellschaften ETG und ITG werden das Thema weiter vorantreiben, damit unsere Strom- und Kommunikationsnetze auch in Zukunft verlässliche Infrastrukturen bleiben.

<https://www.vde.com/resiliente-strom-kom-netze>



*Sigurd Schuster
Senior Representative
Ecosystem Relations,
Nokia, München
Berater des ITG
Vorstandes*

ETG Literaturpreis

Die ETG verleiht jährlich für herausragende Publikationen auf dem Gebiet der Elektrischen Energietechnik den ETG Literaturpreis.

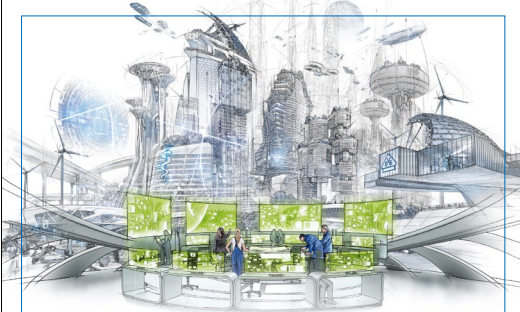
Preisaufruf 2022

Auch in 2022 wird der ETG Literaturpreis für hervorragende Veröffentlichungen aus dem Jahr 2021 (Abweichungen von +/- 3 Monaten werden toleriert) auf dem Gebiet der Elektrischen Energietechnik ausgeschrieben.

Die Autorin bzw. der Autor soll nicht älter als 40 Jahre sein. Die mit dem Preis verbundene Prämie beträgt 3.000 €. Mögliche Themen sind alle Fachgebiete der Elektrischen Energietechnik (auch zusammenfassende Darstellungen).

Die Jury bewertet nach den Kriterien Bedeutung der Arbeit, Originalität, Kompetenz, Darstellung und Form. Einsendeschluss für Vorschläge oder Eigenbewerbungen ist der **14. Februar 2022**.

Weitere Informationen sind auf der ETG Homepage unter www.vde.com/etgpreise verfügbar. Bewerbungen nimmt die ETG Geschäftsstelle gerne entgegen (etg@vde.com).



ETG Literaturpreis 2022

Für herausragende wissenschaftliche Veröffentlichungen junger Autorinnen bzw. Autoren (Alter bis 40 Jahre) aus dem Jahr 2021 (± ¼ Jahr).

Preis: 3.000 €
Themen: Alle Fachgebiete der elektrischen Energietechnik
Kriterien: Bedeutung der Arbeit, Originalität, Kompetenz, Darstellung, Form
Termin: bis 14. Februar 2022 (auch Vorschlag von möglichen Kandidaten)

Bitte senden Sie Ihre Bewerbung an:
 Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)
 Stressemannallee 15
 60596 Frankfurt/Main
 Tel. +49 69 6309-3440
 Fax +49 69 6309-9622
etg@vde.com

Detaillierte Informationen / Bewerbungsformular:
www.vde.com/etgpreise

VDE ETG

Herbert-Kind-Preis

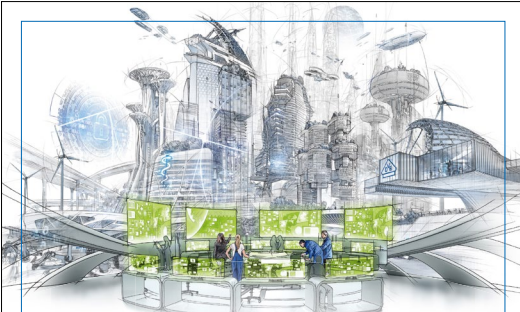
Mit dem Herbert-Kind-Preis würdigt die ETG überdurchschnittliche Studienleistungen auf dem Gebiet der Elektrischen Energietechnik.

Preisaufruf 2022

Zur Förderung der internationalen Weiterbildung von jungen Studierenden schreibt die ETG den Herbert-Kind-Preis aus. Die Stiftung von Herbert Kind finanziert ein Studium für einen Auslandsaufenthalt mit bis zu € 5.000.

Der Herbert-Kind-Preis richtet sich an Studierende mit überdurchschnittlichen Studienleistungen im Schwerpunkt Elektrische Energietechnik. Einsendeschluss für Vorschläge oder Eigenbewerbungen ist der **14. Februar 2022**.

Weitere Informationen sind auf der ETG Homepage unter www.vde.com/etgpreise verfügbar. Bewerbungen nimmt die ETG Geschäftsstelle gerne entgegen (etg@vde.com).



Herbert-Kind-Preis 2022

Mit dem Herbert-Kind-Preis wird die internationale Weiterbildung von jungen Studierenden auf dem Gebiet der elektrischen Energietechnik gefördert.

Preis: 5.000 € Stipendium für ein Studium im Ausland
Themen: Alle Fachgebiete der elektrischen Energietechnik
Kriterien: Überdurchschnittliche Studienleistungen
Termin: bis 14. Februar 2022 (auch Vorschlag von möglichen Kandidaten)

Bitte senden Sie Ihre Bewerbung an:
 Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)
 Stressemannallee 15
 60596 Frankfurt/Main
 Tel. +49 69 6309-3440
 Fax +49 69 6309-9622
etg@vde.com

Detaillierte Informationen / Bewerbungsformular:
www.vde.com/etgpreise

VDE ETG

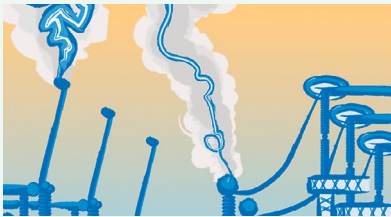
ETG Veranstaltungen

Vorschau

SLT Online-Preview: 15. Februar 2022,
Präsenzveranstaltung: 21.–22. Juni 2022,
ECC Berlin (Estrel Congress Center),
VDE FNN/ETG Tutorial

Schutz- und Leittechnik

<https://www.schutz-leittechnik.de>



Das VDE FNN / ETG Tutorial Schutz- und Leittechnik im Juni 2022 wird erstmals um ein Online-Preview „Mit dem Blick in die Zukunft“ ergänzt.

Am 15. Februar 2022 werden in einer Online-Veranstaltung vorausschauende Lösungen aus Schutz- und Leittechnik für den Zeitraum 2025 bis 2030 diskutiert. So wird die Anwendung von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen ebenso thematisiert wie der digitale Zwilling. Weitere Schwerpunkte werden auf Digitalisierung, Virtualisierung und Zentralisierung in der Schutz- und Leittechnik gelegt. Zudem wird ein Blick auf Schutzkonzepte für netztechnische Herausforderungen durch künftige Betriebsmittel geworfen.

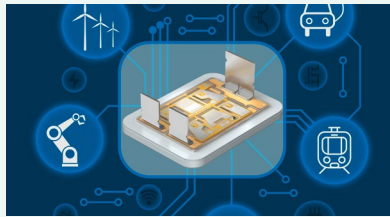
Seien Sie beim Blick in die Zukunft der Schutz- und Leittechnik dabei.

Heute schon vormerken: VDE FNN/ETG Tutorial Schutz- und Leittechnik am 21. und 22. Juni 2022 im ECC Berlin. Als führende Veranstaltung zur Schutz- und Leittechnik wird das Tutorial in bewährter Form mit Vorträgen, Workshops und einer großen messeartigen Ausstellung stattfinden.

15.–17. März 2022, Berlin
ETG Fachtagung

CIPS 2022

<https://www.cips.eu>



Bereits zum 12. Mal steht die Entwicklung leistungselektronischer Systeme im Fokus der CIPS. Die monolithische und hybride Systemintegration beinhaltet fortschrittliche Bauelementekonzepte einschließlich wide-bandgap-Bauelemente, neue Verpackungstechnologien und die mechatronische Integration von Aktoren und Antrieben. Der Schwerpunkt der Konferenz liegt heute mehr denn je auf der Steigerung von Funktionalität, Energieeffizienz und Systemzuverlässigkeit bei gleichzeitiger Senkung der Kosten.

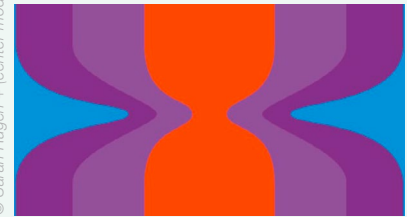
Die knapp 100 Beiträgen beleuchten im Detail

- Aufbau- und Verbindungstechnik für leistungselektronische Bauelemente und Umrichter
- Integration von Hybridsystemen und mechatronischen Systemen mit hoher Leistungsdichte
- Betriebsverhalten und Zuverlässigkeit von Systemen und Komponenten
- Basistechnologien für integrierte leistungselektronische Systeme

30. März – 1. April 2022, Karlsruher
Institut für Technologie (KIT)
Fachtagung / Konferenz

26. Albert-Keil-Kontaktseminar

[Weitere Informationen¹](#)



Das 26. Albert-Keil-Kontaktseminar „Kontaktverhalten und Schalten“ stellt die neuesten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse zu den Schwerpunkten Kontaktwerkstoffe, Steckverbinder, Schleifkontakte, Einpresstechnik sowie Schaltgeräte und Anlagentechnik vor.

Des Weiteren werden durch den Fachausschuss Einführungsvorträge zum ruhenden und schaltenden Kontakt und deren Kontaktmaterialien gehalten. Diese Vorträge stellen die wesentlichen Grundlagen und den Stand der Konstruktion und Technologie auf diesen Gebieten in zusammenfassender Form vor.

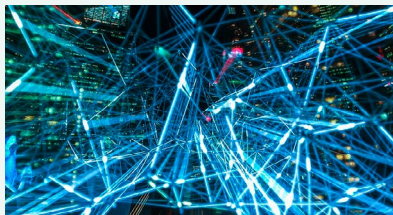
Die Fachtagung wird in bewährter Form durch eine Ausstellung zu Kontaktwerkstoffen und deren Anwendungen sowie Messtechnik im Zusammenhang mit Kontakt- und Prüfungen ergänzt.

¹ <https://www.vde.com/de/itg/veranstaltungen/veranstaltung?id=20650&type=vde%7Cvdb>

**10. – 11. Mai 2022,
Westfälischer Industriecenter Dortmund
ETG Fachtagung**

**Hochautomatisierter
Netzbetrieb 2022**

[Weitere Informationen²](#)



Ziel der Fachtagung ist es über den aktuellen Stand der Netzautomatisierung zu berichten und die Herausforderungen der weiteren Automatisierung herausarbeiten. Die Anforderungen an die Netzbetriebsführung werden immer komplexer, um auf die umfangreichen regulatorischen Veränderungen und den Kostendruck die richtigen Antworten zu haben. Welche Vorteile ergeben sich aus einer weiteren Automatisierung und welche Rahmenbedingungen sind dafür erforderlich.

Den Teilnehmenden soll damit ein Überblick über den aktuellen Stand und die nächsten Schritte in Richtung Hochautomatisierung gegeben werden.

**12. – 13. Mai 2022, Dresden
Fachtagung**

Rail.S/VDE Symposium 2022

Sicherheit & Zulassung elektrischer
Bahnausrüstungen

[Weitere Informationen³](#)



Bevor geplante Innovationen im Betrieb nutzbringend umgesetzt werden können, müssen sie abgesichert, zugelassen und ggf. standardisiert werden. Neue Herausforderung in der IT-Sicherheit sind zu bewältigen. Das Symposium beschäftigt sich mit der

Markteinführung neuer Lösungen und deren Vorbereitung.

**5. – 6. Juli 2022, Universität Bayreuth
ETG ITG Fachforum**

**Zellulare Zukunft der Energie-
versorgung 2022**

Jetzt gemeinsam handeln!

[Weitere Informationen⁴](#)



Die Verschärfung des Klimaschutzgesetzes hat es deutlich gemacht! Wir dürfen keine Zeit mehr verlieren. Jetzt gilt es, die Energiewende sofort und zielgerichtet umzusetzen.

Freuen Sie sich auf zwei spannende Tage, um gemeinsam mit Fachexpertinnen und Fachexperten einen Einblick in ein Energiesystem auf Basis von Energiezellen zu erhalten.

**8. – 10. November 2022,
Mercure Hotel MOA Berlin,
Hybride Veranstaltung**

VDE Hochspannungstechnik

Forschung und Technik für die
Energiewende

www.vde-hochspannungstechnik.de



Hochspannungstechnik ist eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende. Sie ermöglicht den effizienten und sicheren Energietransport über sehr weite Entfernungen und damit den Ausgleich der volatilen Einspeisung regenerativer Erzeuger. Dafür setzen deutsche Netzbetreiber neben der konventionellen Drehstromübertragung die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ, HVDC) ein.

Höhere Auslastung des Netzes und Digitalisierung beeinflussen Konstruktion, Herstellung, Betriebsverhalten, Alterung, Diagnose und Monitoring aller Betriebsmittel. Deshalb kommen der Entwicklung und Anwendung von neuen Werkstoffen, Auslegungs- und Prüfverfahren von Isoliertechniken und Produkten eine besondere Bedeutung zu.

Mit dem neuen Schwerpunktthema „High Voltage Goes Green“ sollen konkrete technische Lösungen für nachhaltige und CO₂-neutrale Materialien und Betriebsmittel einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden. Denn Wissenschaft, Forschung und industrielle Produktentwicklung haben in den letzten Jahren verschiedene Materialien und Geräte entwickelt, die nachhaltigere und emissionsarme Herstellung und Betrieb ermöglichen.

Die Tagung wendet sich an

- Hersteller von hochspannungstechnischen Betriebsmitteln und Geräten
- Betreiber von elektrischen Komponenten und Systemen
- Entwickler und Anwender von Prüf- und Messeinrichtungen sowie Diagnosesystemen
- Mitarbeitende in Hochschulen, Prüf- und Forschungsinstituten.

Beteiligen Sie sich an der Gestaltung der Tagung, stellen Sie ihre interessanten Projekte als Poster oder in einem Vortrag vor, werden Sie Aussteller im großräumigen Foyer des Mercure-Hotels, unterstützen Sie die Veranstaltung als Sponsor.

² <https://www.vde.com/de/etg/veranstaltungen/veranstaltung?id=20789&type=vde%7Cvdb>

³ <https://www.vde.com/de/etg/veranstaltungen/veranstaltung?id=20019&type=vde%7Cvdb>

⁴ <https://www.vde.com/de/etg/veranstaltungen/veranstaltung?id=20664&type=vde%7Cvdb>

Rückblick**E18** Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie –
Wege zu einer klimaneutralen Energieversorgung

Fachtagung 2021 des ETG Fachbereichs V1 | Online-Veranstaltung am 16. und 17. November 2021

Die ursprünglich als Präsenzveranstaltung geplante Fachtagung des Fachbereichs V1 konnte aufgrund der Entwicklungen der Corona-Inzidenz auch in diesem Jahr wieder nur in einem Online-Format durchgeführt werden. Unter dem Motto „Wege zu einer klimaneutralen Energieversorgung“ wurden am 16. und 17. November 2021 an jeweils zwei halben Tagen mit insgesamt vier Vortragsblöcken wieder sehr interessante Beiträge von eingeladenen Referenten und Mitgliedern des Fachbereichs präsentiert. Etwa 70 Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben an dieser Veranstaltung teilgenommen. Für Studierende war die Fachtagung kostenfrei.

Im ersten Block „Stand und Bedarf der Energiewende“ stellte zunächst Herr Stefan Lochmüller, N-ERGIE AG, vor, wo Deutschland aktuell bei der Umsetzung steht. Obwohl wir bei der Stromerzeugung heute bereits einen Anteil an erneuerbaren Energien von fast 50 % erreicht haben, müssen schon bis 2030 die Erzeugungskapazitäten bei PV und Wind insgesamt mehr als verdoppelt werden, um die von der Politik gesetzten Ziele zu erreichen. Damit diese Anlagen auch angeschlossen werden können, ist nicht nur ein Ausbau der Übertragungsnetze erforderlich, sondern müssen insbesondere auch die Verteilungsnetze dafür fit gemacht werden, dass der regional erzeugte Strom auch möglichst regional genutzt werden kann. Zusätzlich zum Ausbau der erneuerbaren Energien werden jedoch auch flexibel einsetzbare Kraftwerke und Speicher benötigt. Prinzipiell gilt auch hier: je näher an der Last desto besser und effizienter, damit auch über KWK die Wärmeresiduallast bereitgestellt werden kann.

Herr Professor Hendrik Lens, Universität Stuttgart, stellte dann die wesentlichen Inhalte aus dem von den Mitgliedern des Fachbereichs V1 erarbeiteten neuen Positionspapier „Zeit zum Handeln“ zum Thema „Entwicklung der Stromerzeugung und des Speicherbedarfs unter dem Aspekt eines Ausstiegs aus Kernenergie und Kohleverstromung“ vor. Die dort getroffenen Kernaussagen und Handlungsempfehlungen zu verschiedenen Themenfeldern werden auch von den Teilnehmern vollumfänglich unterstützt. Das Positionspapier steht zum Download zur Verfügung (www.vde.com/etg-V1-Handlungsbedarf).

Herr Professor Bruno Burger, Fraunhofer ISE, konnte dann anhand der am dortigen Institut erstellten Datenbank und dem zugehörigen Software-Tool (www.energy-charts.info) das Verhalten der erneuerbaren Energiequellen in allen Facetten veranschaulichen. Für den dringend erforderlichen weiteren und schnelleren Ausbau der erneuerbaren Erzeugung werden für die Investoren verlässliche Rahmenbedingungen gefordert. Die Ergebnisse der Simulationen legen darüber hinaus nahe, dass für die Energiespeicherung zunächst Tagesspeicher benötigt werden und die Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff erst der letzte Baustein bei der Umsetzung der Energiewende sein sollte. Vorher sollte noch die

Kopplung mit den Sektoren Wärme und Verkehr umgesetzt werden.

Im zweiten Vortragsblock wurden dann die für eine Umsetzung erforderlichen Maßnahmen detailliert vorgestellt und im dritten Block der Bedarf an Flexibilität sowohl bei der Erzeugung als auch beim Verbrauch vertiefend erörtert. Für Herrn Dr. Werner Neumann, BUND, stellt sich dabei nicht die Frage wieviel Dezentralität wir zukünftig brauchen, sondern vielmehr wieviel Zentralität wir noch benötigen und wofür. Des Weiteren mahnte er an, dass nur durch Teilhabe der Bevölkerung die erforderliche Akzeptanz für den EE-Ausbau erreicht werden kann. Zusätzlich müsse hierfür ein angepasstes Strommarktdesign etabliert werden.

Die Rolle von Biomasse und Biogas zur Bereitstellung von Erzeugungsflexibilität wurde sowohl in dem Beitrag von Herrn Uwe Welteke-Fabrizius, Netzwerk Flexparten, als auch in dem Beitrag von Herrn Christian Dorfner, SK Verbundenergie AG, anschaulich dargestellt. Eine flexible Betriebsweise kann relativ kostengünstig – bei konstantem Biomasseaufkommen – durch eine Zwischenspeicherung des Biogases und einer Steigerung der installierten elektrischen Leistung der KWK-Anlagen erreicht werden. Die erforderlichen Erträge müssten dann auf den entsprechenden Flexibilitätsmärkten erwirtschaftet werden.

Hinsichtlich der Möglichkeiten der Flexibilisierung des Verbrauchs stellte Herr Dr. Alexander Kronimus, Verband der Chemischen Industrie, die Sichtweise der chemischen Industrie vor. Möglichkeiten hierzu böten sich insbesondere dann, wenn ein speicherbares (Zwischen)produkt hergestellt wird. Prinzipiell gäbe es in verschiedenen Produktionslinien Potenziale, deren Erschließung jedoch durch regulatorische Hürden bei der Netzentgeltsystematik und Umlagen behindert werden. Dem Mehraufwand durch eine veränderte Betriebsweise müssen daher auch finanzielle Anreize gegenüberstehen. Hinsichtlich der Einspeisung von Wasserstoff in die Gasnetze wies Herr Kronimus darauf hin, dass bei stofflichen Erdgasanwendungen die Beimischung von Wasserstoff bei gewissen Prozessen maximal 1,5 % betragen darf.

Auch bei den Kunden im Verteilnetzbereich bestehen vielfältige Flexibilitätsoptionen. Diese stellte Herr Dr. Matthias Stark, BEE, in seinem Beitrag vor. Er wies darauf hin, dass ein reines Preisanreizmodell auch kontraproduktiv sein und ggf. zu Netzüberlastungen führen könnte. Er schlug deshalb vor, dass die eingesetzten marktlichen Flexibilitäten zusammen mit den netzbezogenen Rahmenbedingungen ermittelt und abgestimmt werden sollten, damit auf der Marktebene keine Transaktionen realisiert werden, die netztechnisch nicht zulässig wären. In diesem Zusammenhang stellte Herr Tomi Engel, DGS, auch die Möglichkeiten einer Verbraucher-Selbstregelung vor. Diese ist sowohl frequenz- als auch spannungs-

abhängig möglich und erfordert bei vielen elektronisch geregelten Lasten in der Regel nur geringfügige Software-Änderungen. Da sie üblicherweise nur geringfügige Auswirkungen auf den Prozess hätte, wäre mit einer hohen Akzeptanz durch die Kunden zu rechnen. Eine diesbezügliche technische Spezifikation ist bei IEC derzeit in der Endabstimmung (IEC TS 62898-3-3 ED1, Microgrids – Part 3-3: Technical requirements – Self-regulation of dispatchable loads).

Im vierten und letzten Block wurde das Thema Energiespeicherung mit seinen vielseitigen Facetten beleuchtet. Zunächst gab Herr Dr. Holger Hesse, TU München, einen Überblick zur Rolle von Energiespeichern auf dem Weg in ein post-fossiles Zeitalter. Insbesondere durch eine Kostendegression bei fast allen Speichertechnologien ist in Zukunft mit einer weiteren Verbreitung zu rechnen. Herr Dr. Niklas Roterling, NEW AG, unterstrich in seinem Beitrag die wichtige Rolle von Pumpspeicherkraftwerken. Pumpspeicher stellen derzeit immer noch den größten Anteil der installierten Leistung bei Energiespeichern dar. Sie können einen signifikanten Beitrag zur gesicherten Leistung sowie zum kurzfristigen Ausgleich von EE-Prognosefehlern bieten. Die Autoren der hier vorgestellten Studie halten einen Pumpspeicherzubaue von 3-6 GW in dem von ihnen untersuchten Szenario ökonomisch für sinnvoll.

Jan Figgner, RWTH Aachen, berichtete über Batteriespeicher für die Anwendung in der Energieversorgung. Batteriespeicher werden üblicherweise für eine Speicherdauer von Minuten bis zu einigen Stunden, manchmal auch bis zu wenigen Tagen, eingesetzt. Aufgrund des hohen Bedarfs im Bereich der Elektromobilität (BEV) und der damit verbundenen Kostendegression haben Lithium-Batterien auch bei stationären Anwendungen den Durchbruch geschafft. Zunehmend wird jetzt auch wieder die Option der BEV zur Stützung der Verteilnetze (gesteuertes Laden oder Rückspeisung, vehicle-to-grid) diskutiert. Eine Nachnutzung von Fahrzeugbatterien im stationären Bereich (second life) hält Herr Figgner allerdings eher für schwierig. Batterie-Heimspeicher in Kombination mit PV-Anlagen können auch zu einer Entlastung der Verteilnetze beitragen. Große Batteriespeicher werden aktuell insbesondere im Rahmen der Primärregelung eingesetzt.

Aktuell steht vielfach die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff und dessen Notwendigkeit für die Umsetzung der Energiewende im Mittelpunkt. Daher durfte dieses Thema bei unserer Fachtagung natürlich nicht fehlen. Herr Dr. Jan Michalski, LBSt, referierte in seinem Beitrag „Gasspeicher in Verbindung mit Power-to-Gas“ über die Rolle von Wasserstoff als Energiespeicher für den Stromsektor. Insbesondere zur Überbrückung von Zeiten mit wenig Dargebot bei PV und Wind bei gleichzeitig hoher Stromnachfrage („kalte Dunkelflaute“) werden Energiespeicher benötigt, die große Energiemengen für lange Zeit speichern können. Hierfür kommen aus heutiger Sicht nur chemische Energiespeicher in Frage – hier also Wasserstoff, der langfristig die Rolle von Erdgas als Speichermedium ersetzen soll. Aus Gründen des Klimaschutzes kommt hierfür jedoch nur „grüner Wasserstoff“ in Frage, gewonnen mit Strom aus erneuerbaren Energien, der nicht für die Substitution von fossiler Stromerzeugung benötigt wird.

Vielfach unterschätzt wird derzeit noch das Potenzial der Wärmespeicherung. Hierüber berichtete Dr. Armin Kraft, EEB ENERKO, in seinem Beitrag „Wärmespeicher in Verbindung mit Power-to-Heat“. Da der Wärmesektor einen Anteil von

über 50 % am aktuellen Endenergieverbrauch hat, aber noch zu fast 85 % durch fossile Energieträger abgedeckt wird, müssen durch Sektorenkopplung auch hier die über den Stromsektor einspeisenden erneuerbaren Energien genutzt werden (Power-to-Heat). In vielen Bereichen der Wärme-/Kälte-Anwendungen können das fluktuierende Dargebot und der Wärmebedarf mit Wärmespeichern entkoppelt werden. Die derzeit größten Wärmespeicher sind als Warmwasserspeicher im Bereich der Fernwärme zu finden. Aktuell wird auch die Möglichkeit untersucht, mit Hochtemperatur-Wärmespeichern einen Kraftwerksprozess zu versorgen, um damit auch wieder Energie in das Stromnetz zurückspeisen zu können („Carnot-Batterie“). Wärmespeicher sind langlebig, ohne Degradation und damit fast wartungsfrei. Sie sind auch spezifisch kostengünstiger als Strom- oder Gasspeicher.

