

VDE-Ausschuss Geschichte der Elektrotechnik



75 Jahre Hochspannungs- Gleichstrom- Übertragung HGÜ

Entwicklung – Technologie –
Anwendung

26./27. September 2011

Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)

ETG

PTB

VDE

75 Jahre Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ Entwicklung - Technologie - Anwendung

Abstracts

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<i>Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (ehemaliger Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt), Braunschweig</i> Der Genius Loci: Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt	4
<i>Prof. Dr.-Ing. Johannes Nestler, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, Hannover</i> Von der ersten elektrischen Kraftübertragung von Miesbach nach München (1882) zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	4
<i>Prof. Dr. techn. Johannes Mitterauer, Technische Universität Wien</i> Physik und Technologie der Quecksilberdampfventile für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	5
<i>Dir. a. D. Dipl.-Ing. Gerhard Heyner (ehem. AEG), Frankfurt</i> Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Entwicklung des Projektes zum Auftrag	5
<i>Dipl.-Ing. Herbert Pesch (ehem. AEG), Frankfurt</i> Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Darstellung des Projektes	6
<i>Dipl.-Ing. Michael Schubert (ehem. AEG), Berlin</i> Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Betriebserfahrung seit 1977	6
<i>Prof. Dr.-Ing. R. Marquardt, Universität der Bundeswehr München</i> Leistungselektronische Systeme der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	7
<i>Prof. Dr. Sc. techn. André Jaecklin (ehem. BBC/ABB) Ennetbaden/Schweiz</i> Entwicklung der Thyristor – Bauelemente bei BBC/ABB	7
<i>Dipl.-Ing. Jörg Dorn, Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, Warstein</i> Entwicklung der Thyristor-Bauelemente bei Siemens/Infineon	8
<i>Dr. Ing. Gerhard Miller, Infineon AG, Neubiberg</i> Entwicklung der Insulated-Gate-Bipolar-Transistors (IGBT)	8

	Seite
<i>Dipl.-Ing. Peter Lips (ehem. BBC, Siemens), Adelsdorf</i> Aufbau, Kühlung und Ansteuerung der HGÜ-Ventile	8
<i>Dr.-Ing. Christian Frohne, Nexans Deutschland GmbH, Hannover</i> <i>Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, Hannover</i> Gleichstromkabel für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	9
<i>Prof. Dr.-Ing. Dietmar Retzmann, Siemens AG, Erlangen</i> HGÜ-Anlagen der Siemens AG	9
<i>Prof. Dr.-Ing. Jochen Kreusel, ABB AG, Mannheim</i> HGÜ-Anlagen der ABB AG	9
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner, Technische Universität Wien</i> Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen als Verbindung in Übertragungsnetzen	10
<i>Dipl.-Ing. Johann Meisner, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig</i> Energiesmesstechnik in der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	10
<i>N.N.</i> HGÜ-Vorhaben in Deutschland	11

Der Genius Loci: Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind

(ehemaliger Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt), Braunschweig

Langjährige Bemühungen führender Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft führten 1887 zur Gründung eines Instituts für die „experimentelle Förderung der exakten Naturforschung und der Präzisionstechnik“. Mitbegründer und wesentlicher Förderer war Werner von Siemens, Herman von Helmholtz wurde der erste Präsident dieser weltweit ersten staatlichen Großforschungseinrichtung.

Von der ersten elektrischen Kraftübertragung von Miesbach nach München (1882) zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Prof. Dr.-Ing. Johannes Nestler

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, Hannover

Die erste elektrische Kraftübertragung von Miesbach nach München wurde von dem französischen Ingenieur Marcel Deprez als elektrotechnischer Versuch einer Gleichstrom-Übertragung durchgeführt, womit er beweisen wollte, dass die elektrische Kraftübertragung über große Entfernung möglich ist, wenn die Übertragungsspannung hoch genug gewählt wird. In der Folge setzte sich durch die Erfindung des Transformators der Wechsel- bzw. Drehstrom gegenüber dem Gleichstrom durch. In dem Beitrag soll dargelegt werden, aus welchen Gründen erst Mitte der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Entwicklung der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung aufgenommen wurde und in welcher Weise sich die Entwicklung zur Errichtung der ersten Anlagen vollzog. Abschließend der Tagung soll ein Überblick über HGÜ-Vorhaben – über laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie Projekte – in Deutschland vermittelt werden.

