

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>DIN IEC 61975<br/>(VDE 0553-975)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>DIN</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Diese Norm ist zugleich eine <b>VDE-Bestimmung</b> im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden. | <b>VDE</b> |
| ICS 29.240.01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Einsprüche bis 2008-12-31                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <div>Entwurf</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <b>Systemprüfungen für Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)<br/>(IEC 22F/167/CD:2008)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| System tests for high-voltage direct current (HVDC) installations<br>(IEC 22F/167/CD:2008)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <b>Anwendungswarnvermerk</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-10-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Stellungnahmen werden erbeten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>– vorzugsweise als Datei per E-Mail an <b>dke@vde.com</b> in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <b>www.dke.de/stellungnahme</b> abgerufen werden</li><li>– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</li></ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| Gesamtumfang 77 Seiten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
| DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |

## Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

## Inhalt

|                                                                                    | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 Anwendungsbereich .....                                                          | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                     | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                   | 7     |
| 3.1 Begriffe zur Einteilung von Prüfungen .....                                    | 7     |
| 3.2 Begriffe für den Betriebszustand .....                                         | 7     |
| 4 Allgemeines .....                                                                | 8     |
| 4.1 Zweck .....                                                                    | 8     |
| 4.2 Aufbau des HGÜ-Systems .....                                                   | 9     |
| 4.3 Aufbau des Regel- und Schutzsystems .....                                      | 10    |
| 4.4 Folgerichtige Schritte der Systemprüfung .....                                 | 10    |
| 4.5 Gliederung der Systemprüfung .....                                             | 12    |
| 4.6 Gliederung der Norm zur Inbetriebnahme des Systems .....                       | 12    |
| 4.7 Vorbedingungen für die Prüfung am Einsatzort .....                             | 12    |
| 5 Prüfung der Stromrichterstation .....                                            | 15    |
| 5.1 Allgemeines .....                                                              | 15    |
| 5.2 Prüfung der Stromrichtergruppe .....                                           | 16    |
| 5.3 Betrieb von induktiven Bauteilen .....                                         | 18    |
| 5.4 Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems .....                      | 18    |
| 5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit .....                                       | 20    |
| 5.6 Auslöseprüfung .....                                                           | 21    |
| 5.7 Leerlaufprüfung .....                                                          | 22    |
| 5.8 Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren .....                                    | 24    |
| 5.9 Kurzschlussprüfung .....                                                       | 25    |
| 6 Übertragungsprüfungen .....                                                      | 26    |
| 6.1 Übertragungsprüfungen mit Niederspannung .....                                 | 26    |
| 6.2 Umschaltung zur Bedienung .....                                                | 34    |
| 6.3 Umstellungen der Gleichstromkonfiguration .....                                | 40    |
| 6.4 Schalten der Betriebsmittel des Hauptstromkreises .....                        | 42    |
| 6.5 Dynamisches Betriebsverhalten .....                                            | 46    |
| 6.6 Abgestufte Fehlzustände von Wechselstrom- und Gleichstromsystemen .....        | 55    |
| 6.7 Ausfall von Telekommunikations-, Hilfs- oder redundanten Betriebsmitteln ..... | 59    |
| 6.8 Hochleistungs-Übertragungsprüfungen .....                                      | 62    |
| 6.9 Abnahmeprüfungen .....                                                         | 66    |
| 7 Probetrieb .....                                                                 | 73    |