Neben einer Übersicht über alternative Energiespeichersysteme, deren technische Umsetzbarkeit oftmals mit vielen Fragezeichen versehen ist, stellte Herr Dr. Matthias Leuthold, Trianel, auch große Batteriespeicherprojekte vor, die kürzlich realisiert worden sind. Er geht davon aus, dass in wenigen Jahren große Batteriespeicher auch zu Pumpspeicherkraftwerken konkurrenzfähig werden, zumal erstere nicht von der Topografie abhängig sind. Mit der dringend erforderlichen Zunahme der erneuerbaren Stromerzeugung werden sich immer häufiger Zeiten mit Mangel und mit Überschüssen der erneuerbaren Energien abwechseln, für deren Ausgleich Energiespeicher dann dringend benötigt werden. Hierfür ist jedoch eine regulatorische Neuordnung der Umlagen notwendig, die auch sektorenübergreifend harmonisiert werden müssen.

Das Interesse der Teilnehmenden war bei allen Vorträgen sehr hoch. Dies wurde insbesondere durch die Fragen und Kommentare im Online-Chat bestätigt. Die Antworten wurden von den Referenten entweder direkt gegeben oder im Chat nachgereicht. Auch zwischen den Teilnehmern fand im Chat ein reger Gedankenaustausch statt. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Fachtagung ein voller Erfolg war.

Daher soll es auch eine Neuauflage einer Veranstaltung zu diesem Themenkomplex geben. Die nächste Fachtagung ist bereits für den 21. – 22. November 2022 als Präsenzveranstaltung in Kassel geplant. Dann werden wir sicher darüber berichten, wie es unter der neuen Regierung mit der Umsetzung der ehrgeizigen Ziele voran geht. Bitte merken Sie sich diesen Termin schon mal in Ihrem Kalender vor.



*Dr.-Ing. Martin Kleimaier
Wiss. Tagungsleiter und kom. Vorsitzender
ETG FB V1*



*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hendrik Lens
Universität Stuttgart,
wiss. Tagungsleiter und stv. Vorsitzender
ETG FB V1*



Rückblick

E19 Bericht über die 7. Dialogplattform Power-to-Heat

Strategien zur Wärmewende, Sektorenkopplung und Steigerung der Energieeffizienz wurde als Thema für die 7. Dialogplattform Power-to-Heat gewählt, die am 29. und 30. November stattgefunden hat. Trotz der coronabedingten Unsicherheiten hat der Call for Papers wieder ein breites Interesse gefunden. Die ursprünglich als Präsenzveranstaltung in der Niedersächsischen Landesvertretung beim Bund in Berlin geplante Veranstaltung musste jedoch auf Grund der absehbaren corona-bedingten Einschränkungen kurzfristig wieder in ein Online-Format abgeändert werden.

Die wissenschaftlichen Tagungsleiter Dr.-Ing. Jens zum Hingst (CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal und Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)) und Dr.-Ing. Martin Kleimaier (Energietechnische Gesellschaft im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE ETG)) konnten mit tatkräftiger Unterstützung des Programmausschusses (Prof. Dr.-Ing. Christoph Pels Leusden, Berliner Hochschule für Technik, Frank Mattioli, EFZN, Gunter Rockendorf, Dr.-Ing. Serafin von Roon, FfE) aus den eingereichten Beiträgen wieder ein interessantes Programm zusammenstellen. Aufgrund des Online-Formats hatten wir uns entschieden, die Dauer auf zwei halbe Tage mit insgesamt vier Themenblöcken zu beschränken.

Etwa 160 Teilnehmerinnen und Teilnehmer hatten sich zu der Veranstaltung angemeldet – darunter auch wieder viele Personen, die uns bei der Dialogplattform Power-to-Heat seit mehreren Jahren die Treue halten. Dies bestätigt, dass das Thema Wärmewende – und dabei insbesondere die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen – inzwischen entsprechend der Dringlichkeit und des großen Hebels der Defossilisierung des Wärmesektors wahrgenommen wird. Auch im Koalitionsvertrag der neuen Regierung wird das Ziel vorgegeben, bis zum Jahr 2030 im Wärmesektor den Anteil der erneuerbaren Energien auf 50 % zu steigern. Bislang stagnierte dieser Anteil während fast einer Dekade bei unter 15 % und wurde zu etwa 75 % durch biogene Festbrennstoffe erreicht.

Im ersten Block wurden unter dem Thema „Technik für Gebäude und Quartiere“ verschiedene Optionen vorgestellt und diskutiert. Dabei ging es auch um den Vergleich von direkter Sektorenkopplung mit Power-to-Heat (PtH) und indirekter Sektorenkopplung durch die Nutzung von elektrolytisch mit Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugtem „Grünen Wasserstoff“ (Power-to-Gas, PtG). Während sich mit den aufwändigen und teuren Verfahren über PtG nur ein Nutzungsgrad des eingesetzten erneuerbaren Stroms von etwa 70 % erreichen lässt, ist selbst mit simplen und kostengünstigen Heizwiderständen ein Nutzungsgrad von annähernd 100 % möglich. Noch effizienter gelingt dies mit elektrischen Wärmepumpen, die durch eine Rückgewinnung von Wärme aus der Umwelt einen Nutzungsgrad von 400 % und mehr ermöglichen. Allerdings können PtH-Verfahren selbst unter Nutzung von Wärmespeichern üblicherweise nur einen Ausgleich über Stunden und allenfalls wenige Tage ermöglichen, wohingegen Wasserstoff oder ein daraus hergestellter synthetischer Brennstoff sich nahezu beliebig lange speichern lässt, um dann genutzt zu werden, wenn Strom aus erneuerbaren Energien nicht zur Verfügung steht. Daher ist es sinnvoll, hybride Systeme einzusetzen, die in Abhängigkeit vom EE-Dargebot auf beide Optionen zurückgreifen können. Dies wurde zum Beispiel in der Wind-und-Wärme-Modellregion F.-W.-Lübke-Koog umgesetzt; die Betriebserfahrungen sind dabei prinzipiell vielversprechend – allerdings fehlen für einen wirtschaftlichen Betrieb die notwendigen Rahmenbedingungen.

Mit sinkenden EEG-Einspeisevergütungen und insbesondere bei PV-Anlagen, die nach 20 Jahren aus der Förderung fallen, wird die Eigennutzung des selbsterzeugten Stromes immer wichtiger. In einem Beitrag wurde daher auch die Kombination von Elektrospeicherheizungen und PV-Anlagen vorgestellt. Dies stellt im Vergleich zu Batteriespeichern eine effiziente und kostengünstige Option dar. Auch die Nutzung der „schweren Gebäudemassen“ für die Wärmespeicherung, ggf. unterstützt durch zusätzliche Wärmespeicher, ermöglicht die Aufnahme und Speicherung erneuerbarer Energien. Bevor-

zugt sollte dies in gut gedämmten Gebäuden umgesetzt werden. Da in dem vorgestellten Projekt der erneuerbare Strom aus dem Netz bezogen wird, müssten für einen wirtschaftlichen Betrieb auch hier erst noch die passenden regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden.

In einem zweiten Block wurden dann insbesondere neue Entwicklungen im Bereich Wärmepumpen vorgestellt. Damit wurde demonstriert, dass sich mit Wärmepumpen auch höhere Temperaturbereiche erschließen lassen, so dass diese auch für gewerbliche und industrielle Anwendungen eingesetzt werden können. In einem Beitrag wurde auch die Belastung von elektrischen Niederspannungsnetzen in Wärmepumpen-Quartieren thematisiert. Hier konnte gezeigt werden, dass sich durch eine geeignete Steuerung eine deutliche Verbesserung gegenüber einem ungesteuerten Betrieb erreichen lässt.

Im dritten Block wurden weitere Projekte vorgestellt. In zwei Projekten wurden hybride Konzepte aus Batteriespeicher und Wärmespeicher realisiert, allerdings für ganz unterschiedliche Einsatzfälle. In einem Projekt in Bremen wurde diese Kombination für die Primärregelleistung eingesetzt. Nachdem die Preise für die Bereitstellung von Primärregelleistung in den letzten Jahren stark eingebrochen waren, zeigt die aktuelle Preisentwicklung wieder nach oben, so dass sich hier wieder ein attraktives Geschäftsmodell ergeben könnte. In dem anderen Projekt wurde ein hybrides Konzept vorgestellt, bei der die Versorgung der Gemeinde Fuchstal in Bayern mit einer Windkraftanlage optimiert werden konnte.

Bei der Vorstellung des Projekts „QUARREE100“, das in Heide in Schleswig-Holstein realisiert wird, wurde besonders deutlich, dass die aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen die größte Hürde bei der Realisierung von PtH-Projekten darstellen. Hier musste allein aus regulatorischen Gründen parallel zu dem bestehenden öffentlichen Stromverteilungsnetz ein separates Stromnetz aufgebaut werden, um einerseits ein BHKW und PV-Anlagen als auch einen Elektrolyseur und Wärmepumpen anschließen zu können, obwohl das öffentliche Netz hierfür keine technisch notwendigen Restriktionen aufweist. Die Teilnehmer waren sich einig, dass es hier dringenden Handlungsbedarf gibt, um derartig aufwändige Sonderwege in Zukunft zu vermeiden.

Daher wurde in einem vierten Block auf das in fast allen Beiträgen angesprochene Problem der ungeeigneten regulatorischen Rahmenbedingungen nochmals explizit eingegangen. Hier muss dringend nachgebessert werden, damit PtH gegenüber einer Wärmeerzeugung auf Basis fossiler Energieträger konkurrenzfähig wird. Neben der Anpassung der Rahmenbedingungen muss jedoch der Ausbau bei PV und Windenergie beschleunigt und deutlich gesteigert werden, damit ausreichend erneuerbare Energie für alle Anwendungen der Sektorenkopplung zur Verfügung steht.

Zum Abschluss wurde noch das aktuelle Impulspapier „Wärmewende jetzt!“ vorgestellt, das gemeinsam von VDE ETG und EFZN erstellt wurde und das die unterschiedlichen Aspekte der dringend erforderlichen Transformation des Wärmesektors zusammenfasst. Das Papier steht zum Download zur Verfügung: www.vde.com/waermewende

Das Interesse der Teilnehmenden war bei allen Vorträgen sehr hoch. Dies wurde insbesondere durch die Fragen und Kommentare im Online-Chat bestätigt. Die Antworten wurden von den Referenten entweder direkt gegeben oder auch wieder im Chat nachgereicht. Auch zwischen den Teilnehmenden hat im Chat ein reger Gedankenaustausch stattgefunden. In der am Ende angebotenen Podiumsdiskussion wurde sowohl zwischen den Referierenden als auch mit den Teilnehmenden nochmals lebhaft diskutiert. Die 7. Dialogplattform wird damit – trotz der coronabedingten Einschränkungen – sowohl von den Teilnehmenden als auch von den Veranstaltern wieder als voller Erfolg gesehen. Daher soll es auch eine Neuauflage einer Veranstaltung zu diesem Themenkomplex geben. Die 8. Dialogplattform soll Ende 2022 – dann hoffentlich wieder mit persönlichen Gesprächen – als Präsenzveranstaltung in Berlin stattfinden. Geplant ist auch wieder die Beteiligung aus der Politik. Wir werden dann sicher darüber diskutieren, wie es unter der neuen Regierung mit der Umsetzung der ehrgeizigen Ziele voran geht.



*Dr.-Ing. Jens zum Hingst
Wiss. Tagungsleiter
CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
(EFZN)*



*Dr.-Ing. Martin Kleimaier
Wiss. Tagungsleiter und kom. Vorsitzender
ETG FB V1*

Rückblick

E20 Elektromechanische Antriebssysteme in Theorie und Praxis

Rückblick auf die 8. VDE Fachtagung Antriebssysteme, 9. und 10. November 2021, online

Nach längerer Pause fand in diesem Jahr Anfang November erneut die zweitägige VDE Fachtagung Elektromechanische Antriebssysteme statt. Der aktuellen Pandemiesituation geschuldet war es nicht möglich, die Tagung in Präsenz abzuhalten. Allerdings war das vom VDE genutzte Online-Konferenzsystem hervorragend zu bedienen und ermöglichte eine sehr angenehme Durchführung der Tagung. Das Feedback der 113 Teilnehmerinnen und Teilnehmer war im Nachgang überaus positiv.

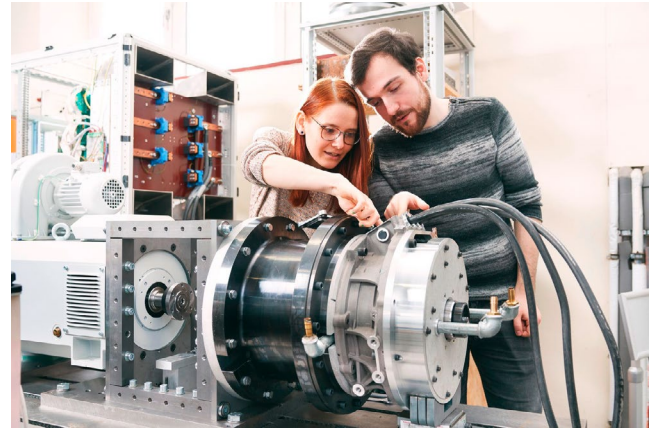
Der fachliche Fokus der Tagung war wie immer die Optimierung der Funktionalität und die Effizienz moderner elektromechanischer Antriebssysteme. Das Anwendungsspektrum reichte von industriellen zu mobilen Antriebssystemen, umfasste aber auch Erzeugungseinheiten wie beispielsweise Windenergieanlagen. Die beiden diesjährigen *Schwerpunkthemen* waren die Optimierung der Energieeffizienz im Gesamtsystem und die Minimierung parasitärer Effekte bei wechselrichter gesteuerten Antriebssystemen.

Mit Blick auf den starken deutschsprachigen Wirtschaftsraum wurde die Tagung erstmals auf die D-A-CH-Region (Deutschland, Österreich und die Schweiz) ausgerichtet. Der Programmausschuss setzte sich dementsprechend mit Personen aus diesen drei Ländern zusammen.

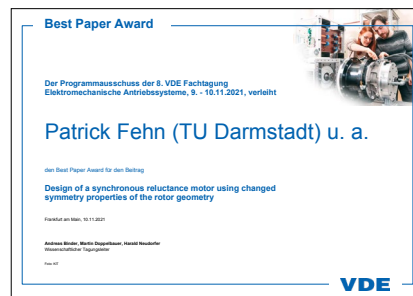
Eine Besonderheit der Tagung war das gegenseitig *befruchtende Nebeneinander von praxisorientierten Industriebeiträgen und forschungsorientierten, wissenschaftlichen Beiträgen*.

Erfreulicherweise wurden im Vorfeld so viele gute Tagungsbeiträge angemeldet, dass beide Tage mit acht teils parallel durchgeführten Sessions randvoll mit Informationen angefüllt werden konnten.

Erstmals wurde der Best Paper Award verliehen. Gewürdigt wurde der besonders hervorragende Beitrag "Design of a synchronous reluctance motor using changed symmetry properties of the rotor geometry", erstellt von Patrick Fehn, Technische Universität Darmstadt, u. a.



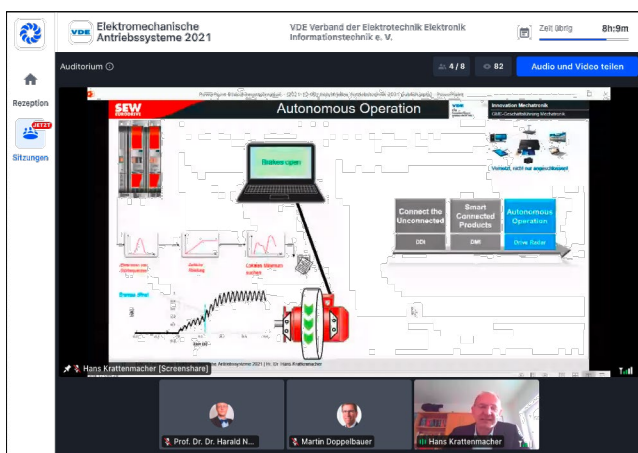
Quelle: KIT



Urkunde Best Paper Award | VDE

Besondere Highlights waren die acht Keynotes, die jeweils vor- und nachmittags über beide Tage verteilt stattfanden. Die Konferenzteilnehmenden hörten die neuesten Entwicklungen im Bereich der Elektrischen Fahrzeugantriebe einschließlich Pedelecs, aktuelle Trends im Bereich der Windenergieanlagen, die Entwicklung der industriellen Antriebstechnik in den nächsten zehn Jahren, aktuelle Entwicklungen bei Wide-Band-Gap Umrichtern, die Zukunft der Servoantriebstechnik und aktuelle Entwicklungen bei hochdrehenden elektrischen Turbokompressoren.

Insgesamt war die Fachtagung Elektromechanische Antriebssysteme 2021 eine runde Sache und ein schöner Erfolg. Der neuen D-A-CH-Strategie folgend soll die nächste Ausgabe in zwei Jahren in Österreich stattfinden, hoffentlich dann wieder als Live-Veranstaltung vor Ort.



Vortrag im Rahmen der Online-Veranstaltung | VDE



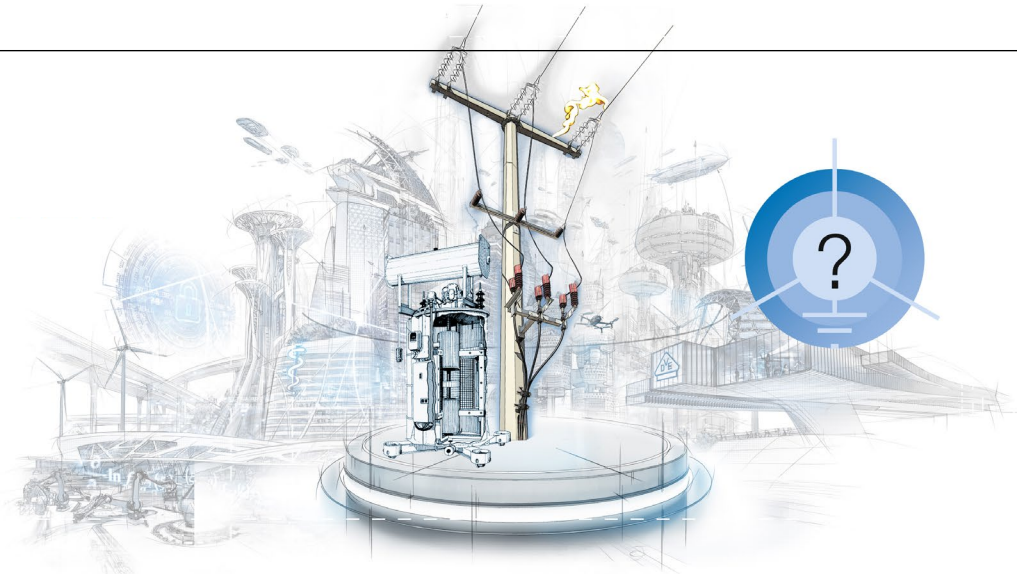
Andreas Binder,
Technische
Universität Darmstadt



Martin Doppelbauer,
Karlsruher Institut für
Technologie (KIT)



Harald Neudorfer,
Technische
Universität Wien



Rückblick

E21 eSTE 2021 Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH)

ETG Fachtagung | 19. Oktober 2021, online

Ursprünglich sollte die 5. Fachtagung zum Thema „Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH)“ im Neckar Forum Esslingen über den Zeitraum von 2,5 Tagen vom 21. September bis zum 23. September 2021 stattfinden.

Dank der Unterstützung der ETG und zahlreicher Firmen konnten wir am 19. Oktober 2021 eine halbtägige kostenfreie Webkonferenz durchführen. Für die Fachtagung STE 2020 existierten bereits 50 akzeptierte Beiträge und Poster. Der Programmausschuss entschied sich, einige der Beiträge zusammenzufassen, zu kürzen und den Großteil der Vorträge auf die STE 2022 zu verschieben. Für die geplante 2,5 tägige STE 2022 (11. – 13. Oktober 2022 in Esslingen) wird Anfang 2022 ein „Call for Abstracts“ erfolgen.

Sowohl die STE 2020 als auch die eSTE 2021 sind von der ETG und den weiteren D-A-CH Gesellschaften OVE und electrosuisse veranstaltete Tagungen. Beide befassen sich mit der Theorie der Sternpunktbehandlung, stellen an Hand von Ausführungsbeispielen den Bezug zur Praxis her und zeigen mögliche Perspektiven auf.

Vorträge zu folgenden Schwerpunktthemen wurden/werden sowohl auf der STE 2020 als auch auf der eSTE 2021 angeboten:

1. Auswirkung zunehmender Verkabelung
2. Anforderungen an Erdungssysteme
3. Neuentwicklungen bei Betriebsmitteln
4. Innovative Verfahren zur Sternpunktbehandlung
5. Neue Methoden zur Erdschlusserfassung und Lokalisation
6. Auswirkungen der Harmonischen im Fehlerstrom
7. Erfahrungen aus dem Netzbetrieb
8. Erdschlussversuche
9. Fallbeispiele, Trends

Auf der auf einen halben Tag verkürzten Webkonferenz erfolgte eine kurze Darstellung des aktuellen Standes der Sternpunktbehandlung und eine sehr interessante Vorschau auf die STE 2022.

Genauere Details des Programms sind zu finden unter www.vde-ste.de.

Für die Webkonferenz hatten sich über 250 Teilnehmende aus 5 Ländern angemeldet (Deutschland, Österreich, Schweiz, Tschechische Republik, Schweden).

Kurzfassung der eSTE 2021 Beiträge

Innovationen im Bereich der Erdschluss-Löschung

In diesem Beitrag, der durch drei Paper ergänzt worden ist, wurden die ersten Ergebnisse zu den folgenden drei Themen gekürzt präsentiert:

■ Neue Erkenntnisse bezüglich des Löschverhaltens des frei brennenden Lichtbogens in gelöschten Netzen

Die vollständige physikalische Simulation des frei brennenden Lichtbogens im gelöschten Netz ist im Labor nicht möglich (z.B. gelöschtes 110-kV-Netz mit $I_{OE} = 900$ A und veränderlichem Zündzeitpunkt des Lichtbogens). Zur Erforschung des Löschverhaltens müssen im Labor immer Vereinfachungen vorgenommen werden, die leider Ergebnisse liefern, die nicht den realen Netzen entsprechen. Die oben beschriebenen Messungen haben gezeigt, dass das



Bild 1: Künstlich getriggert Erdschluss in einem gelöschten 110-kV-Netz

Löschverhalten in kleinen Netzen verbessert werden kann, indem die Verluste im Nullsystem erhöht und/oder die Verstimmung des Netzes reduziert werden, um die Anstiegsgeschwindigkeit der wiederkehrenden Spannung der fehlerhaften Phase zu reduzieren.

■ Anforderungen an moderne Petersen-Spulen-Regler

Durch die sehr umfangreichen Erdschlussversuche im gelöschten 110-kV-Netz der NETZ OOE konnten neue Anforderungen an die Regelung der Petersen-Spule definiert werden. Parallel dazu ist ein neues Verfahren basierend auf dem Differentiellen Spiral-Algorithmus (DiSpi) und einer 50-Hz-Stromeinspeisung zur Bestimmung der Netzparameter entwickelt worden. Der DiSpi Algorithmus ermöglicht unter anderem eine Parameterbestimmung des Netzes auch während eines wiederzündenden Erdschlusses. Der Regler kann daher auch während eines wiederzündenden Erdschlusses nachregeln und muss nicht mehr automatisch blockiert werden, sobald die Erdschluss-Schwelle überschritten wird. Für die normale Regelung hat dieses Verfahren den Vorteil, dass alleine aus dem Ausschwingen der Nullspannung die Abstimmung des gesamten Netzes mit Berücksichtigung aller Komponenten des Schwingkreises bestimmt wird. Eine weitere Ergänzung des schnellen Nachregeln während eines stationären Erdschlusses ist gerade in der Testphase; die Ergebnisse werden auf der STE 2022 präsentiert werden.

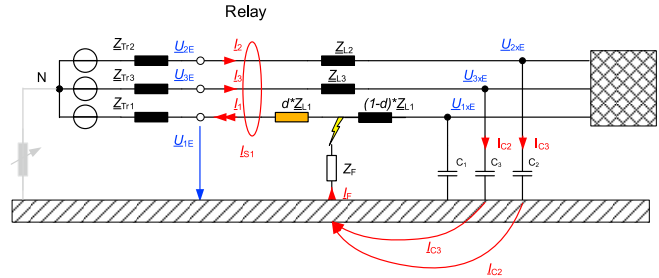


Bild 4: Vereinfachte Darstellung eines kompensierten Netzes

■ Neues Verfahren zur Erdschluss-Distanz-Messung (EDIST) in isolierten und gelöschten Netzen

Bei diesem Verfahren wird der Spannungsabfall entlang der Leitungsinduktivität von $d \times Z_{L1}$ vom Erdschlusspunkt bis zum Relais, verursacht durch die ungleiche 50-Hz-Aufladeschwingung, ausgewertet. Der schnell abklingende Strom der Aufladeschwingung ist üblicherweise ungleich 50 Hz und um ein Vielfaches größer als der Laststrom. Mit diesem neuen Verfahren ist es nun erstmals gelungen, mit Abtastraten im Bereich von 10 kHz, die heutzutage in einigen Schutzgeräten bereits verfügbar sind, auch für nicht niederohmig geerdete Netze nicht nur eine Identifikation eines fehlerhaften Abganges, sondern auch eine relativ genaue Erdschluss-Distanz-Messung im Bereich von 3 % durchzuführen. Das Verfahren funktioniert sowohl im Stichbetrieb als auch in vermaschten Netzen und bei Gegeneinspeisungen.