Physik und Technologie der Quecksilberdampfventile für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

*Prof. Dr. techn. Johannes Mitterauer
Technische Universität Wien*

Die physikalische Funktionsweise von Niederspannungs-Quecksilberdampfventilen beruht auf dem unipolaren Stromfluss in einer Niederdruck-Dampfentladung bei temperaturabhängiger Verdampfung von einer großflächigen Flüssigmetallkathode. Eine größenordnungsmäßige Erweiterung des Spannungsbereiches derartiger Ventile erfordert technologische Maßnahmen vor allem hinsichtlich der Spannungsbeherrschung (Zwischengitter), der Rückzündungssicherheit und der Entionisierungszeit im Entladungsraum. Es werden Lösungskonzepte vorgestellt, die vornehmlich auf eine Minimierung der freien Quecksilberoberfläche und eine Temperaturregelung der Verdampfungsrate ausgerichtet sind, wodurch ähnliche Verhältnisse wie in einem Hochspannungs-Vakuumschalter erreicht werden können.

Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Entwicklung des Projektes zum Auftrag

*Dir. a. D. Dipl.-Ing. Gerhard Heyner
(ehem. AEG), Frankfurt*

Im Sambesital wird an idealer Staustelle für Flussregulierung und Energieerzeugung durch den portugiesischen Staat ein Staudamm mit Wasserkraftwerk und Energieübertragung nach Südafrika geplant.

ZAMCO, ein formiertes internationales Konsortium gewinnt nach 18-monatiger Verhandlungszeit – zugleich mit Vermittlung der Finanzierung – am 19. September 1969 den Auftrag als „schlüselfertiges Projekt“.

Terror und politische Entscheidungen wandeln die HGÜ – bevorzugte Variante gegenüber der 500 kV DSÜ – per Zwang von der Quecksilberdampftechnik zur nicht erprobten Thyristortechnik der beteiligten Firmen AEG, BBC und Siemens.

Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Darstellung des Projektes

*Dipl.-Ing. Herbert Pesch
(ehem. AEG), Frankfurt*

Die entscheidende Neuerung bei einer HGÜ hoher Übertragungsleistung ist der Einsatz hochsperrender Leistungsthyristoren, der das Ende der Quecksilberdampfventile einleitet. Der Doppelventilzweig einer 6-pulsigen Stromrichterbrücke wird in einem Stahlkessel untergebracht und mit Öl isoliert und gekühlt. Aus der Reihenschaltung von vier 6-pulsigen Brücken pro Pol ergibt sich die Übertragungsspannung von ± 533 kV. Parallel zur Ventiltechnik werden die erforderlichen Peripheriegeräte und die anlagenbezogene Ventilsteuerung, -regelung und -schutz neu entwickelt, am Modell sorgfältig untersucht und schließlich in den beiden Stationen Apollo und Cabora Bassa eingesetzt, in Betrieb genommen und einem umfangreichen Testprogramm unterzogen.

Cabora Bassa – Ein Großprojekt der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung - Betriebserfahrung seit 1977

*Dipl.-Ing. Michael Schubert
(ehem. AEG), Frankfurt*

Nach der 1. Ausbaustufe (50%) werden in 2 weiteren Stufen der Endausbau der HGÜ erreicht und sehr gute Betriebserzeugnisse mit hohen Zuverlässigkeitsraten erzielt. Die Betriebsstatistik liefert interessante Unterschiede zwischen Fehlern an konventionellen und HGÜ-spezifischen Bauelementen.

In der Folge wird die Übertragungsleitung häufig und massiv sabotiert, so dass kein oder nur stark reduzierter Betrieb stattfinden kann. Das wirkt sich auf die erforderliche Wartung aus, die stark vernachlässigt wird. Trotzdem kann der Betrieb mit hochgradig geschädigten Stromrichtern bei Bedarf aufgenommen und aufrecht erhalten und die HGÜ wirtschaftlich genutzt werden.

Seit Lösung der politischen Probleme im südlichen Afrika steht auch die HGÜ-Leitung wieder vollständig zur Verfügung. In Apollo sind Stromrichter und Steuerungsanlagen inzwischen modernisiert und an die heutige Technik angepasst worden.