|                                                                                   | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 7.1 Einleitung .....                                                              | 73    |
| 7.2 Zweck der Prüfung.....                                                        | 73    |
| 7.3 Vorbedingungen für die Prüfung.....                                           | 73    |
| 7.4 Prüfverfahren .....                                                           | 73    |
| 7.5 Abnahmekriterien für die Prüfung.....                                         | 74    |
| 8 Systemprüfplan und Dokumentation .....                                          | 74    |
| 8.1 Einleitung .....                                                              | 74    |
| 8.2 Dokumentation der Anlage und Bedienungshandbücher.....                        | 74    |
| 8.3 Berichte über Systemuntersuchungen und technische Spezifikationen .....       | 74    |
| 8.4 Kontroll- und Prüfplan.....                                                   | 75    |
| 8.5 Systemprüfprogramm .....                                                      | 75    |
| 8.6 Prüfverfahren für jede Prüfung .....                                          | 76    |
| 8.7 Dokumentation der Systemprüfsergebnisse .....                                 | 76    |
| 8.8 Änderungsbericht.....                                                         | 77    |
| <br>                                                                              |       |
| Bild 1 – Beziehung zwischen den fünf Hauptaspekten der Systemprüfung.....         | 9     |
| Bild 2 – Aufbau des HGÜ-Systems.....                                              | 10    |
| Bild 3 – Aufbau des HGÜ-Regel- und -Schutzsystems .....                           | 10    |
| Bild 4 – Gliederung der Systemprüfung.....                                        | 14    |
| Bild 5 – Ablauf von Übertragungsprüfungen mit Niederspannung .....                | 28    |
| Bild 6 – Prüfung der Sprungantwort der Stromregelung am Gleichrichter .....       | 49    |
| Bild 7 – Prüfung der Sprungantwort der Löschwinkelregelung am Wechselrichter..... | 49    |
| Bild 8 – Prüfung der Sprungantwort der Stromregelung am Wechselrichter.....       | 50    |
| Bild 9 – Prüfung der Sprungantwort der Leistungsregelung am Gleichrichter .....   | 51    |

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22F/167/CD:2008 „System tests for high-voltage direct current (HVDC) installations“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine autorisierte deutsche Übersetzung.

Das internationale Dokument wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE ([www.dke.de](http://www.dke.de)) zuständig.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

| Europäische Norm | Internationale Norm | Deutsche Norm                   | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| EN 60633:1999    | IEC 60633:1998      | DIN EN 60633:2000-04            |                                        |
| EN 60700-1       | IEC 60700-1         | DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1)     | VDE 0553-1                             |
| –                | IEC 60919-1         | –                               | –                                      |
| –                | IEC 60919-2         | –                               | –                                      |
| –                | IEC 60919-3         | –                               | –                                      |
| EN 61803         | IEC 61803           | DIN EN 61803                    | –                                      |
| EN 61000-4-3     | IEC 61000-4-3       | DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847-4-3) | VDE 0847-4-3                           |

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN 60633:2000-04, *Terminologie für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ)* (IEC 60633:1998); Deutsche Fassung EN 60633:1999

DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1), *Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ) – Teil 1: Elektrische Prüfung*

DIN EN 61803, *Bestimmung der Leistungsverluste in Hochspannungsgleichstrom-(HGÜ-) Stromrichterstationen*

DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847-4-3), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder*

# Systemprüfungen für Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Norm gilt für Systemprüfungen für Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ), die aus einem Sende-Anschlusspunkt und einem Empfangs-Anschlusspunkt bestehen, die jeweils an ein Wechselstromsystem angeschlossen sind.

Die in der vorliegenden Norm festgelegten Prüfungen beruhen auf bidirektionalen und bipolaren HGÜ-Anlagen, die aus einem Sende-Anschlusspunkt und einem Empfangs-Anschlusspunkt bestehen, die jeweils an ein Wechselstromsystem angeschlossen sind. Die Prüfanforderungen und Abnahmekriterien für Kurzschlusskopplungen sollten vereinbart werden, während Mehrpunktsysteme und Wechselrichter mit Spannungszwischenkreis in dieser Norm nicht behandelt werden. Mit Ausnahme der bipolaren Prüfungen gilt die Norm für HGÜ-Monopolanlagen.

Für Sonderfunktionen oder für ein besonderes Betriebsverhalten, die/das für spezielle Projekte gefordert werden/wird, sollten nach den Anforderungen der technischen Spezifikation bestimmte zusätzliche Prüfungsaspekte hinzugefügt werden, die in der vorliegenden Norm nicht enthalten sind.

Diese Norm dient nur als Leitfaden für Systemprüfungen für HGÜ-Anlagen. Sie gibt möglichen Anwendern eine Anleitung für die Planung der Maßnahmen zur Inbetriebnahme. Die im Leitfaden beschriebenen Prüfungen sind mitunter nicht für alle Projekte anwendbar, sie geben aber einen Bereich möglicher Prüfungen an, die in Betracht gezogen werden sollten.