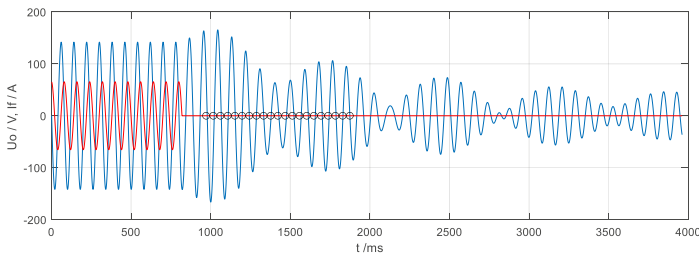


Bild 2: Bekannter Ausschwingvorgang der Spannung u_{NE} (blau) mit einer natürlichen Unsymmetrie nach einer Stromeinspeisung (rot)

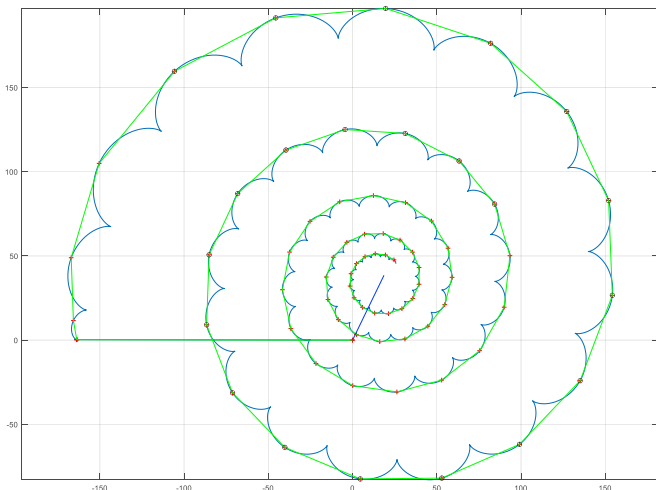


Bild 3: Anwendung von DiSpi: Auf Nennfrequenz synchronisierter Raumzeiger von u_{NE} (blau) mit einer natürlichen Unsymmetrie

Leitfaden zur Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH)

In diesem Beitrag wurde der aktuelle Stand des in Kürze erscheinenden, sehr umfangreichen Leitfadens präsentiert. Der Leitfaden wird von einer großen Expertengruppe bestehend aus Anwendern, Herstellern und Wissenschaft erstellt. Als Ausblick auf den Leitfaden wurden Ausschnitte aus den folgenden Kapiteln präsentiert:

- Bewertung von Erdschlussmessungen von Verteilnetzbetreibern
- Unsymmetrie in 110-kV-Netzen mit RESPE (äußere und innere Unsymmetrie)
- Aspekte zur Wahl der Sternpunktbehandlung
- Oft gestellte Fragen und Antworten zur Sternpunktbehandlung

Berechnung von Erdschlussströmen im Praxistest

In der Schweiz werden die MS-Netze bis in den Bereich von $I_{CE} = 175 \text{ A}$ sehr oft isoliert betrieben, ohne den Erdschluss sofort abzuschalten.

Da in isolierten Netzen keine Petersen-Spulen zur Berechnung von I_{CE} vorhanden sind, muss der I_{CE} aus Planungsdaten berechnet werden. Der Beitrag zeigte, dass die Verwendung von Faustformeln und Standardwerten zu Fehleinschätzungen führen und die Genauigkeit bei den heutigen und zukünftigen Netzen nicht mehr ausreicht. Die Ergebnisse aus mehreren Untersuchungen in realen Netzen und zugehörige Lösungsmöglichkeiten wurden sehr anschaulich präsentiert.

Reduktion des SAIDI durch kurzzeitig niederohmige Sternpunktterdung

SAIDI definiert die Nichtverfügbarkeit und ist somit eine Kenngröße für Versorgungszuverlässigkeit im Verteilnetz. Doppel- und Mehrfacherschlüsse sind selten, tragen aber überproportional zu SAIDI bei.

In diesem Beitrag wurden eine Analyse der vorhandenen Störungsdatenbank und die ersten Überlegungen zur Reduktion des SAIDI mit Hilfe einer kurzzeitigen niederohmigen Sternpunktterdung (KNE) präsentiert. Für die STE 2022 ist eine wesentlich ausführlichere Präsentation mit Auswertung der Ergebnisse in einigen „Versuchsnetzen“ geplant.

Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr?

Sowohl hinsichtlich Spannungsqualität und Versorgungszuverlässigkeit, als auch aus regulatorischer Sicht, hat sich die Erdschlusskompensation (bzw. Resonanzsternpunktterdung – RESPE) für den Großteil der Mittelspannungsnetze als vorteilhaft erwiesen. Allerdings steigt in diesen Netzen der Anteil der Kabel seit Jahren deutlich an. Nicht unerheblich tragen zu dieser Entwicklung die Anschlüsse von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen bei. In Folge der zunehmenden Kabellängen steigt der kapazitive Erdschlussstrom der Versorgungsgebiete massiv an.

Da sich der harmonische Anteil des Erdschluss-Reststroms im Betrieb nur schwer bestimmen lässt, leiten zahlreiche Netzbetreiber die Höhe des Erdschluss-Reststroms gemäß des pauschalen 10-%-Ansatzes der VDE 0101-2 aus dem kapazitiven Erdschlussstrom ab. Häufig sind Erdungsanlagen in Mittelspannungsnetzen bis 20 kV auf die Obergrenze für den Erdschluss-Reststrom von 60 A (vgl. VDE 0845-6-2) ausgelegt, bis zu der pauschal die Beeinflussung von Kommunikationsleitungen nicht untersucht werden muss. Mit dieser Vorgehensweise wird gefolgert, dass nur Netzgebiete mit einem maximalen kapazitiven Erdschlussstrom von 600 A gebildet werden können.

Der VDE Impuls „Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr?“ zeigt auf Basis aktueller Erkenntnisse, wie alternativ bei der Auslegung von RESPE-Netzen vorgegangen werden kann, um die mit Erdschlusskompensation betriebenen Netze noch effektiver auszunutzen und Investitionen zu minimieren. Diese Vorgehensweise wird schrittweise anhand konkreter Beispiel-Netze veranschaulicht. Der VDE Impuls „Erdschluss-Reststrom in Mittelspannungsnetzen: Eine (überschätzte) Gefahr?“ kann von der Homepage www.vde-ste.de gratis heruntergeladen werden. Die Autoren freuen sich über Rückmeldungen und rege Diskussionen.

Ermittlung von Einflussgrößen auf die Berührungsspannung bei Erdschluss in MS-Netzen mit Resonanz-Sternpunktterdung RESPE

In diesem Beitrag versuchte man die folgenden Fragen durch Auswertung von realen Messungen in unterschiedlichen Netzen des Vortragenden zu beantworten:

- Erreichen unsere MS-Netze eine kritische Größe? Ein kleiner Teil der Netze hat einen $I_{CE} > 600 \text{ A}$ => „gilt“ hier die

10%-Regel nach VDE 0101-2 ? Wird die Netzgröße begrenzt durch I_{CE} bzw. I_{RES} oder U_{TP} oder beides?

- Auslegung nach der Beeinflussungs-Norm 0845-6-2: In gelöschten Kabelnetzen gilt keine 60 A Obergrenze.
- Transparenz über die Höhe der Berührungsspannung: Evaluierung der Definition eines globalen Erdungssystems
- Wie im Leitfaden und VDE Impuls gezeigt wird, ergibt sich der Grundsatz: Es gibt keine Personengefährdung im Netzbetrieb, wenn die zulässigen Berührungsspannungen eingehalten werden.

Strombelastung von Mittelspannungskabeln im Nahbereich von Erdschluss-Kompensationsspulen

Hier wurde ein Ausschnitt aus dem Leitfaden ausführlicher präsentiert.

Es wurde detailliert aufgezeigt, wie sich die Schirmströme abhängig vom Fehlerort und der Art des Netzes bei großen dezentralen Spulen verteilen. Es gibt einige Konstellationen, bei denen die Erwärmung der Kabel zwischen den Petersen-Spulen genauer betrachtet werden müssen, um eine thermische Überlastung der Kabel zu verhindern. Im gelöschten Netz kann der erhöhte Strom über Stunden fließen.

Innovative Methode für die Abstimmung der Löschspule – echte Multifrequenz-Stromeinspeisung mit indirekter Messung

In diesem Beitrag wird eine neue Mehrfrequenz-Stromeinspeisung vorgestellt. Die bisherigen Lösungen benutzen üblicherweise eine Thyristorsteuerung, um einen gepulsten 50-Hz-Strom in das Nullsystem einzuspeisen. Diese Pulsung erzeugt zwei Nebenfrequenzen, die für die Berechnung der Netzparameter verwendet werden.

Die neue Stromeinspeisung verwendet einen Vier-Quadranten-Frequenzumrichter zur Erzeugung von 8 Frequenzen. Im Beitrag wurden die Vorteile dieses neuen Verfahrens gegenüber der bisherigen Lösung präsentiert.

Ausblick

Die auf einen halben Tag reduzierte eSTE 2021 hat gezeigt, dass einige Herausforderungen gelöst worden sind, dass aber neue interessante Fragen entstanden sind und dass im Hintergrund bereits an einigen Lösungen gearbeitet wird. Es ist zu erwarten, dass auf der kommenden geplanten STE 2022 (11. – 13. Oktober 2022 in Esslingen) wieder viele interessante Präsentationen erfolgen werden. Für die STE 2022 wird Anfang 2022 ein „Call for Abstracts“ erfolgen, um einerseits bestehende Abstracts upzudaten und andererseits Abstracts mit neuen spannenden Ideen und interessanten Lösungen für die STE 2022 zu erhalten.



Dr. techn. Gernot Druml,
Wissenschaftlicher Tagungsleiter
Sprecher-Automation GmbH

Y1 Digitaler Kaminabend des VDE Young Net

Das VDE Young Net richtet sich an alle Studierende und Young Professionals, die sich für die Elektrotechnik und alle angrenzenden Fachbereiche interessieren und bietet seinen Mitgliedern verschiedenste Möglichkeiten sich persönlich und fachlich weiterzubilden. Das Knüpfen von neuen Kontakten ist hier Gang und Gebe.

Für gemeinsame Veranstaltungen der beiden Gruppen auf Bundesebene gibt es das Bundesteam, bei dem jedes Mitglied die vielfältigsten Projekte im VDE unterstützen kann. Doch häufig beziehen sich die Bundesteamtreffen auf fachliche Kooperationen, an dem nicht jeder Studierende oder Young Professional teilnehmen kann und will. Die Corona Pandemie erleichterte die Kooperation sicherlich nicht.

Auf dem ersten digitalen Bundesteamtreffen zu Beginn der Pandemie wurden diverse Aktionen eruiert, wie man den Austausch zwischen den Studierenden und den Young Professionals verbessern kann. Als erste Maßnahme entstand dort der digitale Kaminabend.

Von Studierenden kommen häufig die Fragen, was die Young Professionals überhaupt machen, oder wie der Übergang von Jungmitglied zu Young Pro vonstattengeht. Ebenso würden Sie gerne wissen, wie es nach dem Studium weitergeht. Reicht der Bachelor, oder sollte es doch ein Master in meiner Branche sein? Und dann noch die Promotion oder doch der Direkteinstieg?

Damit Studierende eben diese Fragen beantwortet bekommen, wurden in den letzten Monaten die digitalen Kaminabende organisiert, bei denen zwei bis drei Young Professionals sich vorstellten und über ihren Werdegang erzählten und den ein oder anderen Tipp für die Studierenden gaben. Bis in den späten Abend konnten sich die Studierenden mit den Young Professionals austauschen und neue Kontakte knüpfen. Vor allem von neuen Mitgliedern wurden die Events sehr gut angenommen, da viele Veranstaltungen wegen der Pandemie leider abgesagt werden mussten.

Am 24.06.21 fand zudem ein digitaler Kaminabend speziell für Interessierte der Energietechnik statt, bei dem Juliane Selle von der Energiekontor AG, Andrea Schön vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik und der Universität Kassel und Jan-Hendrik Amrhein von der EAM Netz GmbH eingeladen waren und den knapp 25 Teilnehmenden von ihren beruflichen Tätigkeiten und Werdegängen berichten konnten. Themen waren unter anderem die aktuellen Entwicklungen auf dem Markt und der Berufseinstieg in die Branche.

Als einfach zu organisiertes Event spricht nichts dagegen, den digitalen Kaminabend weiterhin anzubieten oder eventuell auf weitere Bereiche des VDE auszuweiten.



Call for Young Enthusiasts

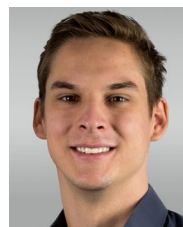
zur Entwicklung eines Zielbilds für ein klimaneutrales und nachhaltiges Energiesystem

Der weltweite Energieverbrauch steigt seit Jahrzehnten an. Im Kontext wachsender Weltbevölkerung, Globalisierung und dem damit einhergehenden Klimawandel wird die Forderung laut, die Energieversorgung weiterzuentwickeln, dabei Klima und Umwelt zu schonen und gleichzeitig soziale und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

Es soll der Frage nachgegangen werden, wie das Zielbild für ein klimaneutrales und nachhaltiges Energiesystem aussehen kann. Hierzu legen die Teilnehmer und Teilnehmerinnen zunächst den Umfang und die Grenzen ihres Vorhabens fest. Die VDE ETG Arbeitsgruppe bestehend aus jungen Enthusiasten und Enthusiastinnen löst sich von der Frage „Wie entwickelt man den Status Quo weiter?“ und bezieht auch Technologien ein, die heute noch nicht reif sind. Dabei sind Kreativität und das Verlassen bekannter Wege ausdrücklich erwünscht! Ausführliche Informationen findest Du im Call for Young Enthusiasts.

Wenn wir Dein Interesse an einer Mitarbeit wecken konnten, dann schreibe uns eine E-Mail (etg@vde.com). Wir freuen uns auf spannende Diskussionen.

<https://www.vde.com/de/etg/young-enthusiasts-cfe>



Sven Fießer
Young Professional / Hochschulgruppe Ilmenau
Sven.Fiesser@tu-ilmenau.de



DIE ENERGIEVERSORGUNG DER ZUKUNFT – ENTWICKELN SIE MIT!

Die DIGSILENT GmbH ist ein unabhängiges Beratungs- und Softwareunternehmen auf dem Gebiet der elektrischen Energieversorgung mit Sitz in Gomaringen und Dresden. Als Global Player sorgen wir dafür, dass Stromnetze weltweit stabil laufen, effizient bleiben und die Integration von erneuerbaren Energien vorangetrieben wird.

Das bieten wir:

- Flexible Arbeitszeitmodelle für eine ausgewogene Work-Life-Balance
- Hervorragende Entwicklungs- und Karrieremöglichkeiten
- Leistungsgerechte Bezahlung und Erfolgsbeteiligung
- Familienfreundliche Arbeitszeitmodelle und Kinderbetreuungszuschuss
- Attraktive Zusatzleistungen, wie z.B. Jobrad und Altersvorsorge
- Internationales Arbeiten innerhalb einer respektvollen und wertschätzenden Unternehmenskultur

SIND SIE BEREIT FÜR EINE NEUE HERAUSFORDERUNG?

Werden auch Sie Teil unseres Teams!



www.digsilent.de/karriere
In mehr als 160 Ländern tätig.

POWER SYSTEM SOLUTIONS
MADE IN GERMANY

A1 Blitz- und Überspannungsschutz breit aufgestellt

Die vierzehnte Blitzschutztagung wurde vom VDE Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (VDE ABB) als Studio-Online-Veranstaltung durchgeführt. Online beteiligten sich 156 Fachleute am 7. und 8. Oktober 2021. Die Themen der Tagung waren breit gefächert, zeitgemäß und zukunftsorientiert, und reichten von Digitalisierung im Blitzschutz, über neue Erkenntnisse aus der Blitzforschung, die Berührungsspannung im Personenblitzschutz bis zur Weiterentwicklung in der Normung zum Überspannungsschutz. Obwohl die Online-Möglichkeiten nur ein Ersatz für persönliche Begegnungen sein konnten, fand ein reger fachlicher Austausch zwischen den Teilnehmenden und vor allem Diskussionen mit den Referierenden statt.

In diesem Bericht stelle ich einige Highlights der Veranstaltung vor. Auf der Veranstaltungs-Homepage finden Sie den vollständigen Bericht. Zu dieser Blitzschutztagung wurden alle Beiträge als Vorträge in einer Studio-Umgebung in Frankfurt am Main präsentiert und online diskutiert.

Mit dem sehr breiten Themenfeld aus praxisnahen Projektergebnissen, neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, Beschreibung von neuen Techniken und aktuellen Fragestellungen konnte allen Tagungsteilnehmenden viel Interessantes geboten werden. Die verschiedenen Branchen, aus denen sich der Kreis der Teilnehmenden zusammensetzte, werden in *Bild 2* vorgestellt.

Die Blitzschutztagung wird regelmäßig von unseren europäischen Nachbarn besucht, im Überblick zeigt das *Bild 3* für 2021.

Zur Online-Durchführung konnte die Fachausstellung nicht wie gewohnt während der Tagung stattfinden. Drei Fachaussteller haben die Blitzschutztagung trotzdem großzügig als Sponsoren unterstützt (*Bild 4*).

Zu Beginn der beiden Veranstaltungstage wurden zur Blitzschutztagung 2021 in der Blitzforschung und im Blitzschutz verdiente Persönlichkeiten geehrt.



Bild 1: VDE Studio Frankfurt (Quelle: VDE)

Die höchste Auszeichnung des VDE ABB, die *Benjamin-Franklin-Medaille*, wurde an Herrn Professor Jan Meppelink verliehen. Die Benjamin-Franklin-Medaille wird an hochverdiente Wissenschaftler verliehen, die hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der grundlegenden und der angewandten Blitzforschung erbracht und sich um deren Belange verdient gemacht haben, was für Professor Meppelink in besonderer Weise zutrifft.

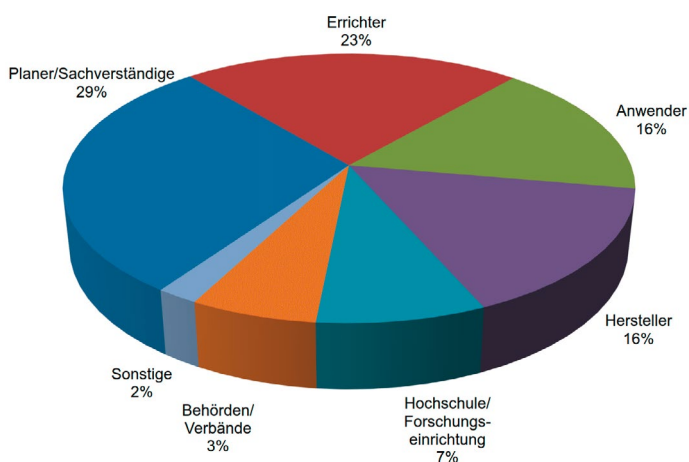


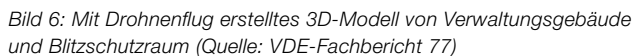
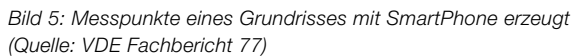
Bild 2: Teilnehmer nach Branche (Quelle: VDE)



Bild 3: Teilnehmer nach Land (Quelle: VDE)



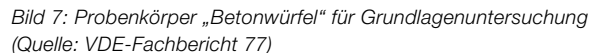
Bild 4: Sponsoren (Quelle: VDE)



Die zwei ersten Vorträge der Tagung und dieser Sitzung beschäftigten sich mit der Digitalisierung im Blitzschutz. Der einführende Beitrag wurde von Rainer Holtz (BFE, Oldenburg) gestaltet. Es wurden heute verfügbare einfache und komplexe Werkzeuge aufgezeigt, wie das Aufmaß von Räumen (*Bild 5*) und Gebäuden erstellt werden kann. Zusätzlich wurde dargestellt, wie mit Softwarelösungen 3D-Modelle bzw. die 3D-Visualisierung gelingt.

Im Beitrag „Bewertung alternativer Prüfmethoden für das Blitzableitungssystem in Rotorblättern von Windenergieanlagen“ ging Dr. Ralf Frentzel (TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München) auf die Schwierigkeiten der Prüfung des Blitzableitungssystems in Rotorblättern von Windenergieanlagen ein.

Im Beitrag „Der Schutzbereich von Fangeinrichtungen bei verwehrem Plasmakanal des Erstblitzes“ griff Prof. Meppelink



Dr.-Ing. Franz Schork (DEHN SE + Co KG, Neumarkt) berichtete, dass Batteriespeicher immer häufiger im Zusammenhang mit PV-Anlagen in die Gebäudestromversorgungen und damit in die Niederspannungsnetze quasi als Stromerzeuger eingebunden werden. Die Betrachtungen, Simulationen und Messungen an Batteriemodulen ergaben, dass in Folge von transienten Stoßströmen (*Bild 9*) keine Änderung des SOC oder der Temperatur zu erwarten ist, die ausgelösten chemischen Vorgänge vernachlässigbar sind und sich die ergebende Stoßspannungsbelastung symmetrisch auf die Batteriezellen der Module aufteilt. Geeignete Schutz- oder Entkopplungselemente müssen über sehr niedrige Ansprechspannungen verfügen.



2. Blitzforschung und Simulation

Im Beitrag von Prof. Dr.-Ing. habil. Fridolin Heidler (Universität der Bundeswehr München, Neubiberg) und Dr.-Ing. Christian Paul (TransnetBW GmbH, Stuttgart) zum Thema „Überhöhung des elektrischen Feldes bei Blitzeinschlägen in hohe Objekte am Beispiel des Peissenberg-Turms“ (Bild 10) wird über die Auswirkung von hohen Objekten auf die Ausbreitung des elektrischen Feldes berichtet.

Das E-Feld wird dazu genutzt, Blitze zu orten und die Amplitude der Blitzentladung zu ermitteln. Anhand von Simulationen wird gezeigt, dass bei einem Blitzeinschlag in ein hohes Gebäude der Stromfluss über das Objekt eine zusätzliche Feldkomponente erzeugt (Bild 11), die im Vergleich zu einem Feld, welches bei einem Blitzeinschlag in die Ebene erzeugt wird, überhöht ist.

Im Beitrag von Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Rock (Technische Universität Ilmenau) zur „Spannungsbeanspruchung zwischen Funktions-Potentialausgleichsleiter und vermaschtem Ringerder“ wird die interessante Frage untersucht, inwieweit ein Ringerder unter einem Fundament mit Funktions-Potentialausgleichsleiter bei geringer Erdfähigkeit wirksam ist. Die bei Blitzstromeinspeisung auftretenden Impulsspannungen besitzen an der Erdungs-Potentialausgleichs-Anordnung ein Maximum im zentralen mittleren Bereich. Bei der Einleitung von Blitzstoßströmen über den Funktions-Potentialausgleichsleiter und den vermaschten Ringerder (Bild 12) sind die ermittelten Differenzimpulsspannungsamplituden relativ gering, können aber trotzdem die Impulsspannungsfestigkeit von Beton überschreiten.

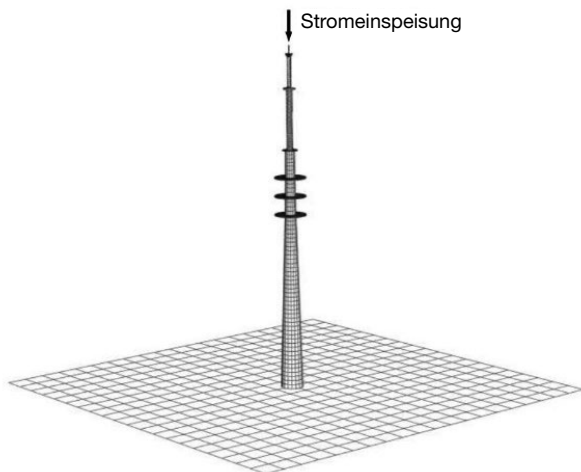


Bild 10: Modell des Peissenberg-Turms ohne Blitzkanal
(Quelle: VDE-Fachbericht 77)

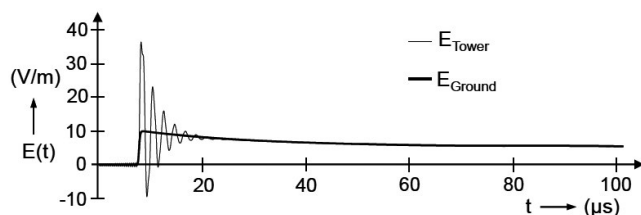


Bild 11: Berechnung des elektrischen Feldes in 20 km Entfernung
(Blitzeinschlag in die Ebene und in den Peissenberg-Turm)
(Quelle: VDE-Fachbericht 77)

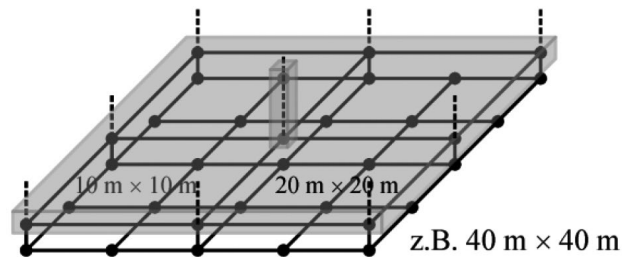


Bild 12: Funktions-Potentialausgleichsleiter im Betonfundament und darunter vermaschter Ringerder im Erdboden (äußere Ableitungen und eine innere Ableitung) (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

3. Blitzschutz spezieller Objekte

Im Gemeinschaftsbeitrag von Dipl.-Ing. (FH) Jochen Fulda (TÜV Hessen, Kassel) und Manfred Kienlein (Dehn SE, Neu- markt) wurden Grundlagen des Explosionsschutzes erläutert. Dies beinhaltet auch die maßgeblichen Änderungen bezüglich der Zündquelle Blitzschlag (Bild 13), was mit Beispielen aus der Praxis untermauert wurde.

Im Beitrag von Dipl.-Ing. Jürgen Wettingfeld (W. Wettingfeld GmbH, Krefeld) und M. Sc. Hendrik Wettingfeld (Vektor Plan GmbH, Krefeld) wurden Blitzschutz und Erdungsmaßnahmen für den Neubau eines Containerterminals erläutert. Anhand detaillierter Bilder, Messungen (Bild 14) und Erläuterungen wurden die baulichen Gegebenheiten, die Voraussetzungen anhand des Ex-Zonenplans und den Maßnahmen, die im Blitzschutzkonzept – wie die natürlichen Fang- und Ableitungseinrichtungen für die Containerbereiche, die Errichtung der Erdungsanlage und die Anforderungen insbesondere an einen Portalkran – auszuführen sind, vorgestellt.