Leistungselektronische Systeme der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

*Prof. Dr.-Ing. R. Marquardt
Universität der Bundeswehr München*

Einleitend wird eine Übersicht und Systematik der bei der HGÜ angewendeten Stromrichtertypen gegeben. Beginnend mit den netzgeführten Stromrichtern mit Thyristor-Ventilen, welche sich vorwiegend für HGÜ-Zweipunkt-Verbindungen eignen, werden die Entwicklungsstufen der selbstgeführten Stromrichter mit IGBT- und IGCT-Halbleiterschaltern erläutert. Deren neueste Entwicklungsstufe ist in Form der modularen Multilevel-Stromrichter (MMC) zukünftig insbesondere für die Netzintegration großer Off-Shore-Windparks und solarthermischer Kraftwerke erforderlich. Diese Stromrichtertypen ermöglichen sowohl die dynamische Spannungsstabilisierung und Blindleistungskompensation als auch die Realisierung künftiger, vermaschter HGÜ-Netze. In diesem Zusammenhang werden die theoretischen Grundlagen, die ersten technischen Anwendungen sowie die zukünftigen Entwicklungen selbstgeführter, modularer Multilevel-Stromrichter dargestellt und erläutert.

Entwicklung der Thyristor – Bauelemente bei BBC/ABB

*Prof. Dr. Sc. techn. André Jaecklin
(ehem. BBC/ABB) Ennetbaden/Schweiz*

Die Realisierung von Stromrichterventilen auf der Basis von Halbleiter-Bauelementen hatte der HGÜ anfangs der 70-er Jahre zu einem ersten grossen Entwicklungsschub verholfen, vor allem dank erhöhter Zuverlässigkeit und geringerem Wartungsaufwand gegenüber der Quecksilberdampf-Technik. Insbesondere die Beherrschung von hohen Spannungen und grossen Strömen pro Bauelement gehörten zu den Schlüsselgrössen, anfangs der 80-er Jahre geprägt durch den erstmaligen Einsatz grosser, unzerteilter Siliziumscheiben (100 mm Φ). Zusammen mit der Optimierung von weiteren anwendungsorientierten Eigenschaften hat sich diese Entwicklung bis in die jüngste Vergangenheit fortgesetzt.

Entwicklung der Thyristor-Bauelemente bei Siemens/Infineon

*Dipl.-Ing. Jörg Dorn,
Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, Warstein*

Über Jahrzehnte bereits hat sich der Einsatz von Thyristoren in HGÜ-Stromrichtern bewährt, da diese Leistungshalbleiter über eine herausragende Zuverlässigkeit, große Robustheit sowie enorme Leistungsfähigkeit mit niedrigen Verlusten verfügen und einfach anzusteuern sind. Deshalb kommen Thyristoren auch in vielen neuen und zukünftigen HGÜ-Systemen zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund werden im Vortrag die wesentlichen Innovationsschritte dieser Bauelemente bei Siemens/Infineon und der aktuelle Stand der Technik aufgezeigt.

Entwicklung und Zukunft des Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT)

*Dr. Ing. Gerhard Miller
Infineon AG, Neubiberg*

Der Inhalt befasst sich mit den Anfängen in den 80-er Jahren und zeigt die Entwicklung hinsichtlich Technologie und Performance über die Generationen auf. Außerdem wird ein Einblick in die nächsten Entwicklungen und ein Ausblick auf die nächsten Jahre aus Infineon-Sicht gegeben werden.

Aufbau, Kühlung und Ansteuerung der HGÜ-Ventile

*Dipl.-Ing. Peter Lips
(ehem. BBC, Siemens), Adelsdorf*

Trotz der Fortschritte in der Halbleitertechnologie müssen auch heute noch viele Thyristoren elektrisch in Reihe geschaltet werden, um die für die Hochspannungsübertragung nötigen hohen Ventilspannungen zu realisieren. Damit haben alle Bauelemente unterschiedliche Potentiale gegen Erde und es sind besondere Herausforderungen hinsichtlich gleichzeitiger Ansteuerung, Kühlmittelverteilung und Isolation zu meistern.

Gleichstromkabel für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

*Dr.-Ing. Christian Frohne
Nexans Deutschland GmbH, Hannover*

*Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, Hannover*

Kabel sind mögliche Übertragungssysteme für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, da hier, im Gegensatz zu Wechselspannung, keine Grenze der Kabellänge gegeben ist. Die Entwicklung der Kabelisoliersysteme für Gleichspannung wird unter Berücksichtigung der besonderen elektrischen Belastung bei Gleichspannung und der Entwicklung der HGÜ Technologie im Hinblick auf die Feldstärkeverteilung bei Gleichspannung und bei möglichen Polaritätswechseln betrachtet.