Deshalb sollten Projektierungsstellen nach Möglichkeit ein eigenes Prüfprogramm auf der Grundlage dieses Leitfadens aufstellen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60633, 1998, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) power transmission*

IEC 60700-1, *Thyristor valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical test*

IEC 60919-1, *Thyristor valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical test*

IEC 60919-2, *Thyristor valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 2: Faults and switching*

IEC 60919-3, *Thyristor valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 3: Dynamic conditions*

IEC 61803, *Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Test of thyristor valves for static VAR compensators*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung von IEC 61975 gelten folgende Begriffe.

#### 3.1 Begriffe zur Einteilung von Prüfungen

##### 3.1.1

##### **Stationsprüfung**

wird auch als Systemprüfung der Stromrichterstation bezeichnet und umfasst die Aspekte, die die Funktion der einzelnen Betriebsmittel der Stromrichterstation unter Spannung nachweisen

##### 3.1.2

##### **Systemprüfung**

zum Nachweis der Funktionen und des Betriebsverhaltens des HGÜ-Systems als Ganzes sowie der Wechselwirkung mit angrenzenden Wechselstromsystemen

##### 3.1.3

##### **Übertragungsprüfungen**

zum Nachweis der Funktionen und des Betriebsverhaltens des HGÜ-Systems bei der Übertragung von Energie zwischen beiden Anschlusspunkten; wird auch als Verbindungsprüfung bezeichnet

#### 3.2 Begriffe für den Betriebszustand

In Gleichstromsystemen gibt es fünf definierte Zustände: geerdet, stillgesetzt, Bereitschaft, blockiert, de-blockiert.

##### 3.2.1

##### **geerdet**

geerdeter Zustand, in dem der Pol oder der Stromrichter auf der Wechselstrom- und der Gleichstromseite potentialgetrennt und geerdet und keine Einschaltung des Pols oder des Stromrichter-Betriebsmittels möglich ist, bietet die notwendige Sicherheit zur Durchführung von Instandhaltungsarbeiten und ist der einzige Zustand, in dem die Instandhaltung des Pols oder des Stromrichters möglich ist. In diesem Zustand sind Instandhaltungsarbeiten an den Stromrichter-Transformatoren, an Betriebsmitteln am potentialgetrennten und geerdeten Teil der Hochspannungs-Wechselstromschiene, an Gleichspannungs-Betriebsmitteln und Betriebsmitteln, die in der Ventilhalle aufgestellt sind, dieses Pols oder Stromrichters möglich.

##### 3.2.2

##### **stillgesetzt/potentialgetrennt**

Im stillgesetzten/potentialgetrennten Zustand ist der Pol oder der Stromrichter von der Wechselstrom- und der Gleichstromseite getrennt, aber alle Erdungsschalter sind geöffnet. Die Gleichstrom-Freiluftanlage kann zur Energieübertragung vorbereitet werden (Anschluss von Erdelektrodenleitung, Pol und Gleichstromleitung).

##### 3.2.3

##### **Bereitschaft**

Der Bereitschaftszustand ist anzuwenden, wenn das Gleichstromsystem nicht zur Energieübertragung benutzt wird. Der Stromrichter-Transformator ist einzuschalten; der Stufenschalter wird selbsttätig in die Anlaufstellung gebracht, wodurch sichergestellt ist, dass der Transformator mit der Mindestspannung eingeschaltet wird, um den Einschaltstromstoß so gering wie möglich zu halten. Der Trennschalter des Wechselstromschaltfeldes sollte geschlossen sein, aber die Leistungsschalter im Einspeisungsschaltfeld des Stromrichter-Transformators sollten geöffnet sein. In diesem Zustand kann die Gleichstromkonfiguration noch verändert werden (Anschluss von Erdelektrodenleitung, Pol und Gleichstromleitung).