Im Bereich Duisburger Hafenbahn wurde die klassische Stellwerkstechnik auf elektronische Systeme umgestellt. Im Gemeinschaftsbeitrag von Dipl.-Ing. Gerhard K. Wolff, Dipl.-Ing. Rainer Durth, M. Eng. Jean-Michel Fink (alle Phoenix Contact, Blomberg) und Dipl.-Ing. Carsten Kunert (Thyssenkrupp Steel Europe AG, Duisburg) wurden spezielle Über-

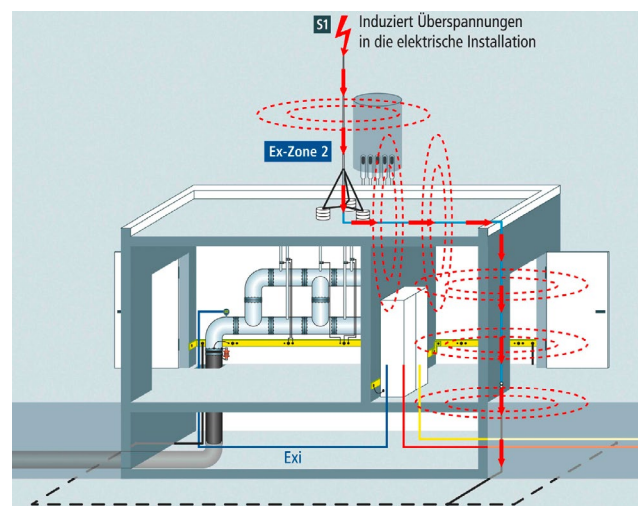


Bild 13: Induktionswirkung des abgeleiteten Blitzstromes
(Quelle: VDE-Fachbericht 77)



Bild 14: Erdungsmessung (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

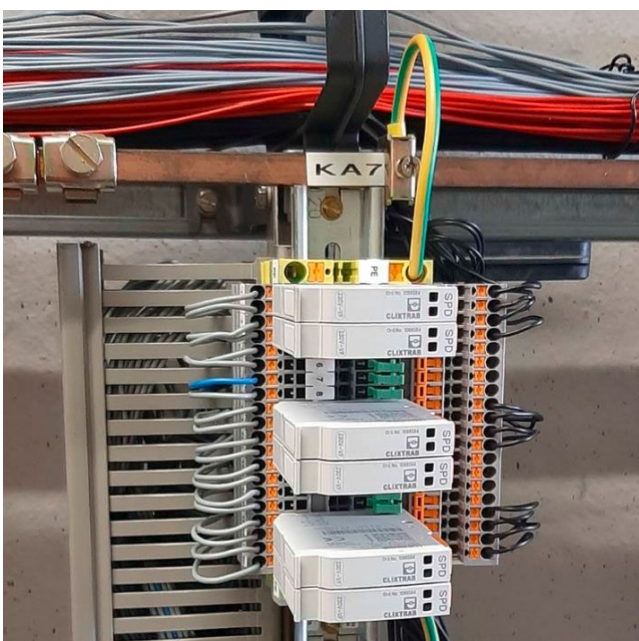


Bild 15: SPD-Beschaltung für Achszählerbaugruppe (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

spannungsschutzgeräte (Bild 15) in Bezug auf den konsequent auszuführenden Blitzschutz-Potentialausgleich für diese Maßnahmen dargelegt, da das Hafenbahnnetz zunehmend im Bereich der Rangierstellwerke rechnergestützt/modernisiert wurde und somit u. a. die betriebliche Verfügbarkeit sichergestellt werden musste.

4. Personenblitzschutz

Im ersten Beitrag von Dipl.-Ing. (FH) Klaus-Peter Müller (DEHN SE + Co KG, Neumarkt) und Thomas Raphael, (VDE e.V., Frankfurt) mit dem Titel „Erkenntnisse aus einem Blitzunfall – VDE Aktion Blitzunfallanalyse“ wurde über einen Personenunfall in Bamberg berichtet. Am 14.06.2020 wurde in Bamberg eine Frau vom Blitz getroffen. Klaus-Peter Müller erläuterte die Ergebnisse der Blitzunfallanalyse und beschrieb zugleich die VDE Aktion BlitzUnfallAnalyse VABULA (Bild 16).

Anschließend stellte Dr.-Ing. Manfred Menge (Blitzschutz – Planung und Prüfung, Berlin) im gemeinsamen Beitrag mit Prof. Michael Rock (TU Ilmenau) die „Blitzschutzterzung für innerstädtische Spielfelder mit Flutlichtmasten“ vor. Hierbei wurde insbesondere die Wirkung einer Kombination von Ring- und Tieferndern durch Simulationen untersucht.

Im dritten Beitrag dieser Session stellte Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern (FH Aachen, Campus Jülich) die „Gefährdung durch Berührungsspannungen und Körperströme bei gebäudeintegrierten Blitzschutzsystemen mit natürlichen Komponenten (Stahlstützen, Metallfassade)“ vor (Bild 17). In seinem Vortrag ging Prof. Kern insbesondere auf mögliche Impulsströme und Energien ein, die durch eine einzelne Person fließen können, sofern Stahlstützen oder Metallfassaden (die als Blitzableiter dienen) berührt werden.

„Numerische Simulationen der Berührungsspannung bei Blitzeinschlägen“ wurden anschließend von Dr.-Ing. Martin Hanig im gemeinsamen Beitrag mit Dr.-Ing. Ralph Brocke (beide DEHN SE + Co KG, Neumarkt) vorgestellt. Die vorgestellte Studie befasst sich unter anderem mit Berührungsspannungsverläufen entlang einer einzelnen Person (Bild 18), die einen blitzstromdurchflossenen Blitzableiter berührt. Mittels eines computergestützten Simulationsmodells wurde eine zum Blitzstrom proportionale Spannungsfunktion abgeleitet, die auch als mögliches Bewertungskriterium der zulässigen Berührungsspannung dienen kann.

5. Aktuelle Standards, Verordnungen und Richtlinien

Der erste Beitrag „Zusätzliche Informationen über das Erfordernis von Blitzschutz-Maßnahmen nach DIN 62305-3 – Das zukünftige Beiblatt 6“ von Dipl.-Ing. Gabriele Schwebble-Juch (Schwebble-Juch GbR, Garching) und Christian Braun (PE-SA-Blitzschutz GmbH, Reichertshofen) behandelt das neue Beiblatt 6 zur DIN EN 62305-3, in dem ausführliche Informationen zur Notwendigkeit von Blitzschutzsystemen und zur Schutzklasse für bauliche Anlagen abhängig von ihrer Nutzung gegeben werden (Bild 19).

Der letzte Aspekt wurde im folgenden Beitrag „Blitzschutz im Baurecht – Planung, Ausführung und Prüfung von Blitzschutzsystemen aus baurechtlicher Sicht“ von Dipl.-Ing. (FH) Joseph Messerer (Leitender Branddirektor a. D., Ingenieurbüro Joseph Messerer, München) aufgegriffen.



Bild 16: Blitzwirkungen auf Menschen (Quelle: VDE)

Der letzte Beitrag „Entwicklung der Standardisierung im Bereich Überspannungsschutz“ von Dr.-Ing. Gernot Finis, Dipl.-Ing. Markus Philipp (beide PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, Blomberg) und Dr.-Ing. Ralph Brocke (DEHN SE + Co KG, Neumarkt) gibt einen Überblick über die Weiterentwicklung der Standardisierung im Bereich Überspannungsschutz (Bild 20).

Alle Beiträge sind im VDE Fachbericht 77, 14. VDE Blitzschutztagung 7. – 8. Oktober 2021, Online-Veranstaltung, im VDE Verlag veröffentlicht worden.

Die 15. VDE Blitzschutztagung ist bereits auf den 11. und 12. Oktober 2023 terminiert und soll als Präsenzveranstaltung in der Stadthalle Aschaffenburg stattfinden.



Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Rock
Technische Universität Ilmenau
Wissenschaftlicher Tagungsleiter

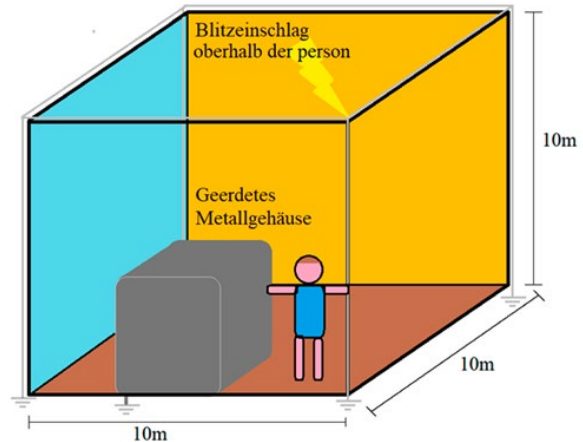


Bild 17: Modell zur Berechnung der Berührungsspannung in Gebäude (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

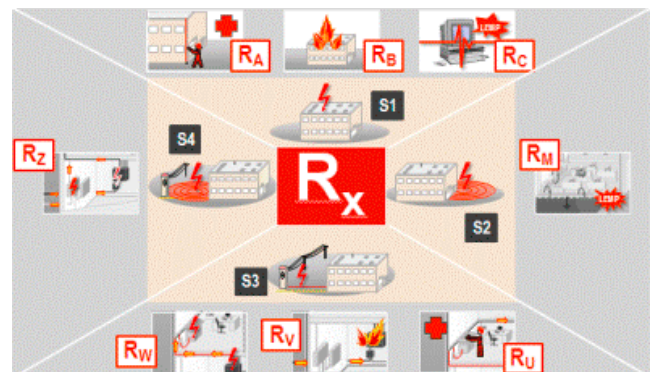


Bild 19: Übersicht Risikokomponenten Rx (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

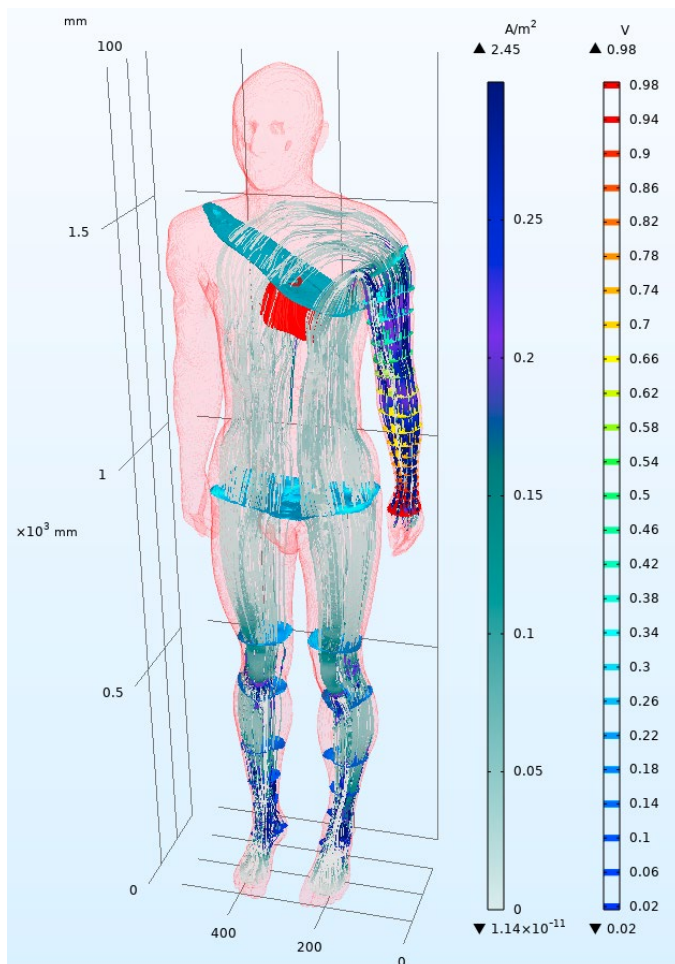


Bild 18: Stromdichte und Potential bei Kontaktierung linke Hand zu beiden Füßen (Quelle: VDE-Fachbericht 77)

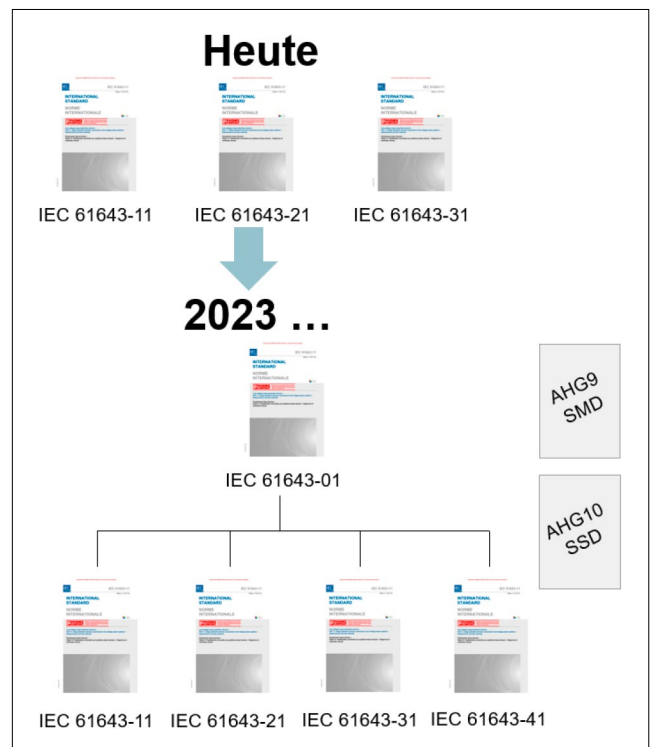


Bild 20: Zukünftige Struktur für die Produktnorm im Überspannungsschutz

11 Aktuelle Informationen aus CIRED



2021 war anders und 2022 wird anders werden!

Liebe ETG Mitglieder,

2021 war CIRED-Konferenz-Jahr. Leider nicht so, wie wir als deutsches Komitee und alle anderen aktiven Mitstreiter und Mitstreiterinnen der CIRED uns das vorgestellt hatten. Mit 140 Abstracts und 113 angenommenen Beiträgen konnten wir bei den Abstracts das Niveau gegenüber 2019 halten und bei den Beiträgen sogar 15 % steigern. Damit stellten wir mit Abstand das größte nationale Kontingent. Weniger erbaulich war dagegen die Verschiebung zuerst vom Juni in den September und dann von Genf in die virtuelle Welt. Besonders schmerzlich war dies für das Schweizer Organisationskomitee, die nach langjähriger Vorbereitung mit viel Arbeit eine perfekte Veranstaltung garantieren wollten. In der Konsequenz mussten wir mit deutlichen Abstrichen an der Teilnehmerzahl vorliebnehmen. Nichtsdestotrotz waren die meisten Themen und Beiträge tagesaktuell und wurden intensiv in den Sessions, den Roundtables und den Research and Innovationforums (RIF) diskutiert. Die interaktiven Postersessions haben das Ganze abgerundet.

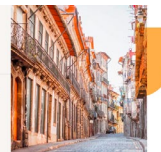
2021 hat jedoch auch weitere Facetten gehabt. Eine besonders positive war der 2. ETG CIRED D-A-CH Workshop „Innovationen im Verteilernetz“, der Anfang November 2021 in München stattfand. Details finden Sie in einem separaten Beitrag in dieser Ausgabe. Ziel war es, dem technischen Management bei den VNB's und den Herstellern eine Diskussionsplattform zu geben, sowie dem akademischen Nachwuchs die Chance, aktuelle Forschungsarbeiten vorzustellen. Das Angebot wurde sehr gut angenommen und hervorragend organisiert, dafür unseren herzlichen Dank an Frau Altintas vom VDE Konferenzservice und ihre Kollegen und Kolleginnen, die hier eine der wenigen Präsenzveranstaltungen in diesem Jahr umsichtig und sicher gestaltet haben. Dass das Konzept tragfähig ist, hat sich auch dadurch bewiesen, dass die nationalen Komitees CIRED D-A-CH sich für eine Fortsetzung der Veranstaltungsreihe in 2022 in Österreich entschieden haben.

Auch in 2021 haben wir gemeinsam mit dem Deutschen Komitee der CIGRE am 12.10.2021 die CIGRE-CIRED Informationsveranstaltung in hybrider Form – die Referenten vor Ort in Hamburg und die Teilnehmer virtuell – durchgeführt. „Die Netze werden grüner“ – mit nachhaltigen Beiträgen von CIRED und CIGRE.

CIRED als internationale Organisation hat es nun geschafft, eine eigene Rechtskörperschaft als gemeinnützige Organisation belgischen Rechts zu bilden. Nachdem im September 2021 die Gründungsurkunde durch den belgischen König unterzeichnet wurde, soll am 22.12.2021 die Gründungssitzung der Vollversammlung stattfinden. Alle bisherigen nationalen Komitees werden dann jeweils einen Sitz haben. Mit der neuen Organisation soll die Arbeit von CIRED weiter professionalisiert werden, damit Sichtbarkeit und Wirksamkeit sich weiter verbessern. Der Mastermind hinter diesem Kraftakt, der mehrere Jahre dauerte, war Theodor Connor, der dieses Projekt mit allen nervenaufreibenden Widrigkeiten der internationalen



**CIRED Porto
Workshop 2022
E-mobility and power
distribution systems**



Bürokratie in seiner Zeit als Präsident der CIRED gestartet und als Präsident im Unruhestand in den sicheren Hafen gelotst hat. Dafür können wir ihm nicht genug danken!

Neben den Veränderungen in der Rechtsform, haben wir auch fachliche Änderungen zu berichten. In den letzten 20 Jahren war die Integration erneuerbarer Energiequellen ein Thema das aufgrund der Bedeutung eine eigene Session bekommen hatte. Mittlerweile ist jedoch die Integration Erneuerbarer Tagesgeschäft. Andererseits zeigte sich die Session „Netzbetrieb, Schutz- und Leittechnik“ immer mehr als deutlich überfüllt. In der Konsequenz wird in Zukunft das Thema der erneuerbaren Energiequellen in die jeweiligen Fachsessions verlegt und dafür eine Session „Netzbetrieb“ und eine Session „Schutz- und Leittechnik“ installiert. Die Umsetzung dieses Konzepts liegt in der Hand des im November 2021 neuberufenen Vorsitzenden des Technischen Komitees: Prof. Markus Zdrallek. Herzlichen Glückwunsch zur Wahl, die ein Ausdruck der weltweiten fachlichen Anerkennung von Markus Zdrallek ist!

2022 wird wieder anders als 2021 sein, wir sind fest davon überzeugt, dass endlich wieder Fachveranstaltungen in persona stattfinden können, zum Beispiel der CIRED Workshop zum Thema Elektromobilität der am 02./03. Juni 2022 in Porto (Portugal) stattfinden wird, und auch der 3. CIRED D-A-CH Workshop im Herbst 2022!

Bis dahin seien Sie umsichtig, achten Sie auf Ihre Gesundheit und vor allem bleiben Sie gesund.

*Dr. Uwe Kaltenborn & Dr. Roland Drewek
Vorsitzende des DK CIRED*



*Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn
HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH*



*Dr. Roland Drewek
SW Kiel Netz GmbH*

12 ETG CIRED D-A-CH Workshop: Innovationen im Verteilernetz

Mit dem zweiten ETG CIRED D-A-CH Workshop sind wir auf dem Weg eine feste deutschsprachige Veranstaltung zu etablieren, die es sich zur Aufgabe macht, tagesaktuelle Themen zu den Innovationen in Verteilernetzen aufzunehmen und von verschiedenen Sichtweisen ausgehend zu diskutieren. Speziell für den deutschsprachigen Raum wird damit eine regionale Plattform für den Austausch zwischen Praxis, Regulierung und Wissenschaft angeboten. Ansätze für Innovationen und deren Umsetzung in den Verteilernetzen können so mit einem breiten Fachpublikum offen und lebhaft diskutiert werden.

Am 2. und 3. November 2021 fand in München der nunmehr zweite ETG CIRED D-A-CH Workshop statt. Gemeinsam mit dem VDE Konferenzservice hatte sich der Programmausschuss entschieden, eine Präsenzveranstaltung durchzuführen, nachdem wir im COVID-19 Jahr 2020 eine 12-monatige Verschiebung der Veranstaltung beschlossen hatten. Mit der Hanns-Seidel-Stiftung in München hatten wir die Räumlichkeiten, um mit 3G-Zugang, Maskenpflicht und Abstandsvorgaben, eine sichere Veranstaltung zu garantieren.

Die Verschiebung um 12 Monate sowie die Tatsache, dass die diesjährige internationale CIRED Konferenz nicht im Juni und nicht in Genf, sondern im September und virtuell stattfand, hat auch das Programm unseres Workshops beeinflusst. So haben wir den ersten Themenblock den Innovationsthemen, die auf CIRED Konferenz im Mittelpunkt standen, gewidmet. Die beiden anderen Themenblöcke standen unter der Überschrift

- „Daten – Informationen – Entscheidungen: Neue datenbasierte Technologien und Anwendungen für die Netzbetreiber“ sowie
- Resilienz der Verteilernetze

In der Tradition der CIRED stehend, wurden die Themen mit einem Impulsvortrag eingeleitet, mit ausgewählten Fachbeiträgen vertieft und im Roundtableformat diskutiert. Weiterhin hatten wir eingeladen Posterbeiträge zu den Themen einzureichen, was gerade von jungen Fachkolleginnen und -kollegen sowohl von Hochschulen, Universitäten und Forschungseinrichtungen und auch von Netzbetreibern und Herstellern sehr gut angenommen wurde. Die Postersessions mit fast 30 Postern waren der Ausgangspunkt für ein intensives Networking und Fachdiskussionen, was daran zu erkennen war, dass einige Teilnehmer erst eine Stunde nach Eröffnung des Abendbuffets von der vorangegangenen Postersession dazugestossen sind und immer noch gut versorgt wurden.

Prof. Andreas Ulbig eröffnete den Themenblock „Daten – Informationen – Entscheidung“ mit der Fragestellung, welche Durchdringung wir im Verteilernetz brauchen, um adaptive Funktionen, die im Allgemeinen als SMART bezeichnet werden, zu realisieren. Eine wichtige Erkenntnis ist, das Streben nach Perfektion eher hinderlich bei der praktischen Umsetzung sein wird. Interessante Einblicke in alternative Ansätze konnten Peter Dorfinger und Walter Schaffer aus Österreich



© Halcie Altintas

berichten. Hier werden in einem Pilotprojekt die Nutzung von Daten der Mobilfunkbetreiber untersucht, um so aus dem anonymisierten Verhalten der Kunden Rückschlüsse auf den Lastverlauf im Verteilernetz zu erhalten. Mit einer Remote-Schaltung nach Schleswig-Holstein haben Ole Langmaack und Kollegen interessante Einblicke in die Möglichkeiten von LoRaWAN zur Datenakquisition im Niederspannungsnetz sowie im sekundären Verteilernetz gegeben. Den Abschluss bildete Rafael LaFauci aus der Schweiz, der den langwierigen und steinigen Weg zu einem rechenbaren Netzmodell auf Basis von Echtzeitdaten sehr anschaulich darstellte.

Resilienz ist aktuell in aller Munde. Was meinen wir mit Resilienz? Um den Begriff der Resilienz in seiner Bedeutung gesamtheitlich zu betrachten, haben wir mit Prof. Alexander Stolz aus Freiburg, einen der profiliertesten Vordenker zum Thema Resilienz-Engineering, gewinnen können, der mit seinem interessanten und provokativen Vortrag begeisterte: „Im Resilience Engineering werden Maßnahmen und Methoden entwickelt, um vor, während und nach einer Krise die besten Entscheidungen zu fällen. Ein Schadensereignis wird dabei in fünf Phasen eingeteilt. Davor gilt es, sich bestmöglich vorzubereiten (Prepare) und vorbeugende Maßnahmen (Prevent) zu treffen. Tritt die Katastrophe ein, geht es darum, sich zu schützen (Protect), drastische Konsequenzen abzumildern und kritische Versorgungsfunktionen aufrechtzuerhalten (Respond). Nach der Krise müssen alle Dinge schnell wieder zum Laufen gebracht (Recover) und durch systematisches Lernen die Lehren aus der Krise gezogen werden.“ (Prof. A. Stolz)

Robert Schmaranz aus Österreich zeigte auf, wie der Netzwiederaufbau im Wesentlichen vom Abstimmungsbedarf innerhalb und zwischen den Netzbetreibern abhängt und wie permanentes aktives Training sich positiv auswirkt. Ein weiterer österreichischer Beitrag von Wolfgang Rosenkranz berichtete von der Notwendigkeit und den Aufgaben eines Energiesektor-CERTs, wobei CERT für Computer Emergency Response Team steht. Hier steht Cybersecurity im Mittel-

punkt. Interessant war die Feststellung, dass Cyberkonflikte zwischen verschiedenen Kräften gerne auch im System unbeteiligter Dritter ausgetragen werden, die dann die Last der potenziellen Schäden zu tragen haben. Daher wird die Notwendigkeit von Emergency Response Teams zunehmen.

Abschließend berichtete Frederik Puhe aus Dortmund über das Konzept gewollter und ungewollter Inselbildung im Verteilernetz und wie diese Netzzustände identifiziert und unterschieden werden können und damit zur Robustheit des Netzes beitragen können.

Dass die Veranstaltung ein solcher Erfolg wurde, ist dem Programmausschuss und dem erweiterten Organisatorenkreis, allen Vortragenden und Posterautoren sowie dem VDE Konferenzservice zu verdanken. In 2022 planen wir die Fortsetzung der Veranstaltungsreihe durch den OVE in Österreich, womit wir dann eine Tradition etabliert haben.



Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn
HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

13 Aktuelle Informationen aus dem Deutschen Komitee der CIGRE



Liebe Leserinnen und Leser,

ich freue mich, Ihnen an dieser Stelle von den Aktivitäten in CIGRE berichten zu dürfen. Leider war auch das Jahr 2021 entgegen unserer Hoffnung noch stark durch Corona und Reise- / Kontaktbeschränkungen geprägt, wodurch ein Großteil der Arbeit in digitalen Formaten erfolgen musste. Auch die Centennial Session zum 100. Geburtstag der CIGRE konnte nicht als Präsenzveranstaltung in Paris durchgeführt werden, sondern fand wie 2020 als virtuelle Session statt. Die übliche Zusammenkunft der Teilnehmenden und Aussteller im Palais de Congrès in Paris musste entfallen. Stattdessen wurden über zwei Wochen die Beiträge zu den z. T. überarbeiteten Papers aus 2020 von den Autoren präsentiert. Anders als im Vorjahr waren dabei die Vorsitzenden der Study Committees in Paris präsent und übernahmen aus professionell ausgestatteten Studios die Moderation und Leitung der Session sowie der Fragen.

Über 1.500 Teilnehmende aus nahezu allen Ländern waren angemeldet und zugeschaltet. Obwohl es mit dem Zeitfenster der werktäglichen Übertragung für einige Zeitzone gezwungenermaßen sehr früh oder sehr spät wurde, fanden lebhaft Diskussionen und Fragerunden mit den Expertinnen und Experten statt. Die Internationalität der CIGRE unterstreichend, waren die meisten Session-Teilnehmende aus Japan zu vermerken.

Für das Jahr 2022 wird, wie gewohnt in den geraden Jahren, nun die nächste physische CIGRE Session im Palais des Congrès in Paris vom 28. August bis 2. September geplant. Neben der Diskussion der vorgetragenen Papers aus den vielfältigen Study Committees, wobei wir aus Deutschland oder deutscher Beteiligung beachtliche 51 angenommene Paper beisteuern, steht auch die persönliche Vernetzung im Kreise

der internationalen technisch-wissenschaftlichen Fachleute und Aussteller wieder im Vordergrund. Gerade diese Vernetzung binnen einer Woche an einem Ort von internationalen Teilnehmenden der Betreiber, Wissenschaft und Hersteller der elektrischen Energieübertragung und -verteilung ist eine besondere Motivation für die aktive Mitwirkung in CIGRE und wir erwarten daher an die vor-Pandemie Teilnehmerzahlen anzuknüpfen.

Ich würde mich sehr freuen, wenn wir möglichst viele von Ihnen auch dort begrüßen können. Bitte melden Sie sich frühzeitig an, bzw. nutzen Sie als Firma die Gelegenheit, nach 2018 erstmals wieder in diesem Format eine Ausstellung im Rahmen der Session durchzuführen.

Auch in Deutschland blicken wir auf ein erfolgreiches Jahr 2021 zurück. Besonders positiv ist die Entwicklung der Mitgliederzahlen von 793 auf 827 hervorzuheben. Damit stellt Deutschland nun nach Japan den viertgrößten Landesverband nach Anzahl der Mitglieder. Mitte 2022 läuft nach der maximal sechsjährigen Amtszeit der beiden Vorsitzenden der Study Committees „C6 Active distribution systems and distributed energy resources“ (Frau Prof. Dr.-Ing. Christine Schwaegerl) und „D1 Materials and emerging test techniques“ (Herr Dr. Ralf Pietsch) aus. An dieser Stelle nochmals besonderer Dank an Sie für Ihre langjährige Unterstützung, die ja häufig neben der beruflichen Arbeit zusätzlich erbracht wird.

Es würde mich sehr freuen, wenn es uns als mitgliederstarkem Verband in den kommenden Jahren wieder gelingt, den einen oder anderen internationalen Vorsitz zu stellen.

Mit den weltweit ersten kommerziellen Anwendungen von HGÜ-Umrichtern auf kompakten Offshore Plattformen zum



Netzanschluss von Offshore Windparks, die in den letzten 12 Jahren in Nord- und Ostsee im Vergleich mit Großbritannien und Dänemark durchaus küstenfern entstanden sind, sowie den HGÜ-Korridorprojekten Ultranet, SüdLink, SüdOstLink und der vermutlich erstmaligen Anwendung von +/- 525 kV DC mit extrudierten Erdkabeln, setzt Deutschland im Zuge der Energiewende wieder technologische Maßstäbe. Große Herausforderungen in Europa liegen aber noch vor uns, um die immer ehrgeizigeren zeitlichen Ziele der Dekarbonisierung unserer Energieversorgung zu erreichen. Mit der Umstellung auf Elektromobilität im Verkehr und Wärmepumpen bei der Heizwärmeversorgung, nimmt die Bedeutung der elektrischen Netze in der Energieversorgung weiter zu. Dabei hat das 2012 erschienene Buch „Blackout“ von Marc Elsberg uns bereits frühzeitig vor Augen geführt, wie abhängig unsere moderne Gesellschaft von der hohen Verfügbarkeit der Stromversorgung ist.

In naher Zukunft müssen wir die gewohnt hoch verfügbare Stromversorgung ohne oder zumindest mit deutlich weniger konventionellen Großkraftwerken sicherstellen, damit die Energiewende gelingt. Eine große Aufgabe für die gesamte Branche, die nur in der gemeinsamen Zusammenarbeit vieler Fachleute aus Wissenschaft, von Betreibern und Herstellern gelingen kann. Hier bietet CIGRE eine ideale Kollaborationsplattform für die Fachwelt international. Ich hoffe speziell auch junge Ingenieurinnen und Ingenieure anzusprechen, sich aktiv zu engagieren und in CIGRE-Arbeitsgruppen einzubringen.

Im Kontext der Werbung um Nachwuchs steht auch die mit dem DK CIGRE gemeinschaftlich durchgeführte jährliche Informationsveranstaltung des DK CIGRE. Diese fand am 12. Oktober 2021 in Hamburg unter dem Titel „Die Netze werden grüner“ mit knapp 200 Teilnehmern wieder hybrid statt. Obwohl zunächst mit Optimismus auf Lockerungen und hoher Impfquote als Präsenzveranstaltung geplant, begrenzte eine Verfügung der Stadt Hamburg die maximale Anzahl der Teilnehmenden vor Ort.

Anders als im Vorjahr, waren neben den Mitgliedern des DK CIGRE, den Leiterinnen und Leitern der deutschen Arbeitskreise auch alle Vortragenden vor Ort, was einen technisch reibungslosen Ablauf der Veranstaltung gewährleistete und die Beantwortung vieler Fragen, sowohl aus dem anwesenden Publikum als auch aus dem Chat ermöglichte.

Die Vorträge zeigten eindrucksvoll, dass sich unsere Branche nicht allein darauf ausruhen kann, die Energiewende hin

zum Strom aus erneuerbaren Energien zu gestalten, sondern auch selber aufgerufen ist, eigene Beiträge zu leisten. Die Fachvorträge der Referenten handelten daher unter anderem vom Ersatz von flüssigen oder gasförmigen Isolierstoffen durch nachhaltigere Materialien. Gerade der Ablösung des Isolier- und Schaltgases Schwefelhexafluorid (SF_6), dem heutigen Standard weltweit, kommt dabei ein besonderes Augenmerk zu, denn es werden unterschiedliche Substitutionen vorgeschlagen, die sich in den nächsten Jahren am Markt bewähren müssen. Es wird sehr spannend sein welche Lösungen sich durchsetzen, da bereits in der Informationsveranstaltung anwesende Expertinnen und Experten der Betreiber es als nachteilig sehen, in Zukunft hersteller- oder gar anlagen-spezifische Ersatzteile und Spezialwerkzeuge vorhalten zu müssen.

Neue Ansatzpunkte, bei denen CIGRE aktiv helfen kann, internationale Erfahrungen neutral zu bewerten, um künftige Standards für Materialverwendung in nachhaltiger produzierten Betriebsmitteln der Zukunft zu setzen.

Am Tag nach der Informationsveranstaltung fand traditionell wieder die Aussprache und Sitzung des deutschen Komitees der CIGRE statt. Dabei stellten die Vorsitzenden der deutschen Arbeitskreise den Stand der Aktivitäten und Fortschritte in den einzelnen Arbeitsgruppen vor.

Ebenfalls wurde in dieser Sitzung der neue Vorsitzende des DK CIGRE gewählt, nachdem die dreijährige Amtszeit von Dr. Frank Golletz abläuft. Zum Stellvertreter wurde Herr Michael Jesberger, Mitglied der Geschäftsführung TransnetBW, gewählt.

Ich möchte mich im Namen aller Mitglieder bei Herrn Dr. Golletz ausdrücklich für die souveräne Führung unserer deutschen CIGRE-Aktivitäten in der durch Corona geprägten schwierigen Zeit bedanken. Beide Sessions in seiner Amtszeit mussten virtuell durchgeführt werden und trotzdem ist es gelungen die Zahl der deutschen Mitglieder zu erhöhen und die Arbeit in den Study Committees der CIGRE voranzubringen!

Herzlichst Ihr
Wilfried Breuer



Dipl.-Ing. Wilfried Breuer
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg
Neuer Vorsitzender des DK CIGRE

S1 Politik und Regulierung

Koalitionsvertrag: Wie die neue Bundesregierung die Energiewende vorantreiben will

Am 08.12.2021 wurde Olaf Scholz (SPD) vom Deutschen Bundestag zum neuen Bundeskanzler gewählt und die neue Bundesregierung vereidigt. In dem von den Regierungsparteien SPD, Grüne und FDP am 07.12.2021 unterschriebenen Koalitionsvertrag, nimmt die Energie- und Klimapolitik eine zentrale Rolle ein. Die neue Regierung will den Ausbau der Erneuerbaren Energien zu einem zentralen Projekt ihrer Arbeit machen, einen verlässlichen und kosteneffizienten Weg zur Klimaneutralität spätestens 2045 technologieoffen ausgestalten sowie das EU-Programm „Fit for 55“ unterstützen.



© adrian_jllie825 / stock.adobe.com

• Erneuerbare Energien

Die Erneuerbaren Energien (EE) sollen deutlich schneller ausgebaut und alle Hürden und Hemmnisse aus dem Weg geräumt werden. Das Erneuerbaren-Ziel soll dabei an einem höheren Bruttostrombedarf von 680-750 TWh im Jahr 2030 ausgerichtet werden, wovon 80 Prozent aus Erneuerbaren Energien stammen sollen. Planungs- und Genehmigungsverfahren sollen erheblich beschleunigt und Rechtssicherheit im Artenschutzrecht geschaffen werden.

Die neue Regierung will den dezentralen Ausbau der Erneuerbaren Energien stärken und Erneuerbarer Strom soll stärker in der Erzeugerregion genutzt werden können. Dazu sollen die Rahmenbedingungen für die Bürger-Energie verbessert werden.

Alle geeigneten Dachflächen sollen künftig für die Solarenergie genutzt werden. Bei gewerblichen Neubauten soll dies verpflichtend, bei privaten Neubauten soll es die Regel werden.

Ziel für den Ausbau der Photovoltaik (PV) sind ca. 200 GW bis 2030 (2020: rd. 54 GW). Dazu sollen alle Hemmnisse beseitigt werden, u. a. sollen Netzanschlüsse und die Zertifizierung beschleunigt, Vergütungssätze angepasst, die Ausschreibungspflicht für große Dachanlagen und die Deckelung geprüft werden. Innovative Solarenergie wie Agri- und Floating-PV sollen gestärkt und die Ko-Nutzung ermöglicht werden.

Für die Windenergie an Land sollen zwei Prozent der Landesflächen ausgewiesen werden und es soll sichergestellt werden, dass auch in weniger windhöffigen Regionen der Windenergieausbau deutlich vorankommt. Konkrete Ausbauziele werden allerdings nicht genannt. Wo bereits Windparks stehen, muss es ohne großen Genehmigungsaufwand möglich sein, alte Windenergieanlagen durch neue zu ersetzen.

Die Kapazitäten für Windenergie auf See soll auf mindestens 30 GW 2030, 40 GW 2035 und 70 GW 2045 gesteigert werden. Dazu sollen entsprechende Flächen in der Außenwirtschaftszone gesichert werden und Offshore-Anlagen Priorität gegenüber anderen Nutzungsformen genießen. Euro-

päische Offshore-Kooperationen sollen weiter vorangetrieben und grenzüberschreitende Projekte in Nord- und Ostsee gestärkt werden.

Die Bioenergie in Deutschland soll eine neue Zukunft haben. Dazu soll eine nachhaltige Biomasse-Strategie erarbeitet werden.

Das Potenzial der Geothermie für die Energieversorgung soll stärker genutzt werden.

Um den Strompreis zu entlasten, soll die EEG-Umlage zum 1. Januar 2023 auslaufen. Der EE-Ausbau soll dann über die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung finanziert werden.

• Kohleausstieg

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung soll beschleunigt und idealerweise bis 2030 erfolgen. Hierzu sollen moderne Gaskraftwerke zusätzlich zu dem geplanten massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien errichtet werden. Die zur Versorgungssicherheit notwendigen Gaskraftwerke sollen zur Nutzung der vorhandenen (Netz-)Infrastrukturen und zur Sicherung von Zukunftsperspektiven auch an bisherigen Kraftwerksstandorten gebaut werden und sie müssen auf klimaneutrale Gase (H₂-ready) umgestellt werden können.

Die Versorgungssicherheit und der schnelle Ausbau der Erneuerbaren sollen regelmäßig überprüft werden.

• Gas und Wasserstoff

Erdgas ist für eine Übergangszeit unverzichtbar. Die bis zur Versorgungssicherheit durch Erneuerbare Energien notwendigen Gaskraftwerke müssen jedoch so gebaut werden, dass sie auf klimaneutrale Gase (H₂-ready) umgestellt werden können.



Die Wasserstoffstrategie soll 2022 ein ambitioniertes Update erhalten. Ziel ist ein schneller Markthochlauf. Erste Priorität hat die einheimische Erzeugung auf Basis Erneuerbarer Energien. Hierzu soll eine Elektrolysekapazität von rund 10 GW im Jahr 2030 erreicht werden. Beim Import von Wasserstoff sollen die klimapolitischen Auswirkungen beachtet und faire Wettbewerbsbedingungen für die deutsche Wirtschaft sichergestellt werden. Die notwendige Import- und Transportinfrastruktur soll möglichst schnell vorangetrieben und die Wasserstoffregulatorik soll technologieoffen gestaltet werden.

• Netze

Für die neue Bundesregierung sind die Strom- und Wasserstoffnetze das Rückgrat des Energiesystems der Zukunft. Die Netzinfrastrukturen sollen stärker gemeinsam und vorausschauend geplant werden. Übertragungsnetzbetreiber und BNetzA sollen dazu einen über die aktuellen Netzentwicklungsplanungen hinausgehenden Plan für ein „Klimaneutralitätsnetz“ berechnen und den Bundesbedarfsplan entsprechend fortschreiben. Besonderes Augenmerk soll bei allen Maßnahmen auf den Stromautobahnen liegen. Planungs- und Genehmigungsverfahren sollen auch hier beschleunigt werden.

Bis Mitte 2023 soll eine „Roadmap Systemstabilität“ vorgelegt werden.

Die Verteilnetze sollen modernisiert und digitalisiert werden, u. a. durch eine vorausschauende Planung und mehr Steuerbarkeit. Der Rollout intelligenter Messsysteme soll beschleunigt werden.

Speicher sollen als eigenständige Säule des Energiesystems rechtlich definiert werden.

• Strommarktdesign

Im Zuge des Ausbaus der Erneuerbaren Energien soll ein neues Strommarktdesign erarbeitet werden. Dazu soll eine Plattform „Klimaneutrales Stromsystem“ eingesetzt werden, die 2022 konkrete Vorschläge macht und Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft einbezieht.

Um den zügigen Zubau gesicherter Leistung anzureizen und den Atom- und Kohleausstieg abzusichern, sollen die in diesem Rahmen bestehenden Instrumente evaluiert sowie wettbewerbliche und technologieoffene Kapazitätsmechanismen und Flexibilität geprüft werden. Dazu zählen u. a. gesicherte Erneuerbare-Leistungen, hocheffiziente Gaskraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung im Rahmen der Weiterentwicklung des entsprechenden Gesetzes, ein Innovationsprogramm, um H₂-ready-Gaskraftwerke auch an Kohlekraftwerkstandorten anreizen zu können, Speicher, Energieeffizienzmaßnahmen und Lastmanagement.

Des Weiteren soll die Finanzierungsarchitektur des Energiesystems rasch und umfassend reformiert werden. Erneuerbarer Strom soll wirtschaftlich für die Sektorenkopplung genutzt werden, anstatt die Anlagen wegen Netzengpässen abzuschalten.

Die staatlich induzierten Preisbestandteile im Energiesektor sollen grundlegend reformiert werden und dabei auf systematische, konsistente, transparente und möglichst verzerrungsfreie Wettbewerbsbedingungen abzielen, Sektorenkopplung ermöglichen und so ein Level-Playing-Field für alle Energieträger und Sektoren schaffen. Dabei spielt der CO₂-Preis eine zentrale Rolle.

Die Reform der Netzentgelte soll so vorangetrieben werden, dass die Transparenz gestärkt, die Transformation zur Klimaneutralität gefördert und die Kosten der Integration der Erneuerbaren Energien fair verteilt werden.



• Mobilität

Der Masterplan Schienenverkehr soll weiterentwickelt und zügiger umgesetzt werden. Der Schienengüterverkehr soll bis 2030 auf 25 Prozent gesteigert und die Verkehrsleistung im Personenverkehr verdoppelt werden.

Bis 2030 sollen 75 Prozent des Schienennetzes elektrifiziert und innovative Antriebstechnologien unterstützt werden.

Die Digitalisierung von Fahrzeugen und Strecken soll prioritär vorangetrieben, intermodale Verknüpfungen gestärkt sowie digitale Mobilitätsdienste, innovative Mobilitätslösungen und Carsharing unterstützt und in eine langfristige Strategie für autonomes und vernetztes Fahren öffentlicher Verkehre einbezogen werden.

Deutschland soll Leitmarkt für Elektromobilität mit mindestens 15 Millionen Elektro-Pkw im Jahr 2030 werden. Es soll aber kein früheres Aus für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor geben, sondern es bleibt bei den Plänen der EU-Kommission, dass ab 2035 im Verkehrsbereich in Europa nur noch CO₂-neutrale Fahrzeuge zugelassen werden.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur mit dem Ziel von einer Million öffentlich und diskriminierungsfrei zugänglichen Ladepunkten bis 2030 soll mit Schwerpunkt auf Schnellladeinfrastruktur ressortübergreifend beschleunigt, auf Effizienz überprüft und entbürokratisiert werden.

Bidirektionales Laden soll ermöglicht und für transparente Strompreise und einen öffentlich einsehbaren Belegungsstatus gesorgt werden. Der Masterplan Ladeinfrastruktur soll zügig überarbeitet werden.

Deutschland soll Vorreiter beim CO₂-neutralen Fliegen werden und ein klimaneutraler Flughafenbetrieb soll gefördert werden.

Quelle: Mehr Fortschritt wagen – Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP



© Tim Siegart-batcam / stock.adobe.com

S2 Industrie und Forschung

dena: Zwischenbericht „Energieinfrastrukturen im klimaneutralen Energiesystem“

Die dena hat am 08.11.2021 ihren Zwischenbericht zur Netzstudie III veröffentlicht. Darin schlägt sie einen Systementwicklungsplan als Basis für die Netzentwicklungspläne Strom und Gas vor. Er soll im Rahmen des geplanten Klimaschutz-Sofortprogramms der kommenden Bundesregierung im Energiewirtschaftsgesetz festgeschrieben werden.

Der Systementwicklungsplan soll den Netzentwicklungsplänen Strom und Gas vorangestellt werden und deren Basis darstellen. Gemeinsame Eckpunkte für die Planung der verschiedenen Infrastrukturen, die sich in einem Systementwicklungsplan ermitteln lassen, wären beispielsweise Elektrolyseur-Kapazitäten und Backup-Kraftwerke sowie ihre Standorte ebenso wie das zu erwartende Angebot und die Nachfrage nach den verschiedenen Energieträgern.

Im Stromnetz werde der Ausbaubedarf der Übertragungsnetze und der Verteilnetze weiterhin hoch sein, heißt es in dem Bericht. Diese Bedarfe würden sich aus dem weiteren EE-Ausbau sowie der fortschreitenden Elektrifizierung im Verkehr, bei der Wärmebereitstellung und in der Industrie ergeben.

Flexibilitätpotenziale auf allen Netzebenen müssten gehoben und die Digitalisierung der Netze vorangetrieben werden, um zusätzliche Netzausbaubedarfe zu reduzieren. Dafür müssten die nötigen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Außerdem sollten Anreize für eine netzorientierte Allokation von Elektrolyseuren und von Backup-Kraftwerken gesetzt werden.

Die Rolle der Gasnetze werde sich durch die perspektivische Abkehr von fossilem Erdgas stark wandeln, so die dena. Ein Teil des bestehenden Gasnetzes könnte zu einem Wasserstoff-Startnetz umgewidmet werden, das zunächst zur Versorgung der Industrie mit Wasserstoff benötigt wird und Industriezentren mit Erzeugungs- und Speicherzentren sowie Importrouten verbindet.

Die zukünftige Rolle klimaneutraler Gase, insbesondere für die Wärmebereitstellung sei „aktuell noch unklar“, so die dena. Aufgrund der langen Investitionszyklen im Gebäudebereich einerseits und der noch vorhandenen Unsicherheiten mit Blick auf den Hochlauf anderer Technologien und der damit verbundenen Erreichbarkeit der Klimaziele insgesamt, bedürften die hier anstehenden politischen Richtungsentscheidungen „noch genauerer Analyse und Zeit“.

Da langfristig auch Stilllegungen, insbesondere von Gasverteilnetzen nicht ausgeschlossen seien, müsse zeitnah über die damit verbundenen Konsequenzen nachgedacht und ein rechtlicher und organisatorischer Rahmen dafür geschaffen werden, fordert die dena.

Quelle: <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/zwischenbericht-dena-netzstudie-iii/>

S3 International



Weltklimakonferenz ist mit Abschlusserklärung zu Ende gegangen

Die 26. UN-Klimakonferenz (COP26) ist in Glasgow am 13.11.2021 mit einer gemeinsamen Abschlusserklärung zu Ende gegangen. Delegierte aus gut 200 Ländern diskutierten und verhandelten zwei Wochen im schottischen Glasgow, um einen gemeinsamen Weg für das Erreichen der Pariser Klimaschutzziele zu erarbeiten und so den fortschreitenden Klimawandel zu begrenzen. Sie sollte als der Gipfel in die Geschichte eingehen, der den weltweiten Ausstieg aus der Kohle und die Welt auf den 1,5-Grad-Kurs bringt.

Besonders schwierig gestalteten sich die Verhandlungen zur Kohleverstromung. Hier sah ein erster Entwurf noch einen generellen Ausstieg vor. Im Abschlussbericht ist auf Druck von

China und Indien nicht mehr von einem Ausstieg die Rede, sondern von einem schrittweisen Abbau.

Darüber hinaus sind in Glasgow mehrere Initiativen zum Klimaschutz gestartet oder ausgebaut worden. So haben überraschend die USA und China eine Vereinbarung geschlossen, nach der beide Seiten gemeinsam und jeder für sich den Umbau zu einer klimaneutralen Weltwirtschaft beschleunigen wollen. Dazu werde man noch in diesem Jahrzehnt ehrgeizigere Klimaschutzmaßnahmen ergreifen. Eingesetzt werden soll dazu auch eine gemeinsame Arbeitsgruppe.

Zudem haben mehr als zwei Dutzend Staaten, sechs große Auto-Hersteller sowie einige Städte und Investoren eine Einigung getroffen, in der sie sich auf ein Enddatum für den Verkauf von Autos mit Verbrennungsmotor festlegen. Die Autokonzerne sollen demnach anstreben, spätestens 2035 in führenden Märkten nur noch emissionsfreie Autos und Vans zu verkaufen. Zu den beteiligten Unternehmen gehören Mercedes, Ford und General Motors.

Quelle: <https://www.tagesschau.de/ausland/europa/abschlusserklaerung-klimagipfel-analyse-101.html>



Dr.-Ing. Thomas Benz
Geschäftsführer ETG

G1 Wie gelangt die elektrische Energie zum Verbraucher? Fließt die Energie wirklich durch die Anschlussdrähte? (Teil II)

Zusammenfassung

Der Aufsatz erläutert in zwei Teilen anschaulich, wie der Transport der elektrischen Energie vom Erzeuger zum Verbraucher im Detail erfolgt. Die Rechnung mit Hilfe grundlegender Beziehungen aus den Grundlagen der Elektrotechnik und dem Poynting-Vektor ermöglicht es, den physikalisch realen Transport der Energie räumlich quantitativ nachzuvollziehen und zu verstehen. An vereinfachten Beispielen wird in diesem Teil II gezeigt, wie die Energie in einen Kondensator, in eine Spule und schließlich in einen bewegten Leiter im magnetischen Feld gelangt, letzteres als einfachste Form eines Gleichstrommotors. Es wird dargestellt, dass die Energie keinesfalls in den Zuleitungen transportiert wird, sondern durch den umgebenden Raum.

Aufladung eines Plattenkondensators

Nach der Aufladung eines Plattenkondensators mit der Kapazität C auf die Spannung U enthält das elektrische Feld des Kondensators bekanntlich die Energie

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2.$$

Wie gelangt aber die Energie in den zylinderförmigen Raum zwischen den hier als widerstandslos angenommenen Platten eines beispielsweise kreisrunden Plattenkondensators gemäß Bild 4? Entsprechend den bisherigen Überlegungen kann die Energie auch hier nicht durch die Platten fließen, da bei idealer Leitfähigkeit dieser Platten dort die elektrische Feldstärke verschwindet und mit ihr der Poynting-Vektor. Es bleibt wieder nur der Fluss der Energie durch die Mantelfläche. Dieser Fluss der Energie lässt sich in seinem zeitlichen Ablauf gut verfolgen.