HGÜ-Anlagen der Siemens AG

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Retzmann, Siemens AG, Erlangen

HGÜ-Anlagen der ABB AG

Prof. Dr.-Ing. Jochen Kreusel, ABB AG, Mannheim

Was vor 75 Jahren als Speziallösung für große Übertragungsentfernungen und Seekabelverbindungen begann, entwickelt sich zu einer entscheidenden Komponente zukünftiger Elektrizitätsversorgungssysteme. Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung erlaubt heute nicht mehr nur die hocheffiziente Übertragung größter Leistungen über weite Entfernungen, vielmehr ermöglicht sie die weitere Netzentwicklung zum Smart Grid bis hin zum Super Grid. Gleichstrom ist nachhaltig, effizient und hilft, Engpässe im Netz zu überwinden. Mit der jüngeren Entwicklungslinie, der selbstgeführten HGÜ, hat sie sich in den zurückliegenden Jahren für eine Vielzahl von Aufgaben qualifiziert. Beispiele sind die Verbindung und Stützung schwacher Drehstromnetze, die Anbindung von Offshore-Windparks oder auch die Realisierung deutlich günstigerer Kabelverbindungen als in der Vergangenheit. Darüber hinaus ist sie auch für die Anwendung in künftigen Gleichstromnetzen geeignet. Dies wird an Beispielen aus aktuellen Projekten erläutert.

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen als Verbindung in Übertragungsnetzen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner, Technische Universität Wien

Aufgaben im Verbundnetz: Verbinden asynchroner Netze, gerichtete Hochleistungsübertragung zwischen Erzeugungs- und Verbrauchszentren, Vergleich von HGÜ und DGÜ: Übertragungsleistungen, Leistungssteuerung, Pendeldämpfung. Vergleich von DHÜ- und HGÜ-Freileitungen und –Kabeln. Erfahrungen mit den ersten Kurzkuppungen in Österreich zwischen UCTE und GUS. Zukünftige Aufgaben der Übertragungsnetze bei massivem Ausbau der erneuerbaren Energien: Netzverstärkung, Netzausbau [HGÜ und DHÜ]. Wie sieht das Supergrid in Europa aus?

Energiemesstechnik in der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Dipl.-Ing. Johann Meisner, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Bisher werden HGÜ-Strecken weitestgehend als Punkt-zu-Punkt Verbindungen ausgelegt. Dies ermöglicht die einfache Messung der übertragenen Energie auf der Wechselspannungsseite. Jedoch wird mehr und mehr über vermaschte HGÜ-Netze diskutiert, um so eine optimale Energieverteilung in einem Gebiet mit Energiequellen und -senken zu gewährleisten. Dies stellt die Messtechnik vor neue Aufgaben. Sowohl für die Erfassung der Energie an den Knotenpunkten eines solchen HGÜ-Netzes als auch für die Bestimmung der Verlustleistung im Netz und an den Umrichterstationen gilt es, zeitgemäße Messkonzepte zu finden. Im Zuge eines europäischen Projektes wird die PTB zusammen mit Beteiligung von sieben nationalen Meteorologieinstituten in den kommenden Jahren umfangreiche Arbeiten zur HGÜ-Metrologie durchführen. Dabei geht es um die Erarbeitung von objektiven Bewertungskriterien für die Wirtschaftlichkeit einer HGÜ durch rückführbare Messtechnik. Weiterhin wird das Gebiet der DC-Hochspannungsteiler bis zu 1 MV und der Breitband-Teiler zur Erfassung der Harmonischen auf hohen Gleichspannungen bearbeitet. Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten bildet die Entwicklung von Abrechnungsmesstechnikkonzepten mit Gleichstromwandlern und Zählern sowie die Schaffung von auf nationale Normale rückgeführten Eichmöglichkeiten. Nach einem kurzen Rückblick auf die Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichs- bzw. Bundesanstalt zum Thema Gleichstromenergiemesstechnik erläutert der Vortrag das gegenwärtige und geplante PTB-Engagement auf dem Gebiet der HGÜ.

HGÜ-Vorhaben in Deutschland

Angesichts der Herausforderungen des anstehenden Netzausbaues in Deutschland (Energiewende, Elektromobilität) soll ein Überblick über bedeutende laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Projekte der HGÜ in Deutschland vermittelt werden, wobei sowohl bisher verwirklichte HGÜ-Anlagen als auch in der Diskussion befindliche, erwogene und geplante Fern- und Kabelübertragungen bezeichnet werden sollen. Für die Diskussion hilfreich ist eine Zusammenfassung grundlegender Fakten zur Energiesituation in Deutschland und der sich hieraus ergebenden Notwendigkeiten der Energieübertragung mit Gleichstrom.