##### 3.2.4

##### **blockiert**

Im blockierten Zustand wird der Pol darauf vorbereitet, im richtigen Moment mit der Übertragung von Energie zu beginnen. Der Stromrichter-Transformator wird durch das Schließen des entsprechenden Leistungsschalters an die unter Spannung stehende Wechselstromschiene angeschlossen. Das Ventilkühlsystem ist

betriebsbereit, wenn die Leitfähigkeit und die Temperatur des Kühlwassers innerhalb festgelegter Grenzwerte liegen. Es muss eine definierte Gleichstromkonfiguration aufgestellt worden sein. In diesem Zustand sind keine weiteren Änderungen mehr möglich. Nach der Einschaltung des Stromrichter-Transformators wird eine Vorprüfung des Thyristors durchgeführt. Diese Vorprüfung wird als bestanden angesehen, wenn in keinem Ventilzweig die Redundanz verloren gegangen ist. Die wählbaren Zustände, in die vom blockierten Zustand aus gewechselt werden kann, sind der stillgesetzte Zustand, der Bereitschaftszustand und der deblockierte Zustand.

### 3.2.5

#### **deblockiert**

Im deblockierten Zustand gibt es zwei Betriebsarten, und zwar Energieübertragung und Leerlaufprüfung. Energieübertragung ist die normale Betriebsart. Im deblockierten Zustand überträgt der Pol in der normalen Betriebsart Energie, wenn beide Anschlusspunkte deblockiert sind und eine Spannungsdifferenz zwischen ihnen besteht. Es sollte eine Mindestanzahl von Drehstromfiltern zur Verfügung stehen.

## 4 Allgemeines

### 4.1 Zweck

Die Systemprüfung vervollständigt die Inbetriebnahme eines HGÜ-Systems.

Der Lieferant kann die Eignung der errichteten Betriebsmittel der Station und die Vollständigkeit der Funktionen des Systems nachweisen. Darüber hinaus können Einstellungen und Optimierungen vorgenommen werden.

Für den Anwender wird nachgewiesen, dass die vertraglichen Anforderungen und Bestimmungen erfüllt werden und dass eine Übereinstimmung mit den Untersuchungen und vorausgegangenen Prüfungen außerhalb des Einsatzorts besteht.

Für den Anwender kennzeichnet der Abschluss der Systemprüfung den Beginn des wirtschaftlichen Einsatzes des HGÜ-Systems.

Für die Anpassung des HGÜ-Systems an die angeschlossenen Wechselstromsysteme gibt es mehrere Randbedingungen, die die Abstimmung der Kostenpläne der Betreiber der Wechselstromsysteme erfordern. Systemprüfungen weisen der Öffentlichkeit nach, dass zulässige Werte von Erscheinungen, die das öffentliche Interesse betreffen, nicht überschritten werden.

Es gibt fünf Hauptaspekte, die den Systemprüfungen unterzogen werden:

- a) Betriebsmittel der HGÜ-Station und Gleichstromleitung/-kabel/-schiene einschließlich Erdelektrode, soweit vorhanden;
- b) HGÜ-Regel- und -Schutzeinrichtungen und deren Stellwerte;
- c) Umweltbetrachtungen;
- d) Wechselwirkung zwischen Wechselstrom- und Gleichstromsystem;
- e) Betriebsverhalten des Systems beim gemeinsamen Betrieb mit dem angeschlossenen Wechselstromsystem.

Die Wechselwirkung zwischen diesen Aspekten ist im Bild 1 dargestellt.