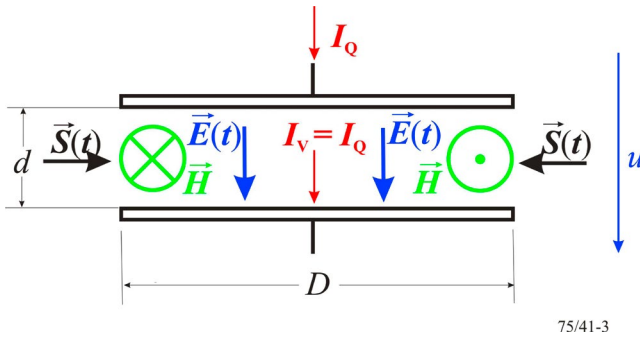


Bild 4: Aufladung eines runden Plattenkondensators mit einem konstanten Strom I_Q . Schematisch eingetragen sind die Vektoren $\vec{E}$, $\vec{H}$ und $\vec{S}$ auf der Mantelfläche des zylindrischen Dielektrikums (75/41_3)

Die kreisförmigen Platten mit dem Durchmesser D mögen gemäß Bild 4 den Abstand d voneinander haben. Der Durchmesser D sei groß gegenüber dem Abstand d . Es wird daher – analog zum Widerstand – vereinfachend angenommen, dass das elektrische Feld außerhalb des Kondensators gegenüber jenem im Inneren vernachlässigt werden kann.

Der anfangs ungeladene Kondensator werde im Beispiel aus einer idealen Konstantstromquelle mit dem zeitlich konstanten Quellenstrom I_Q aufgeladen. I_Q fließt als sogenannter Verschiebungsstrom I_V durch das Dielektrikum weiter, also $I_V = I_Q$. Um zur magnetischen Feldstärke H auf der Mantelfläche zu gelangen, formuliert man das Durchflutungsgesetz für eine gedachte kreisförmige Randkurve um das Dielektrikum mit dem Durchmesser D und erhält für H auf der Randkurve:

$$H \pi D = I_Q \quad \text{beziehungsweise} \quad H = \frac{I_Q}{\pi D}$$

Die Spannung $u(t)$ am Kondensator steigt wegen des konstanten Stroms I_Q proportional zur Zeit t an. Es gilt also

$$I_Q = C \frac{du(t)}{dt} \quad \text{und somit} \quad u(t) = \frac{I_Q}{C} t.$$

Für die elektrische Feldstärke E am und im Kondensator gilt damit

$$E(t) = \frac{u(t)}{d}.$$

Wie die elektrische Feldstärke ist dann natürlich auch der Betrag des Poynting-Vektors S auf der Mantelfläche von der Zeit t abhängig. Es gilt:

$$S(t) = E(t) H = \frac{u(t)}{d} \frac{I_Q}{\pi D}$$

Multipliziert man $S(t)$ mit der Mantelfläche $\pi D d$, so erhält man die Leistung $P(t)$ auf der Mantelfläche zu:

$$P(t) = u(t) I_Q = \frac{I_Q^2 t}{C}$$

Nach Ablauf der Zeit $t = T$ möge die Spannung $u(t)$ am Kondensator gerade den Wert U erreicht haben. Es gelten dann die Beziehungen

$$U = \frac{I_Q}{C} T \quad \text{beziehungsweise} \quad T = \frac{UC}{I_Q}.$$

Nun werde die Energie W_C berechnet, die dem Kondensator während des Zeitraumes T zugeführt wurde. Dazu bildet man das Integral über $P(t)$ während des gesamten Ladevorganges von $t = 0$ bis $t = T$. Man erhält:

$$W_C = \int_0^T P(t) dt = \int_0^T \frac{I_Q^2 t}{C} dt = \frac{I_Q^2}{C} \frac{1}{2} T^2 = \frac{1}{2} C U^2$$

Das stimmt natürlich mit dem am Anfang dieses Abschnitts angegebenen Wert W_C überein.

Die Rechnung mit Hilfe des Poynting-Vektors ermöglicht es, den physikalisch realen Energietransport in das elektrische Feld des Kondensators quantitativ nachzuvollziehen und damit zu verstehen. Analog zum Widerstand existiert der Poynting-Vektor auch im Inneren des betrachteten Kondensators.

Einschalten einer Spule

Beim Einschalten einer Spule mit der Selbstinduktivität L an eine ideale Spannungsquelle mit der konstanten Quellenspannung U_Q steigt die in ihrem magnetischen Feld gespeicherte Energie mit der Stromstärke $i(t)$ an. Erreicht die Stromstärke $i(t)$ schließlich irgendwann den Wert I , so beträgt die gespeicherte Energie bekanntlich

$$W_L = \frac{1}{2} L I^2.$$

Auch hier sei wieder die Frage gestellt: Wie gelangt die Energie in den vom magnetischen Feld erfüllten Raum innerhalb der Spule?

Betrachtet sei hierzu die in Bild 5 dargestellte sehr lange zylindrische Luft-Spule, die an eine ideale Spannungsquelle mit der Quellenspannung U_Q angeschlossen wird. Die Wicklung der Spule besteht aus sehr dünnem Draht, hat die Windungszahl N und besitzt keinen ohmschen Widerstand. Die Länge l der Spule ist sehr groß gegenüber ihrem Durchmesser D . Unter dieser Voraussetzung ist die magnetische Feldstärke

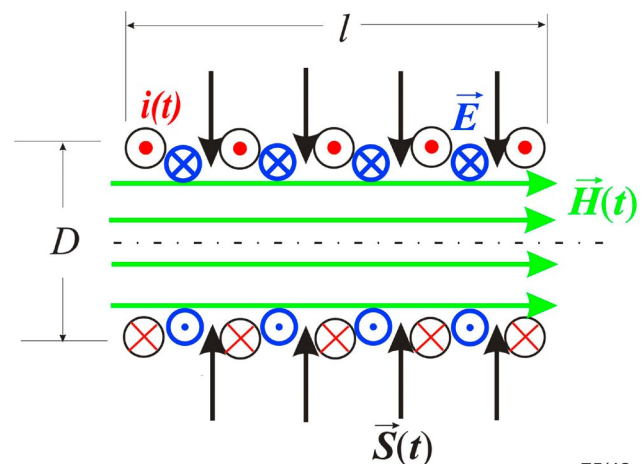


Bild 5: Lange Zylinderspule bei zunehmender Stromstärke $i(t)$. Dargestellt sind das homogene magnetische Feld mit der Feldstärke $\vec{H}$ im Inneren der Spule, das elektrische Feld mit der Feldstärke $\vec{E}$ auf der Mantelfläche und der Poynting-Vektor $\vec{S}$ auf der Mantelfläche (75/42_2).

ke außerhalb der Spule sehr klein und wird deshalb – wieder analog zum Widerstand und zum Kondensator – hier vernachlässigt.

Unter den genannten Bedingungen erhält man im Inneren der Spule mit Hilfe des Durchflutungssatzes ein homogenes magnetisches Feld mit der magnetischen Feldstärke $H(t)$. Es ist

$$H(t) = \frac{N i(t)}{l}.$$

Ferner gilt das Induktionsgesetz für die Spannung $u(t)$ an der Spule:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

Bei Anschluss der Spule an die ideale Spannungsquelle mit der konstanten Quellenspannung U_Q folgt daraus

$$U_Q = L \frac{di(t)}{dt} \quad \text{und somit} \quad i(t) = \frac{U_Q}{L} t.$$

Für die magnetische Feldstärke $H(t)$ gilt so schließlich

$$H(t) = \frac{N}{l} \frac{U_Q}{L} t.$$

An je einer Windung der Spule liegt die Spannung U_Q/N . Bei einer Windungslänge von πD ergibt sich daraus der Betrag E der induzierten elektrischen Feldstärke längs der Wicklung und damit in der Mantelfläche des von der Wicklung gebildeten Zylinders mit dem Durchmesser D zu

$$E = \frac{U_Q}{N \pi D}.$$

Die elektrische Feldstärke E ist zeitlich konstant, weil die angelegte Spannung U_Q zeitlich konstant ist. Die Richtung des Vektors der elektrischen Feldstärke $\vec{E}$ kann man beispielsweise aus der Lenzschen Regel [4] herleiten: Könnte nämlich die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ einen Strom treiben, so müsste dieser Strom gemäß der Lenzschen Regel versuchen, den Anstieg des magnetischen Flusses zu verhindern. Daraus ergibt sich die in *Bild 5* eingetragene Richtung der Feldstärke $\vec{E}$. Es existieren also ein elektrisches Feld und ein magnetisches Feld. Die Vektoren $\vec{E}$ und $\vec{H}$ stehen wieder senkrecht aufeinander. Das Vektorprodukt aus $\vec{E}$ und $\vec{H}$ ist der Poynting-Vektor $\vec{S}$ auf der Mantelfläche. Er weist in die Mantelfläche hinein. Es fließt also Energie in den vom magnetischen Feld erfüllten Raum innerhalb der Spule. Der von der Zeit abhängige Betrag $S(t)$ der Leistungsdichte auf der Mantelfläche ergibt sich, indem man den Betrag der elektrischen Feldstärke E mit dem Betrag der magnetischen Feldstärke $H(t)$ multipliziert:

$$S(t) = E H(t) = \frac{U_Q}{N \pi D} \frac{N}{l} \frac{U_Q}{L} t = \frac{U_Q^2}{\pi D l L} t$$

Die Leistung $P(t)$ erhält man, indem man $S(t)$ mit der Mantelfläche multipliziert:

$$P(t) = S(t) \pi D l = \frac{U_Q^2}{L} t$$

Nach Ablauf der Zeit $t = T$ möge die Stromstärke in der Spule den Wert I erreicht haben. Es gelten dann die Beziehungen

$$I = \frac{U_Q}{L} T \quad \text{beziehungsweise} \quad T = \frac{I L}{U_Q}.$$

Bildet man auch hier wieder das Integral über $P(t)$ während des gesamten Einschaltvorganges von $t = 0$ bis $t = T$, so erhält man die Energie W_L , die der Spule während des Einschaltvorganges zugeführt worden ist:

$$W_L = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_Q^2}{L} \frac{T^2}{2} = \frac{1}{2} L I^2$$

Diese Energie ist im magnetischen Feld der Spule gespeichert und stimmt mit dem am Anfang dieses Abschnitts angegebenen Wert W_L überein. Auch hier ermöglicht es die Rechnung mit dem Poynting-Vektor, den physikalisch realen Energietransport in das magnetische Feld der Spule quantitativ nachzuvollziehen und damit zu verstehen. Analog zum Widerstand und zum Kondensator existiert der Poynting-Vektor auch im Inneren der betrachteten Spule.

Übertragung der Energie auf einen bewegten Leiter im magnetischen Feld

Lehrbücher verwenden einen bewegten Leiter im magnetischen Feld häufig als einfaches Modell für einen Gleichstrommotor. Dieses Modell wird auch in diesem Aufsatz verwendet.

Betrachtet sei ein runder Leiter mit dem Durchmesser D , der sich im stationären Betrieb gemäß *Bild 6* im Raum zwischen zwei Gleitschienen mit dem Abstand l bewegt. In diesem Raum existiere ein extern erzeugtes, homogenes magnetisches Feld mit der Feldstärke H_f und der Flussdichte B_f . Der Leiter mit dem Widerstand R_L sei über die beiden widerstandslosen Gleitschienen mit einer idealen Spannungsquelle mit der konstanten Quellenspannung U_Q verbunden, so dass überall zwischen den Gleitschienen die Spannung U_Q liegt.

Im stationären Betrieb bewegt sich der Leiter mit konstanter Geschwindigkeit v und führt letztlich den konstanten Strom I . Auf ihn wirkt dabei die konstante Kraft F . Der Zusammenhang zwischen I , l und B_f ist durch die Lorentzkraft mit dem Betrag $F = I l B_f$ gegeben. Der Leiter gibt die konstante mechanische Leistung $P_{\text{mech}} = F v$ ab.

Bei den folgenden Betrachtungen werden wieder ideale Verhältnisse vorausgesetzt; Randeffekte werden also vernachlässigt.

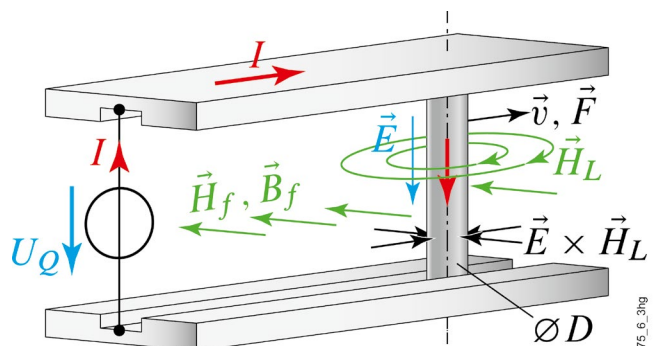


Bild 6: Bewegter Leiter im magnetischen Feld. Dargestellt sind die Feldstärken an der Oberfläche des Leiters, der sich mit konstanter Geschwindigkeit v im Feld bewegt und auf den die Kraft F einwirkt. Nicht dargestellt ist $\vec{E} \times \vec{H}_f$, weil diese Komponente des Poynting-Vektors insgesamt keine Leistung in den Leiter überträgt. (75_6_3hg)

Infolge des Stromes I umgibt sich der Leiter gemäß Durchflutungsgesetz mit einem zusätzlichen magnetischen Feld mit der Feldstärke $\vec{H}_L$. Die Feldlinien dieses Feldes sind konzentrische Kreise um den Leiter. An der Oberfläche des Leiters gilt für den Betrag H_L der magnetischen Feldstärke

$$H_L = \frac{I}{\pi D}.$$

Im Folgenden wird die elektrische Feldstärke E zwischen den Gleitschienen und damit auch auf der Oberfläche des Leiters betrachtet. Diese Feldstärke E hat die Richtung des Stromes I und beträgt wegen der konstanten Spannung U_Q zwischen den Gleitschienen

$$E = \frac{U_Q}{l}.$$

Infolge der Bewegung des Leiters mit der Geschwindigkeit v wird im Leiter ein zusätzliches elektrisches Feld mit der Feldstärke E_i induziert. Hierfür gilt

$$E_i = v B_f.$$

Gemäß der Lenzschen Regel [4] wirkt die induzierte Feldstärke E_i ihrer Ursache entgegen, also der Feldstärke E und damit auch dem Strom I . Die Differenz beider genannten Feldstärken, also $(E - v B_f)$, lässt sich gemäß dem Ohm'schen Gesetz mit dem Spannungsfall $I R_L$ darstellen.

Es gilt

$$E - v B_f = \frac{I R_L}{l} \quad \text{beziehungsweise} \quad E = v B_f + \frac{I R_L}{l}.$$

An der Oberfläche des Leiters treten also sowohl eine elektrische Feldstärke als auch eine magnetische Feldstärke auf, wobei die magnetische Feldstärke aus den oben definierten Komponenten H_f und H_L besteht. Das Kreuzprodukt dieser vektoriellen Größen ist der Poynting-Vektor $\vec{S}$:

$$\vec{S} = \vec{E} \times (\vec{H}_f + \vec{H}_L)$$

Der Poynting-Vektor hat also im vorliegenden Fall zwei Komponenten. Die erste Komponente $\vec{E} \times \vec{H}_f$ weist zu gleichen Teilen in den Leiter hinein und aus ihm heraus. Bei vorzeichenrichtiger Integration über die gesamte Oberfläche des Leiters verschwindet daher diese Komponente. Mit anderen Worten: Die vom Leiter aufgenommene Leistung ist ebenso groß wie die abgegebene. Der Leiter nimmt also aus der ersten Komponente keine resultierende Leistung auf.

Die zweite Komponente $\vec{E} \times \vec{H}_L$ weist an der gesamten Oberfläche des Leiters in den Leiter hinein. Der Leiter nimmt also die Leistung P auf, die sich durch Multiplikation aus dem Betrag des Poynting-Vektors und der Oberfläche $\pi D l$ des Leiters errechnet:

$$P = E H_L \pi D l = \left(v B_f + \frac{I R_L}{l} \right) \frac{I}{\pi D} \pi D l$$

Das kann man umschreiben zu:

$$P = v B_f I l + I^2 R_L = v F + I^2 R_L$$

Wie bereits am Beginn dieses Abschnittes ausgeführt, ist der Ausdruck $v F$ in dem hier betrachteten stationären Zustand

die mechanische Leistung P_{mech} . Der Ausdruck $I^2 R_L$ ist die Verlustleistung P_V infolge Stromwärme im Widerstand R_L des Leiters.

Der Leiter nimmt also die Summe aus der mechanischen Leistung P_{mech} und der Verlustleistung P_V auf:

$$P = P_{\text{mech}} + P_V$$

Sowohl die mechanische Leistung als auch die Verlustleistung werden dem elektrischen und magnetischen Feld außerhalb des Leiters entnommen und dem Leiter zugeführt.

Und damit wurde gezeigt, dass die Energie über die Felder von der Quelle zu den Verbrauchern fließt, und zwar auch zu den elektromechanischen Verbrauchern. Dieser Energiefluss wird vom Poyntingvektor beschrieben.

Schrifttum

(siehe Teil I dieses Aufsatzes in ETG *journal* 02/2021, Seiten 72 bis 74)



Prof. Dr.-Ing. Fred Wiznerowicz
Hochschule Hannover



Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Grabinski
Leibniz Universität Hannover



Prof. Dr.-Ing. Erhart Kunze
Hochschule Hannover

H1 Die erste elektrische Drehstrom-Fernübertragung

Im vergangenen Jahr jährte sich zum 130. Mal die Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt a. M., deren Höhepunkt eine elektrische Fernleitung war.

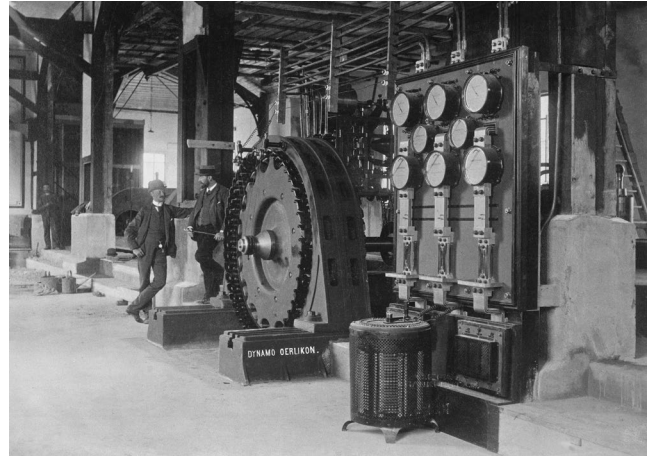
Die Ausstellung

Nachdem in den 1880er Jahren in größeren Städten kleine Versorgungsbereiche mit Gleichstrom entstanden waren und 1884 auf der Elektrizitätsausstellung in Turin der Wechselstrom erstmals sein Potential zur effizienten Übertragung von Elektroenergie über weite Entfernungen demonstriert hatte, kam es in den Fachkreisen der jungen Elektrotechnik zu einer heftigen Kontroverse um Vor- und Nachteile des Gleich- bzw. Wechselstroms. Diese erreichte in Deutschland einen Höhepunkt, als Frankfurt a. M. 1887 einen Wettbewerb für ein neues Elektrizitätswerk ausschrieb. Nachdem die verschiedenen Unternehmen ihre Offerten abgegeben hatten, kam im Stadtparlament keine Einigung zustande, denn für jeden Vorschlag – Gleich- und Wechselstrom sowie gemischte Systeme – fanden sich honorige Experten, die gewichtige Argumente dafür und dagegen vorbrachten. In dieser Situation regte der Politiker und Herausgeber der Frankfurter Zeitung Leopold Sonnemann (1831–1909) eine elektrotechnische Ausstellung an. Öffentlichkeitswirksam sollten hier alle relevanten Unternehmen ihre Produkte vorstellen, die durch Expertenkommissionen nach einheitlichen Kriterien bewertet wurden. Begleitet wurde dieses Forum zur öffentlichen Politikberatung durch einen internationalen Kongress vom 7. bis 15. September 1891.

Die Ausstellung, die man heute wohl als Messe bezeichnen würde, fand vom 15. Mai bis zum 15. Oktober 1891 statt und hatte das Ziel, die Produkte der jungen Elektroindustrie in 12 Gruppen – von elektrischen Maschinen und Akkumulatoren über Telegrafen, Telefone und Signalgeräte bis zu Meßgeräten und elektromedizinischen Apparaten – für Experten und Laien gleichermaßen zu präsentieren und wichtige Fragen zu klären [1].

Die Drehstrom-Fernübertragung

Für Oskar von Miller (1855–1934), dem technischen Leiter der Ausstellung stand fest, „daß es die Hauptaufgabe dieser Ausstellung sei, das Problem der elektrischen Kraftübertragung und Kraftverteilung auf weite Entfernung einer Klärung zuzuführen“ [2]. Damit griff er eine Idee auf, die er bereits 1882 gemeinsam mit dem französischen Elektrotechniker Marcel Deprez (1843–1918) auf der Münchner Ausstellung verfolgt hatte, bei der eine Gleichstrom-Fernübertragung mit 1500 bis 2000 V Elektroenergie über 57 km von Miesbach nach München getestet worden war. Diese Fernleitung zeigte zwar die prinzipielle Realisierbarkeit der Energieübertragung, erreichte aber mit einem Wirkungsgrad von 22 % nicht die Schwelle eines wirtschaftlichen Betriebs. Neun Jahre nach diesem frühen Experiment ergab sich nun eine weitere Gelegenheit.



Drehstromgenerator und Schalttafel der Drehstromübertragung im Wasserkraftwerk in Lauffen, Foto: Deutsches Museum



Der Wasserfall auf dem Ausstellungsgelände in Frankfurt wurde mit Elektroenergie aus der Fernleitung Lauffen – Frankfurt betrieben, Foto: Deutsches Museum

Die Idee einer Fernübertragung wurde von der AEG und der Maschinenfabrik Oerlikon in Zürich unterstützt. Deren Direktor Charles E. L. Brown (1863–1924) gründete mit Walter Boveri (1865–1924) noch während der Ausstellung im Oktober 1891 die bekannte Firma Brown, Boveri & Cie. Der AEG-Chefingenieur Michael von Dolivo-Dobrowolsky (1862–1919) hatte kurz zuvor die Idee entwickelt, drei um 120° phasenverschobene Wechselströme gleicher Frequenz zu verketteten. Die Maschinenfabrik Oerlikon lieferten die Drehstromgeneratoren und zwei der Transformatoren, während die AEG weitere Transformatoren konstruierte, die während des Betriebs abwechselnd mit jenen von Oerlikon getestet wurden. Außerdem stellte die AEG einen Drehstrommotor zum Betrieb eines künstlichen Wasserfalls zur Verfügung.

Die Trasse verlief entlang der Eisenbahnstrecke Heidelberg – Hanau über insgesamt 175 km von Lauffen am Neckar zum Ausstellungsgelände in Frankfurt am Main. Den Bau der Leitung hatten die Reichspostverwaltung sowie die württembergische Telegrafendirektion übernommen. Grund für die Auswahl Lauffens war, dass Millers Ingenieurbüro kurz zuvor den Auftrag erhalten hatte, die Stadt Heilbronn elektrisch mit der überschüssigen Leistung des 10 km entfernten Wasserkraftwerks des Württembergischen Portland-Zementwerks zu versorgen. Als Miller dessen Vorstand überzeugen konnte, dazu die innovative Drehstromtechnik einzusetzen und die Generatoranlage bereits vor der geplanten Inbetriebnahme der Versorgungsleitung im Frühjahr 1892 fertigzustellen, waren wichtige technische Voraussetzungen geschaffen, um die Frankfurter Ausstellung über eine temporäre Fernleitung mit Strom zu versorgen. Die Kupferdrähte von 4 mm Durchmesser wurden an den Telegrafmasten verlegt. Die Spannung sollte 15 kV betragen – diese wurde später versuchsweise auf 25 kV erhöht. Wegen der hohen Spannung äußerten sich manche Experten sehr kritisch. Auch die Behörden der durchquerten Länder Preußen, Bayern, Hessen, Baden und Württemberg schalteten sich ein, da man eine Gefahr für Menschen sowie Störungen auf den parallel verlaufenden Telegrafleitungen befürchtete. An einer Testleitung konnte die Unbedenklichkeit gezeigt werden. Verließ die Bahnstrecke durch Tunnel, mussten Genehmigungen eingeholt werden, um die Leitung über Berge zu führen, in der Nähe von Ortschaften und bei der Kreuzung von Straßen wiederum waren besondere Sicherheitsvorkehrungen gefordert. Im Ergebnis konnte man erst Mitte Juli 1891 – also etwa zur Mitte des Ausstellungszeitraums – mit den Bauarbeiten beginnen, die allerdings bereits nach sechs Wochen abgeschlossen waren. Als die badischen Behörden, die die größten Vorbehalte hatten, die Genehmigung verweigerten, organisierten v. Miller und v. Dolivo-Dobrowolsky am 24. August 1891 am Bahnhof des kleinen Städtchens Eberbach an der badischen Grenze eine Aktion, um öffentlichkeitswirksam den Zusammenschluss der Leitung noch am selben Tage zu fordern. Am Abend gegen 20 Uhr war schließlich die durchgehende Verbindung von Lauffen nach Frankfurt geschaltet.

Drehstrom wird sichtbar

Auf dem Ausstellungsgelände versorgte die Leitung u. a. neben einem künstlichen Wasserfall auch ein Werbetableau mit 1000 Glühlampen – damals Kohlefadenlampen. Der Wirkungsgrad der Übertragung von 75 % zeigte, dass Elektroenergie tatsächlich wirtschaftlich über große Entfernungen übertragen werden konnte. Die Möglichkeit der Errichtung von Elektrizitätswerken direkt an Orten mit Primärenergiequellen, wie Kohlegruben und Wasserläufe, und damit außerhalb besiedelter Gebiete, war nun für jedermann offensichtlich. Die populäre Familienzeitschrift *Die Gartenlaube* verwies zudem auf die große symbolische Bedeutung: „Die erste Anwendung des übergeleiteten Stromes bestand darin, daß man Hunderte von Lampen der Ausstellung an die Kraftleitung anschloß. Und siehe da, sie strahlten im hellsten Glanze, ein leuchtendes Sinnbild des Fortschritts, den der menschliche Geist damit zum Licht der Erkenntniß hin gemacht hat. [...] Eine der hübschesten Zierde der Frankfurter Ausstellung bildet der Was-

serfall. Von einer künstlich angelegten, thurmgekrönten Anhöhe stürzt ein malerischer Wasserfall herunter, der allabendlich spielt und, vom Innern her elektrisch beleuchtet, in glänzender Farbenpracht seine Fluthen herniederschickt. [...] Der Wasserfall des Neckars, der auf die Lauffener Turbine geleitet wird, hebt auf eine Entfernung von mehreren Tagesreisen, in einem Augenblick den weiten Raum überwindend das Mainwasser in die Höhe und zwingt dasselbe, den Lauffener Wasserfall in Frankfurt gleichsam zu wiederholen und aufs Neue hervorzubringen“ [3]. Entgegen anfänglich pessimistischer Prognosen avancierte die Kraftübertragung nun auch in der Fachpresse zum Erfolg. Im Rückblick stellte v. Dolivo-Dobrowolsky den Systemcharakter heraus: „Die Erfindung des Drehstromes ist nicht die eines Gegenstandes, es handelt sich hier nicht nur um mehrere Arten von Motoren, sondern auch um Konstruktions- und Berechnungsprinzipien; es handelt sich ferner um Schaltungsarten, um Transformatoren und Primärmaschinenanordnungen, also um elektrische 'Systeme'“ [4].

Im Rückblick wird die Ausstellung oft als ein Meilenstein bezeichnet, bei dem der Drehstrom seine überragenden Eigenschaften gezeigt und den Siegeszug begonnen hätte. Diese Sicht ist etwas verkürzt, denn gesellschaftliche Prozesse, wozu auch die Durchsetzung neuer Technologien zählt, gestalten sich eher langfristig und widersprüchlich. So entschied sich der Magistrat von Frankfurt am Main nach der von ihm initiierten Ausstellung für ein einphasiges Wechselstromsystem. Bereits 1891 war in Kassel ein kombiniertes Gleichstrom-Wechselstrom-Kraftwerk in Betrieb gegangen und 1895 wurde in Dresden das Wechselstrom-„Lichtwerk“ fertiggestellt – um nur drei Beispiele zu nennen. Anders in Heilbronn: Da nach Ausstellungsende die Elektroenergie wie geplant vom Kraftwerk in die Stadt geführt wurde, avancierte Heilbronn zur weltweit ersten Kommune, die mit Drehstrom versorgt wurde.

- [1] Elektrizität, Offizielle Zeitung der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt am Main 1891
- [2] Miller, O. v.: Die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung auf weite Entfernung, in: ETZ 52 (1931), S. 1241 – 1245, hier S. 1242
- [3] Hollenberg, A.: Die elektrische Kraftübertragung. In: Die Gartenlaube 1891, H. 40, S. 682 – 683
- [4] v. Dolivo-Dobrowolsky, Michael: Aus der Geschichte des Drehstromes. In: ETZ 38 (1917), S. 341 – 344, 354 – 357, 366 – 369, 376 – 377, hier S. 343



Dr. Frank Dittmann
Deutsches Museum, München

25 Jahre Elektrische Wiedervereinigung Deutschlands

H2 Die Entwicklung des Verbundbetriebes in Deutschland und in Europa

Der folgende Beitrag setzt die Reihe der Vorträge, gehalten auf der Tagung des Ausschusses Geschichte der Elektrotechnik „25 Jahre Elektrische Wiedervereinigung Deutschlands“ am 17. Dezember 2020, fort.

So begann es vor vielen, vielen Jahren....

Oskar von Miller (1855–1935) kann man als einen der Erfinder der Lastverteilung bezeichnen. Er war ein Vertreter einer flächendeckenden Stromversorgung zu rentablen und verbraucherfreundlichen Preisen. Miller beschäftigte sich insbesondere mit Fragen der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektroenergie. Die Gründung der Lastverteilung in Karlsfeld ging insbesondere auf seine Initiative zurück. Der Begriff „Lastverteilung“ ist darauf zurückzuführen, dass man die elektrischen *Lasten* der Verbraucher auf die vorhandenen elektrischen Erzeuger (Kraftwerke) über ein Übertragungs-Verteilungsnetz *verteilte*.

Den dem Bayernwerk zugrunde liegenden Gedanken eines Energieverbundes auf Länderebene entwickelte v. Miller 1930 in einem von der Reichsregierung in Auftrag gegebenen Gutachten zu einer einheitlichen Elektrizitätsversorgung des Deutschen Reiches weiter.

Die leitungsgebundene Stromversorgung und damit die Aufgaben der Lastverteilung haben sich seit dieser Zeit territorial, national und international in großen Schritten weiterentwickelt. Aufgabe der Lastverteilung wurde es auch, die Netze zu überwachen und zu steuern.

Die Entwicklung wurde u.a. geprägt durch:

- die 1892 erfolgte Gründung der Elektrowerke A.G. (später BEWAG)
- die 1912 erfolgte Inbetriebnahme der ersten europäischen 110-kV Leitung von Lauchhammer nach Riesa (Sachsen), Länge rd. 50 km
- die 1928 erfolgte Gründung der *Aktiengesellschaft für deutsche Elektrizitätswirtschaft* durch die EWAG,

PreussenElektra und das Bayernwerk (München) mit Sitz Berlin. Sie wird als Vorläufer der bis 2001 bestehenden *Deutschen Verbundgesellschaft* betrachtet

- die 1923 erfolgte Inbetriebnahme der ersten in Deutschland mit 220 kV betriebene Freileitung von Ronsdorf nach Letmathe (Verbindung der mitteldeutschen und nieder-rheinischen Braunkohle)
- die am 12.10.1929 erfolgte Inbetriebnahme der Hauptschaltleitung der RWE in Brauweiler, dem späteren „Regelblockführer“ der 8 westdeutschen Übertragungsnetzbetreiber
- der 1957 erfolgten Inbetriebnahme der ersten deutschen 380-kV-Leitung Brauweiler – Koblenz – Kelsterbach – Rheinau – Hohenock
- die Entstehung des ost- und mitteldeutschen 110-kV-Netzes (*Bild 1*) mit ihrem Hauptschaltwerk in Berlin-Friedrichsfelde (*Bild 2,3 und 4*)
- die 1951 erfolgte Gründungsversammlung der UCPTÉ am 23. Mai in Frankreich durch *Einzelpersonlichkeiten* aus: Belgien, BRD, Frankreich, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich und Schweiz
- der 1958 erfolgte Verbund der Netze BRD, A, L und B mit den Netzen Frankreichs, Teilen der Schweiz und Teilen Norditaliens über den „Stern von Laufenburg“ (Schweiz) und Aufnahme der „Netzkennlinienregelung“
- von 1961 bis 1964 Anschluss der Netze Spaniens, Portugals, Jugoslawiens und Griechenlands an das UCPTÉ-Netz
- die am 25. Juli 1962 erfolgte Gründung der „Zentralen Dispatcherverwaltung (ZDV) der Vereinigten Energiesysteme (VES)“ im Rahmen eines Regierungsabkommens zwischen der Volksrepublik Bulgarien, der Ungarischen Volksrepublik, der Deutschen Demokratischen Republik, der Volksrepublik Polen, der Rumänischen Volksrepublik, der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken und der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik (*Bild 5*).

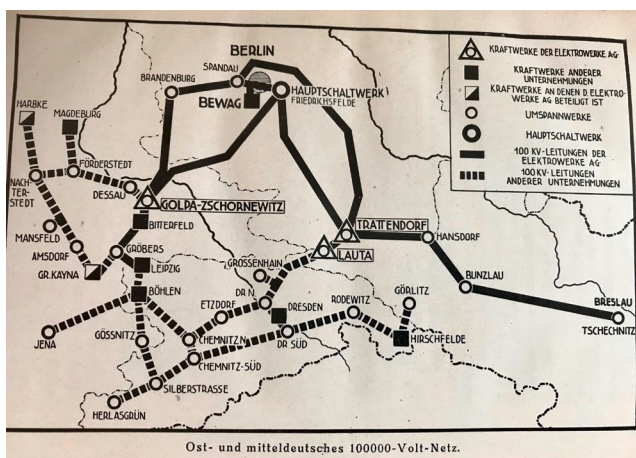


Bild 1: Ost- und mitteldeutsches 110 kV- Netz im Jahr 1928

In Europa bildeten sich aufgrund der sich nach dem 2. Weltkrieg entwickelnden politischen Situation in den 1950-iger Jahren ein westeuropäisches (UCPTÉ) und ein osteuropäisches (VES) Verbundnetz heraus.

Gekennzeichnet war das u.a. durch folgende Ereignisse:

- die 1952 erfolgte Trennung der Stromnetze DDR/Ostberlin – Westberlin
- die 1954 erfolgte Trennung der Stromnetze DDR – BRD (u.a. Trennung der 220 kV- Leitungen Magdeburg – Helmstedt und Remptendorf – Ludersheim der sogenannten „Reichssammelschiene“)

Bild 6 zeigt das gesamtdeutsche Netz im Jahr 1948, während *Bild 7* die getrennten deutschen Netze im Jahr 1988 zeigt.

Mit der Trennung der Stromnetze DDR – BRD begann auch die eigenständige Entwicklung des west- und ost-europäischen Netzes.



Bild 2: Band 1 der Reihe „Musterbetriebe deutscher Wirtschaft“ (1928; 1. Ausgabe) Autor: Dr.-Ing. R. Hamburger



Bild 3: Schaltstation Friedrichsfelde im Jahr 1928, Rohrdammweg (später Dispatcherorganisation für die Elektroenergieversorgung → DO-Elt)



Bild 4: Warte der DO-Elt ca. 1964/65; Berlin-Friedrichsfelde; Rohrdammweg (Leiter der DO-Elt, Herr Wendt; Kraftwerksingenieur Herr Miethke; Netzingenieur Herr Rödiger)

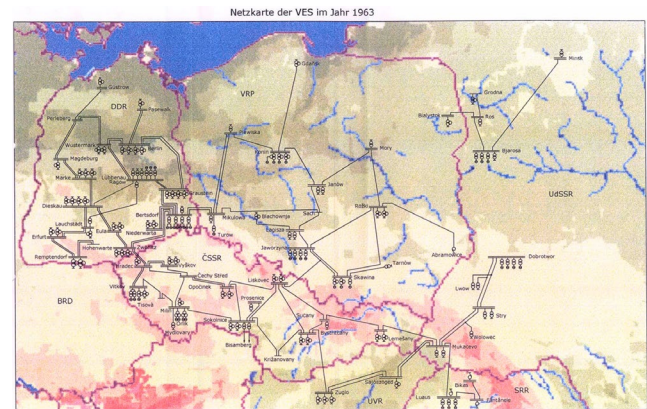


Bild 5: Netzkarte der VES aus dem Jahr 1963

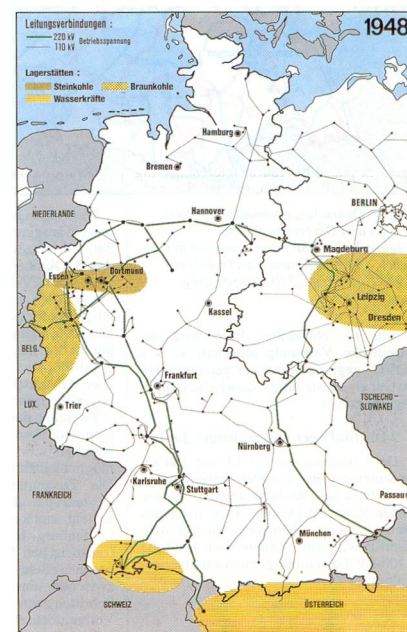


Bild 6: Gesamtdeutsches Netz im Jahr 1948

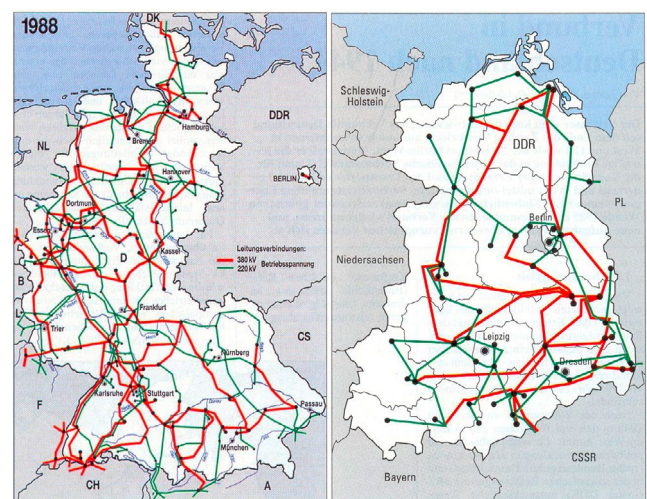


Bild 7: Verbundnetze der BRD und der DDR im Jahr 1988

So war z.B. die Frequenz-/Leistungsregelung dadurch gekennzeichnet, dass im UCPT-Netz sich alle Verbundpartner daran beteiligten, während in den VES das EES der Sowjetunion für die Frequenzfahrweise verantwortlich war, während die übrigen Verbundpartner nur ihr Randintegral ausregelten. Im Weiteren wurden zum Schutz des EES der UdSSR der sogenannte Lwower Schnitt und der Moldauer Schnitt eingeführt. Diese bewirkten, dass bei Erreichen einer bestimmten Leistung auf den Leitungen des Lwower Schnittes (Übertragungskapazität der Kuppelleitungen UdSSR zu Polen, Tschechoslowakei und der 220-kV-Leitungen Ungarn – Rumänien) bzw. Moldauer Schnittes (UdSSR zu Bulgarien, Rumänien und der 220-kV-Kuppelleitungen Ungarn – Rumänien) es zur Trennung des EES der UdSSR zu den entsprechenden Verbundpartnern kam. Das war grundsätzlich mit einem starken Frequenzeinbruch in den betroffenen Ländern verbunden, da damit die teilweisen hohen Importe aus der UdSSR ausfielen.

Die Einstellung z.B. der Trennautomatik des Lwower Schnittes war abhängig von der Verfügbarkeit der KKW und des KW Burstyn sowie vom Schaltzustand im EES der UdSSR. Im „Normalzustand“ betrug bei einem Export von 3.050 MW die Auslösezeiten 10 Minuten bei 3.700 MW und 1,5 Sekunden bei 3.900 MW. Ein Beispiel für die Auslösung des Lwower Schnittes zeigt *Tabelle 1*. Durch diese Auslösung trat in den Energiesystemen der DDR, Polens, der Tschechoslowakei, Rumäniens und Ungarns ein plötzliches Leistungsdefizit von ca. 4.100 MW auf. Im Energiesystem der DDR wurden bei dieser Störung durch den „Automatischen Frequenzabwurf (AFE)“ ca. 2.000 MW Verbraucherleistung abgeschaltet.

Ende 1990 war das VES gekennzeichnet durch:

- installierte KW-Leistung: 175.609 MW
- davon konv. WäKW 117.158 MW
- KKW 23.695 MW
- WKW 19.028 MW
- IKW 15.728 MW
- Höchstlast (10.01.1990) 112.788 MW
- Erzeugung (1990) 769.500 GWh
- Länge der 750/400/330 kV-Leitungen: 40.031 km

Nach der politischen und wirtschaftlichen Wende erfolgten durch die VENAG i.G. bereits Anfang 1990 erste Kontakte zur deutschen Verbundgesellschaft (DVG) und zu westdeutschen Verbundunternehmen wie Preussen Elektra, Bayernwerk, Rheinisch-Westfälisches Energiewerk, BadenWerke, Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen und BEWAG.

Aus diesen Arbeitskontakten entstand im November 1990 eine Koordinierungsgruppe und ein

„Arbeitsprogramm zur Vorbereitung und Aufnahme des Verbundbetriebes des VENAG-Netz mit dem DVG-UCPTE-) Netz“

unter Leitung des damaligen Vorsitzenden der VENAG, Herrn Herbert Knaack. Dies erfolgte unter Einbeziehung der Kraftwerks-AG und der deutschen Verbundunternehmen PE, BAG und RWE. Erwähnenswert sind hier insbesondere die Herren Taube und Heueck (PE), Klotzbücher (BAG), Prof. Dr. Denzel, Schmitz (RWE) und Dr. Toscher (Kraftwerks-AG).

Das Arbeitsprogramm enthielt insgesamt 9 komplexe Aufgabenstellungen:

- Regelung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit mit den *osteuropäischen* Partnern
 - Regelung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit mit den *westdeutschen* und *weiteren* Verbundunternehmen
 - Schaffung der *netztechnischen* Voraussetzungen im VENAG-Netz zur Aufnahme des DVG/UC(P)TE-Verbundbetriebes
 - Schaffung der Bedingungen für die Erfüllung der Anforderungen an die *Wirkleistungsregelung* bei DVG/UC(P)TE-Verbundbetrieb
 - Schaffung der Voraussetzungen zur Erfüllung der Anforderungen an die *Spannungsregelung* bei DVG/UC(P)TE-Verbundbetrieb
 - Schaffung der Grundlagen für die *Störfallbeherrschung* bei DVG/UC(P)TE-Verbundbetrieb
 - Vorbereitung der Betriebsführung der Lastverteilung unter den Bedingungen des unmittelbaren *Übergangs* vom Verbundbetrieb mit dem VES auf den DVG/UC(P)TE-Verbundbetriebes
 - Sicherstellung des *Informationsaustausches* zwischen den Lastverteilungen unter den Bedingungen des DVG/UC(P)TE – Verbundbetriebes
- mit insgesamt 65 Einzelaufgaben.

So konnten bereits 12/1993 u.a. in den Kraftwerken Lübbenau/Vetschau, Boxberg, Lippendorf und Thierbach mit Blöcken bis zu einer Leistung von 210 MW der 220-kV-Spannungsebene, 520 MW Primärregelleistung und 380 MW Sekundärregelleistung realisiert werden.

Neben dem Bau von Kuppelleitungen zu PE und BAG:

- 380-kV-Leitung Wolmirstedt (Sachsen-Anhalt) - Helmstedt (Niedersachsen) → Projekt BRD/ DDR (Inbetriebnahme bereits 03.10.1989; 48,7 km)
- 380-kV-Leitung Remptendorf (Thüringen) – Redwitz (Bayern) (fertiggestellt 12/91; 57 km)
- 380-kV-Leitung Vieselbach (Thüringen) – Mecklar (Hessen) (fertiggestellt 9/95; 125 km)

wurden u.a. umfangreiche Maßnahmen auf dem Gebiet der Spannungshaltung im Übertragungsnetz (ÜN) und in den in das ÜN einspeisenden Kraftwerken (KW) durchgeführt. Die Nutzung der 380-kV-Leitung Wolmirstedt-Helmstedt erfolgte bereits vor der elektrischen Wiedervereinigung für Richtbetriebe aus dem KW Buschhaus (in Richtung VENAG-Netz) und den KW Lübbenau/Vetschau (in Richtung PE-Netz).

Datum	Einstellwert der Trennautomatik [MW]	Belastung des Lwower Schnittes vor der Trennung	Ursache der Trennung	Frequenz vor Trennung [Hz]	Frequenz nach Trennung [Hz]
07. Juni 1988, 11:38 Uhr	3.700/3.900	3065 MW Export aus EES der UdSSR	Blockausfall KKW Pacs (HU): 1.000 MW	49,97	48,68

*Tabelle 1:
Auswirkungen
einer Trennung
am Lwower
Schnitt*

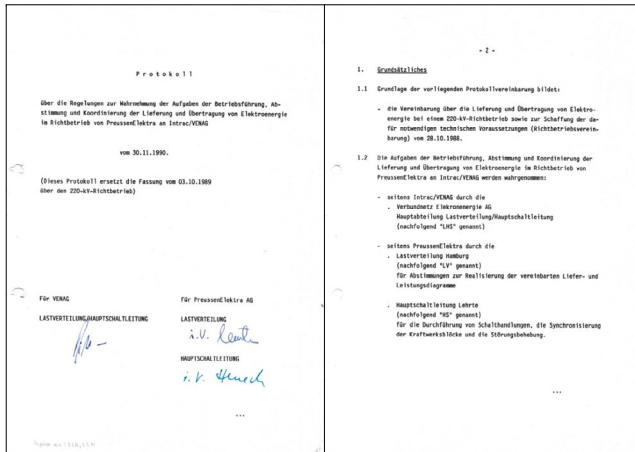


Bild 8: Zentrale Steuerungsstelle der VEAG (Berlin, Beilsteiner Str. 115)

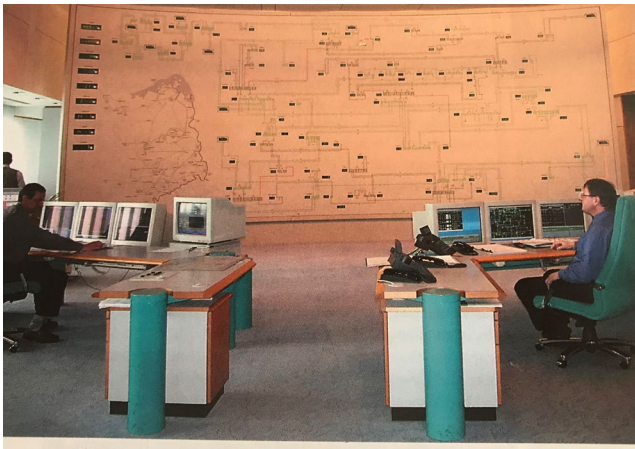


Bild 9: Frequenzverlauf während der Umschaltung

Im Weiteren wurde im Rahmen einer „Ersatzinvestition“ der Aufbau einer neuen Leitstelle mit entsprechend moderner Leitstellentechnik (Bild 8) durchgeführt. Nach der Erüchtigung der Umspannwerke (UW), waren damit auch die Voraussetzungen für die Fernüberwachung und Fernsteuerung der 220/380-kV-Umspannwerke gegeben.

Nach der Fertigstellung der 380-kV-Leitung Vieselbach – Mecklar Anfang September 1995, waren alle Voraussetzungen im VEAG-Netz (ehemals VENAG) zur Aufnahme des DVG/UC(P)TE-Verbundbetriebes entsprechend des

„Arbeitsprogramm zur Vorbereitung und Aufnahme des Verbundbetriebes des VENAG-Netzes mit dem DVG-UC(PTE-) Netz“

erfüllt, sodass nach Zustimmung aller damaligen deutschen Verbundunternehmen die Umschaltung vom osteuropäischen Verbundnetz an das DVG/UCPTE-Verbundnetz erfolgen konnte.

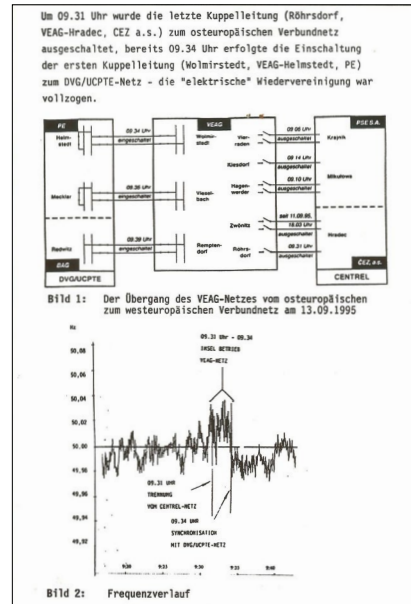


Bild 10: Zeitabläufe der Umschaltung

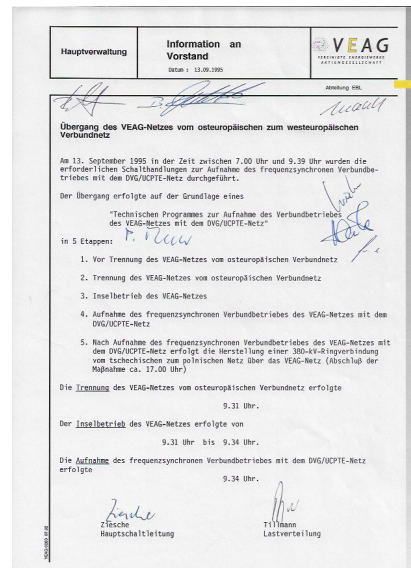


Bild 11: Information an den Vorstand der VEAG

Die Umschaltung wurde auf der Grundlage eines

„Technischen Programms zur Aufnahme des Verbundbetriebes des VEAG-Netzes mit dem DVG/UCPTE-Netz“

durchgeführt.

Nach Ausschaltung der Kuppelleitungen zum polnischen und tschechischen Übertragungsnetzbetreiber und eines 3-minütigen Inselbetriebes des VEAG-Netzes (Bild 9), erfolgte am

13. September 1995 um 09:34 Uhr

die Synchronschaltung mit dem DVG/UCPTE-Netz (Bild 10 und 11).

Bereits vor der Umschaltung des VEAG-Netzes vom VES-Netz zum DVG/UCPTE-Netz kam es zur schrittweisen Auflösung des osteuropäischen Verbundbetriebes. Im November

1993 bildeten sich aufgrund von hohen Leistungsdefiziten in der Ukraine 3 Teilsysteme:

- Teilsystem A seit 18. November 1993, 20:10 Uhr mit den Netzen, Polens, der Slowakei, Tschechiens, Ungarns, Rumäniens, das Teilsystem „Lwownenergo“ der Ukraine (heute bekannt unter Teilnetz „KW Burstyn“) und dem VEAG-Netz
- Teilsystem B seit 20. November 1993, 13:05 Uhr mit den Netzen Bulgariens (über 750-kV-Leitung mit EES der Ukraine verbunden), der Ukraine (ohne Lwownenergo und Charkower Energiesystem) und der nordkaukasische Teil des einheitlichen Energiesystems (EES) Russlands
- Teilsystem C seit 20. November 1993, 13:05 Uhr mit den Netzen Russlands (ohne nordkaukasische Teilsystem) und das Charkower Energiesystem

Infolge der bei „Lwownenergo“ und im Elektroenergiesystem (EES) Rumäniens weiter anhaltenden Leistungsdefizite war im Teilsystem A ein äußerst niedriges Frequenzniveau zu verzeichnen; im Zeitraum 19.11.1993 bis 31.12.1993 betrug die Mittelfrequenz 49,905 Hertz. Speziell im Winterhalbjahr 1993/94 kam es im Teilsystem B zu extrem niedrigen Frequenzen, teilweise unter 49,0 Hertz. Das EES Rumäniens trennte sich am 05. April 1994 vom Teilnetz A begann gemeinsam mit dem EES Bulgariens einen „Probetrieb“ mit den vom UCPT-Netz getrennten Netzen (Balkankrieg/Zerstörung des UW Ernestinovo Ex- Jugoslawiens und Griechenlands (UCPT-Frequenzzone 2). Das ukrainische EES nahm den Netzverbund mit dem russischen EES auf, sodass 1994 die ehemaligen VES-Netze folgende Netzverbunde bildeten:

- Polen, Slowakei, Tschechien, Ungarn, Teilsystem „Lwownenergo“ der Ukraine (heute bekannt unter Teilnetz „KW Burstyn“) und dem VEAG-Netz
- Russland einschl. baltische und weitere ehemalige Republiken der Sowjetunion, Ukraine
- Rumänien und Bulgarien im „Probetrieb“ mit den vom UCPT-Netz getrennten Netzen Ex-Jugoslawiens und Griechenlands

Aus dieser Situation heraus, bildeten sich in den VES neue Interessengruppen. Die ÜNB Polens, Tschechiens, der Slowakei und Ungarns gründeten bereits im Oktober 1992 in Prag die CENTREL, deren Aufgabe darin bestand, den Anschluss dieser Netze an das UCPT-Netz vorzubereiten.

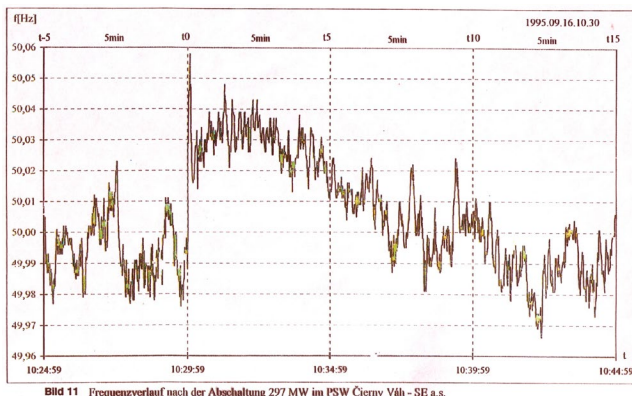


Bild 12: Probetrieb CENTREL

Es kam zur Bildung des

„Technischen Komitees UCPT/CENTREL zur Integration von MVMRT., CEZ a.s., SEP a.s. und PSE S.A. in die U(PT)“

(Präsident: Herr Klotzbücher, BAG),

das einen

„Maßnahmenkatalog zur Integration von MVMRT., CEZ a.s., SEP a.s. und PSE S.A. in die UCPT“

erarbeitet. Die Unterzeichnung erfolgte durch die CENTREL-Unternehmen und die westlichen ÜNB BAG, ÖVG, PE, VEAG, JUGEL, ELES und HEP am 12.10.1992 in Wien.

Nach Erfüllung der technischen, energiewirtschaftlichen und organisatorischen Maßnahmen und eines „Probetriebes“ (Inselbetrieb der CENTREL, Bild 12) konnte am

18. Oktober 1995, 12:30 Uhr

der Anschluss der CENTREL-Netze an das UCPT-Netz erfolgen (Bild 13).

Mit Beginn des Probetriebes wurde das Teilsystem „Lwownenergo“ der Ukraine von den CENTREL-Netzen getrennt und an das ukrainische EES umgeschaltet.

Nach Aufnahme des Synchronbetriebes übernahm die VEAG für ein Jahr die Regelführerschaft für die CENTREL gegenüber der Hauptschaltleitung der RWE in Brauweiler. Die Abrechnung des „ungewollten Austausches“ erfolgte in dieser Zeit durch die Direktion der ZDV in Prag.

Durch die Trennung des Netzes von „Lwownenergo“ mit seinem UW Mukachevo und seiner Bedeutung als Kuppelstelle für die Netze Ungarns, Rumäniens und der Slowakei, kam es zu Bemühungen das sogenannte Teilnetz „KW Burstyn“ an das UCPT-Netz anzuschließen. Es erfolgte die Bildung des

„Technischen Komitees UCPT/Ukraine zum Anschluss des Teilnetzes „KW Burstyn“ an das UCPT-Netz“

(Präsident: Herr Tillmann, VEAG)

und in Anlehnung an den Maßnahmenkatalog der CENTREL, die Erarbeitung des

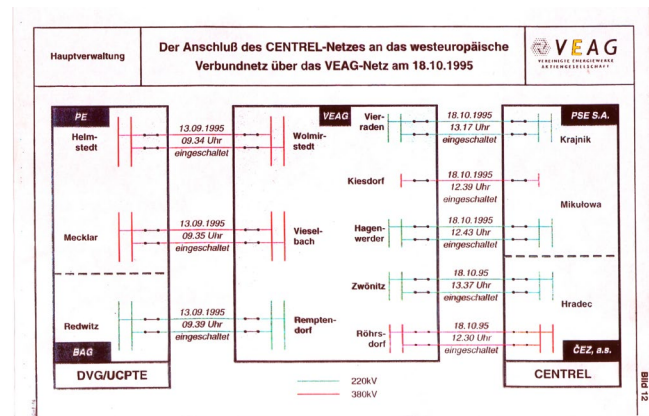


Bild 13: Zeitablauf der Umschaltung der CENTREL-Netze

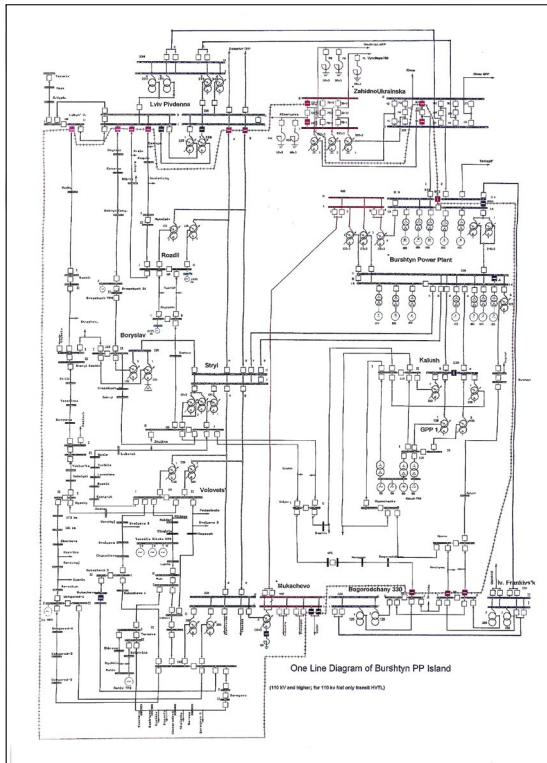


Bild 14: Schaltschema TN „KW Burstyn“

„Maßnahmenkataloges zur Integration des TN „KW Burstyn“ in das UCPT-Netz“.

Nach Realisierung aller technischen, energiewirtschaftlichen und organisatorischen Maßnahmen wurde das TN „KW Burstyn“ am 01. Juli 2003 zu einem 1-jährigen Probebetrieb, der erfolgreich abgeschlossen wurde, an das UCPT-Netz angeschlossen (Bilder 14 und 15).

Bild 16 zeigt eine Netzkarte, die im Jahr 2003 gemeinsam von der UCPT, der Nordel und der ZDV der VES erstellt wurde.

Nach der Resynchronisation der UCPT-Frequenzzonen 1 und 2, die im Zusammenhang mit dem Balkankrieg entstanden waren, wurden die Netze Bulgariens und Rumaniens am 04. Oktober 2004 offiziell an das UCPT-Netz angeschlossen.

Nach entsprechendem Beschluss des Rates der ZDV auf seiner 89. Tagung im November 2003 in Prag, stellte die Direktion der Zentralen Dispatcherverwaltung der Vereinigten Energiesysteme Osteuropas, am 31.12.2004 nach über 40 Jahren ihre Tätigkeit ein.

Bildnachweise

- Bild 1 bis 3: Band 1 der Reihe „Musterbetriebe deutscher Wirtschaft“ (1928; 1. Ausgabe) Autor: Dr.-Ing. R. Hamburger
- Bild 4: privat
- Bild 5: Zentrale Dispatcherverwaltung der Vereinigten Energiesysteme
- Bild 6 bis 7: Bausteine für Osteuropa „50 Jahre deutscher Stromverbund“ (DVG 1999)
- Bild 8: VEAG Megawatt 04/2002
- Bild 9 bis 11: VEAG/privat

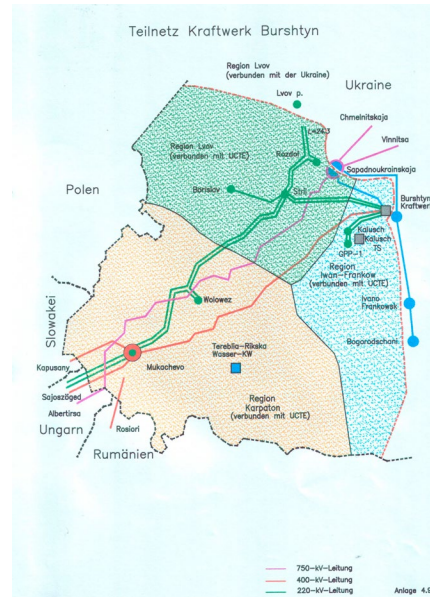


Bild 15: Teilnetz „KW Burstyn“ mit dem Kuppel-UW Mukachevo

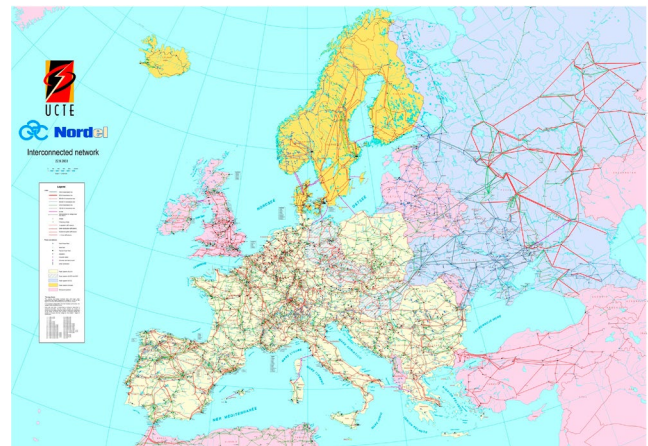


Bild 16: Netzkarte UCPT, Nordel, VES aus dem Jahr 2003

- Bild 12: Bericht Probebetrieb CENTREL (1995)
- Bild 13 VEAG/privat
- Bild 14 bis 15: Bericht zur Erfüllung des „Maßnahmenkataloges zur Integration des TN „KW Burstyn“ in das UCPT-Netz“ (2003)
- Bild 16: Zentrale Dispatcherverwaltung der Vereinigten Energiesysteme

Eine Langfassung und die Folien des Vortrages zur Veranstaltung stehen unter <https://www.vde.com/de/geschichte/arbeitsgebiete/25-jahre-elektrische-wiedervereinigung-deutschlands> zum Download zur Verfügung.

Dipl.- Ing. oec.
Hans-Bernd Tillmann

Nachruf Professor Rainer Bitsch

Mit großem Bedauern haben wir vom Tod unseres ehemaligen Vorstands und langjährigen ETG Mitglieds Professor Rainer Bitsch erfahren.

Professor Rainer Bitsch hat an der TU Braunschweig Elektrotechnik studiert und anschließend seine Promotion an der Leibniz Universität Hannover erhalten.

Er war 30 Jahre lang bei der Siemens AG in Berlin, Mexiko, Erlangen, Frankfurt und Nürnberg tätig. Schwerpunkt seiner Tätigkeit war die systemkompatible Integration von erneuerbaren Energiequellen und verteilten Erzeugungen in existierende Energiesysteme durch Aufbau intelligenter Stromnetze.

Im Jahr 2003 erhielt Herr Professor Bitsch die Honorarprofessur an der LU Hannover, wo er von 1995 bis 2010 lehrte. 2002 folgte die Professur an der BTU Cottbus. In dieser Funktion lehrte und forschte er von 2002 bis 2013.

Weitere Fachtätigkeit in Organisationen und Verbänden begleitete sein Berufsleben, darunter: im ZVEI als Vorsitzender des Technischen Ausschusses Hochspannungs- und Schaltgeräte, Mitglied des Intergovernmental Panel on Climatic



Foto: Privat

Change (IPCC), 2010 Benennung als Experte für die „Transatlantische Klimabrücke“, Klima- und Energiedialog Deutschlands mit den USA und Kanada sowie viele mehr.

Hervorheben möchten wir hier seine Mitgliedschaft in der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG). Herr Professor Bitsch hat mit seiner Kompetenz und seinem Engagement ganz wesentlich zum Erfolg beigetragen.

Wir werden ihm ein ehrendes Andenken bewahren.

Nachruf Professor Hermann-Josef Wagner

Die ETG trauert um Herrn Professor Herman-Josef Wagner, der am 15. November 2021 nach kurzer, schwerer Krankheit verstorben ist.

Herr Professor Wagner war ein Elektrotechniker und Experte auf dem Gebiet von Energiesystemen und -wirtschaft. Sein Schwerpunkt waren die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien und rationelle Energieanwendung.

Er studierte Elektrotechnik an der RWTH Aachen und promovierte dort an der Fakultät Maschinenbau. Nach Arbeiten am Deutschen Bundestag war er Leiter der „Systemanalyse und Technologische Entwicklung“ im Forschungszentrum Jülich.

Die Gerhard-Mercator-Universität Duisburg ernannte ihn zum Honorarprofessor. Bevor er 2001 zur Ruhr-Universität Bochum wechselte, hatte er Professuren an der Technischen Universität Berlin und der Universität Essen inne. Schwerpunkt seiner Arbeitsthemen waren u.a. kumulierte Energieaufwendungen und Ökobilanzen von erneuerbaren Energien sowie Analysen von Einsatzoptionen effizienter und innovativer Technologien.

In den Jahren 2000 bis 2005 nahm der den Vorsitz der VDI Gesellschaft für Energietechnik (GET) wahr. Zuvor war er 6 Jahre Mitglied im Vorstand der ETG im VDE. In den Jah-



Foto: S. Bungert

ren 2009 bis 2015 hatte der den Vorsitz der VDI-Gesellschaft „Energie und Umwelt“ (GEU) inne. Die Deutsche Akademie der Wissenschaft LEOPOLDINA nahm ihn im Jahr 2006 auf. Der VDI ehrte ihn mit der Ehrenmedaille und dem Ehrenzeichen. Im Jahre 2010 zeichnete ihn der Bundespräsident der Bundesrepublik Deutschland mit dem Bundesverdienstkreuz am Bande aus.

Nachruf Hon. Prof. Dr.-Ing. Gerhard Neidhöfer

Im November 2021 verstarb Professor Neidhöfer im Alter von 90 Jahren in Aargau (Schweiz).

Gerhard Neidhöfer studierte Elektrotechnik/Starkstromtechnik an der TH Darmstadt und erwarb sein Doktorat an der Université de Grenoble (Frankreich). Von 1958 bis 1996 war er bei BBC Brown Boveri & Cie., Baden (Schweiz), später ABB, in leitenden Positionen verantwortlich für die Entwicklung drehender elektrischer Großmaschinen, vor allem Turbogeneratoren für thermische Kraftwerke, und Synchron-Großantriebe.

Von 1969 bis 1997 hielt er an der TH Darmstadt in der Nachfolge von Prof. Wiedemann, seinem Mentor, Wahlvorlesungen über „Elektromaschinenbau“ am Institut für Elektrische Energiewandlung (Prof. E.-Ch. Andresen) mit regelmäßig stattfindenden mehrtägigen technischen Exkursionen. Für seinen Einsatz wurde er 1975 zum Honorarprofessor der TH Darmstadt ernannt. Er verfasste zahlreiche Fachaufsätze und Konferenz-Beiträge bei internationalen Fachkonferenzen wie ICEM, IEEE-PES u. a. Seit 1999 IEEE-„Fellow“, wirkte er ab 2002 im [VDE-Ausschuss „Geschichte der Elektrotechnik“](https://www.vde.com/de/geschichte)¹ mit und verfasste 2004 das Buch „Michael von Dolivo-Dobrowolsky und der Drehstrom“, VDE Verlag, sowie weitere Fachaufsätze beim VDE, SEV und IEEE zur Geschichte der Starkstromtechnik. Für seinen Einsatz zum Erhalt des historischen Wasserkraftwerks Rheinfelden erhielt er 2009 den Aargauer Heimatschutzpreis und für seine Tätigkeit beim VDE 2012 die Karl-Joachim-Euler-Medaille des VDE. Er war maßgeblich beteiligt an der Organisation des Festkolloquiums „150 Jahre Michael von Dolivo-Dobrowolsky“, 2012, an der TU Darmstadt, des IEEE Milestone-Festakts für das historische Wasserkraftwerk Rheinfelden und hielt 2018 den Festvortrag bei der Enthüllung der Ehrentafel für Ludwig Roebel, dem Erfinder der Drill-Leiterwicklung für el. Großmaschinen, auf der „Kurpfälzer Meile“ der Innovationen, Mannheim.

Über 40 Jahre widmete er sich bis 2019 mit großer Leidenschaft der Pflege der Kirchenmusik als Organist.



Prof. Gerhard Neidhöfer +2021 | privat

¹ <https://www.vde.com/de/geschichte>

L1 Leserbrief von Prof. Dr. Martin Poppe

Fachhochschule Münster

Brief zum Artikel „Wie gelangt die elektrische Energie zum Verbraucher“

In diesem Artikel gelingt es den Autoren, den Lesern ein nur sehr schwer mit der menschlichen Intuition in Einklang zu bringendes Phänomen nahe zu bringen. Am Beispiel ebener elektromagnetischer Wellen sei darauf hingewiesen, dass eine kleine Umformulierung des Poynting-Vektors dessen Bedeutung sehr viel leichter verständlich machen kann und darüber hinaus einige bekannte Eigenschaften elektromagnetischer Wellen „auf dem Silbertablett serviert“.

Jede Flussdichte lässt sich als Produkt aus Dichte und Fließgeschwindigkeit schreiben. Warum also nicht auch die durch den Poynting-Vektor beschriebene Energieflussdichte? Zieht man zum Beispiel die Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = 1/\sqrt{\mu_0\mu_r\epsilon_0\epsilon_r}$ einer ebenen elektromagnetischen Welle heraus,

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = v (\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r}\mathbf{E}) \times \left(\frac{\mathbf{B}}{\sqrt{\mu_0\mu_r}}\right) \quad (1)$$

so wird seine Bedeutung als Energieflussdichte unmittelbar sichtbar: Hinter der Geschwindigkeit stehen zwei Vektoren mit Beträgen, welche sich auf die elektrische Energiedichte $w_{el.}$ und die magnetische Energiedichte $w_{mag.}$ mit Hilfe von

$$w_{el.} = \frac{\epsilon_0\epsilon_r}{2}\mathbf{E}^2 \quad \text{und} \quad w_{mag.} = \frac{1}{2\mu_0\mu_r}\mathbf{B}^2 \quad (2)$$

zurückführen lassen:

$$S = |\mathbf{S}| = v \cdot (\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r}E) \cdot \left(\frac{B}{\sqrt{\mu_0\mu_r}}\right) = v \cdot \sqrt{2w_{el.}} \cdot \sqrt{2w_{mag.}}$$

So formuliert, enthält der Poynting-Vektor folgende Informationen:

- Es wird gleich viel Energie auf elektrischem und auf magnetischem Wege transportiert: $w_{mag.} = w_{el.}$. Dies erfordert die gleichzeitige Gültigkeit von Gl. (1) und Gl. (2), sowie die Tatsache, dass die Feldvektoren senkrecht aufeinander stehen.
- Das Verhältnis der Feldstärken hängt im Gegensatz zu den Energieanteilen vom Material ab: $|\mathbf{E}|/|\mathbf{B}| = v = 1/\sqrt{\mu_0\mu_r\epsilon_0\epsilon_r}$. Im Vakuum wird $|\mathbf{E}|/|\mathbf{B}|$ maximal.
- Beim Durchqueren von Materie ($\mu_r \neq 1 \neq \epsilon_r$) übernimmt diese selbst einen Teil des Energietransportes. Das Feld $\mathbf{E}$ hat nur einen Anteil von $w_E/w_{el.} = 1/\epsilon_r$ am elektrischen Teil der Energieflussdichte. Der Rest, oft mehr als die Hälfte, wird von Atom zu Atom weitergereicht. Entsprechendes gilt für den magnetischen Anteil.

Zur Abrundung des Themas noch ein kleines Gedankenexperiment, welches an den Grundpfeilern des Poynting-Theorems zu sägen scheint: Man stelle sich einen geladenen Plattenkondensator vor, der ins Zentrum einer lagen Spule so eingebracht wird, dass elektrisches und magnetisches Feld senkrecht aufeinander stehen. Zwischen den Kondensatorplatten ist der Poynting-Vektor ungleich null. Was aber passiert, wenn beide Felder konstant sind? Gibt es trotzdem einen ständigen Energiefluss durch den Kondensator hindurch und um ihn herum wieder zurück? Das wäre ein Energiefluss ohne jegliche Wirkung, denn im statischen Falle sind die Felder entkoppelt. Oder ist dies ein Beispiel dafür, dass es Situationen gibt, in denen keine Energie fließt, obwohl der Poynting-Vektor nicht null ist?

■ Ihre Meinung interessiert uns

Liebe ETG Mitglieder,

unsere Einladung an Sie bleibt bestehen: Senden Sie uns geeignete Beiträge zur Veröffentlichung und nehmen Sie aktiv an der Kommunikation in der ETG teil.

Wenn Sie die Beiträge im ETG *journal* kommentieren möchten, dann schreiben Sie uns, am besten per E-Mail an etg@vde.com

Bitte halten Sie Ihren als **Leserbrief** gekennzeichneten Beitrag kurz, ansonsten behalten wir uns Kürzungen vor. Ein Anspruch auf Abdruck besteht nicht.

Wir freuen uns auf Ihre Zuschriften.

Ihre Geschäftsstelle

ETG Veranstaltungskalender 2022 – 23

2022

15. Februar, Berlin

Fachtagung

FNN ETG Tutorial Schutz- und Leittechnik

Online-Preview „Mit dem Blick auf die Zukunft!“

15.–17. März, Berlin

Fachtagung

CIPS 2022

12th International Conference on Integrated Power Electronics Systems

30. März – 1. April, Karlsruhe

Fachtagung / Konferenz

26. Albert-Keil-Kontaktseminar

10.–11. Mai, Dortmund

ETG Fachtagung

Hochautomatisierter Netzbetrieb 2022

12.–13. Mai, Dresden

Fachtagung

Rail.S/VDE Symposium 2022

Sicherheit & Zulassung elektrischer Bahnausrüstungen

13.–14. Mai, Schweinfurt

Fachtagung

VDE Bayern Zukunftsforum

Die Energiewende: Chancen und Herausforderungen für Bayern

21.–22. Juni, Berlin

Fachtagung

FNN ETG Tutorial Schutz- und Leittechnik

5.–6. Juli, Bayreuth

ETG/ITG Fachforum

Zellulare Zukunft der Energieversorgung 2022

5.–9. September, Hannover

Fachtagung

24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe)

14.–15. September, Linz (Österreich)

Fachtagung

IKMT 2022 – Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik

19. September, Berlin

Fachtagung

Treffen des Industriekreises Mittelspannungs-Leistungselektronik 2022

28.–29. September, Leipzig

Fachtagung

Netzregelung und Systemführung 2022

11.–13. Oktober, Esslingen am Neckar

Fachtagung

STE 2022

Sternpunktbehandlung in Netzen bis 100 kV (D-A-CH)

8.–10. November, Berlin

Fachtagung

VDE Hochspannungstechnik

21.–22. November, Kassel

Fachtagung

Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie

14.–15. Dezember, Landesvertretung

Niedersachsen in Berlin

Fachtagung

8. Dialogplattform Power-to-Heat

2023

20.–21. April, Bad Nauheim

Fachtagung

Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen 2023

10.–11. Mai, Wuppertal

Fachtagung

ETG Kongress 2023

Das Gesamtsystem im Fokus der Energiewende

■ ETG Newsletter

Liebe ETG Mitglieder,

seit 2012 versendet die ETG zwischen den Erscheinungsterminen des ETG *journals* in unregelmäßigen Abständen einen elektronischen Newsletter. Der Newsletter wird immer dann verschickt, wenn es aktuelle Informationen von der ETG gibt, maximal einmal pro Monat.

Dabei setzen wir eine „intelligente Technik“ ein: Jeder Empfänger erhält einen individuellen Newsletter, der nur die Artikel enthält, die seinen Interessen entsprechen. Bitte nutzen Sie das Online-Formular unter www.vde.com/etg-newsletter, um uns Ihre aktuellen Interessensgebiete mitzuteilen.

Viel Spaß beim Lesen!

■ ETG *journal* elektronisch

Liebe ETG Mitglieder,

nutzen Sie die energie- und ressourcenschonende Variante des ETG *journals* und schicken Sie uns bei Interesse bitte eine E-Mail mit Ihrer Mitgliedsnummer an etg@vde.com.

Ihre ETG Geschäftsstelle

Der Schutz Ihrer Daten ist uns wichtig. Unsere Datenschutzerklärung finden Sie unter www.vde.com/de/datenschutz

Herausgeber

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik e.V.
Energietechnische Gesellschaft (ETG)
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main

Tel. 069 / 63 08-346
etg@vde.com
www.vde.com/etg