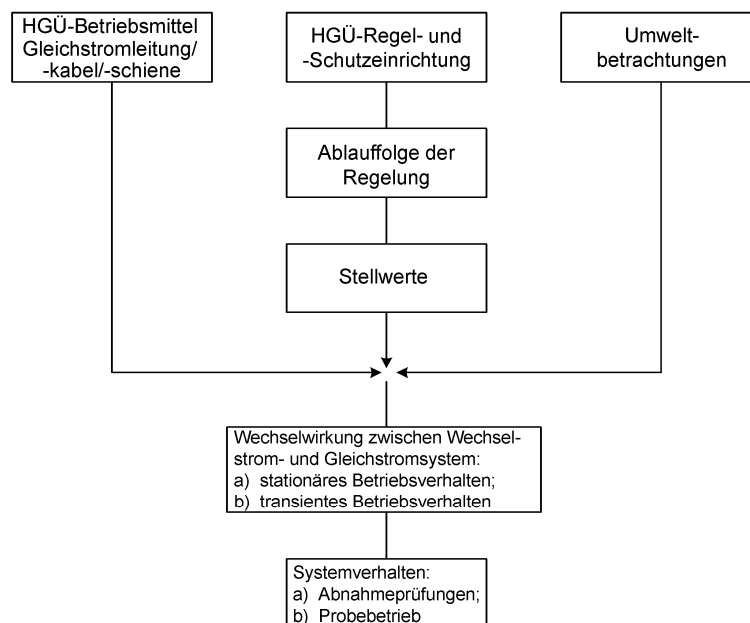


**Bild 1 – Beziehung zwischen den fünf Hauptaspekten der Systemprüfung**

Die umfassende und vollständige Systemprüfung der angegebenen Komponenten kann mit den in der Norm beschriebenen Prüfungen durchgeführt werden.

Abnahmeprüfungen müssen zwischen Lieferant und Anwender im Voraus festgelegt werden und dürfen zu einem geeigneten Zeitpunkt im Prüfplan durchgeführt werden.

Systemprüfungen können mehr Beteiligte betreffen als die jeweiligen Vertragspartner. Diese Beteiligten müssen rechtzeitig informiert werden.

Die Komplexität und die von der Systemprüfung betroffenen verschiedenartigen Bereiche erfordern eine umfassende Vorbereitung und Planung des zeitlichen Ablaufes, die Zusammenarbeit aller beteiligten Partner sowie eine vollständige und übersichtliche Dokumentation.

## 4.2 Aufbau des HGÜ-Systems

Vom Standpunkt der Funktion aus betrachtet, besteht ein HGÜ-System aus einem Sende-Anschlusspunkt und einem Empfangs-Anschlusspunkt, die jeweils an ein Wechselstromsystem angeschlossen sind. An diese beiden Anschlusspunkte sind auf der Gleichstromseite in Reihe und auf der Wechselstromseite parallel ein oder mehrere Stromrichter angeschlossen. Die Anschlusspunkte sind mit einer Übertragungsleitung, einem Kabel oder einem kurzen Stück einer Sammelschiene (Kurzakupplung) verbunden. Mehrpunktsysteme werden in der vorliegenden Norm nicht behandelt.

Der Aufbau des HGÜ-Systems ist im Bild 2 dargestellt:

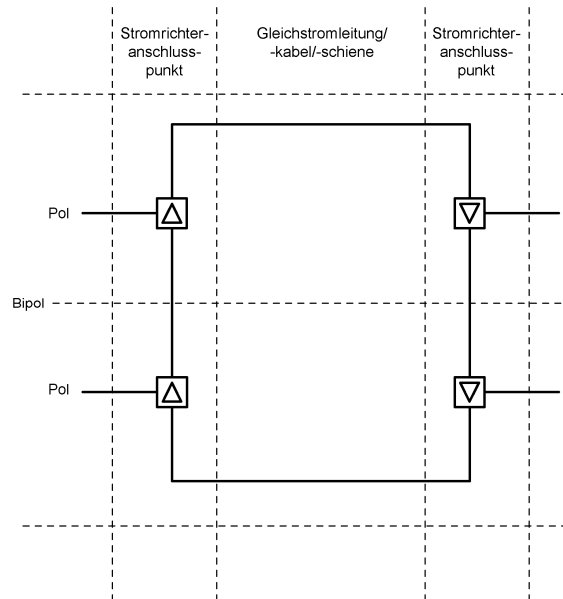


Bild 2 – Aufbau des HGÜ-Systems

#### 4.3 Aufbau des Regel- und Schutzsystems

Jede der Stromrichtergruppen kann einzeln gesteuert werden. Um die Systemfunktion als Energieübertragungssystem zu erfüllen, sollten die Stromrichtergruppen koordiniert von einem übergeordneten Regelsystem aus gesteuert werden. Koordinierte Regel- und Schutzeinrichtungen sind maßgeblich für die einwandfreie Funktion des HGÜ-Systems.

Der Aufbau des HGÜ-Regel- und -Schutzsystems ist im Bild 3 dargestellt.

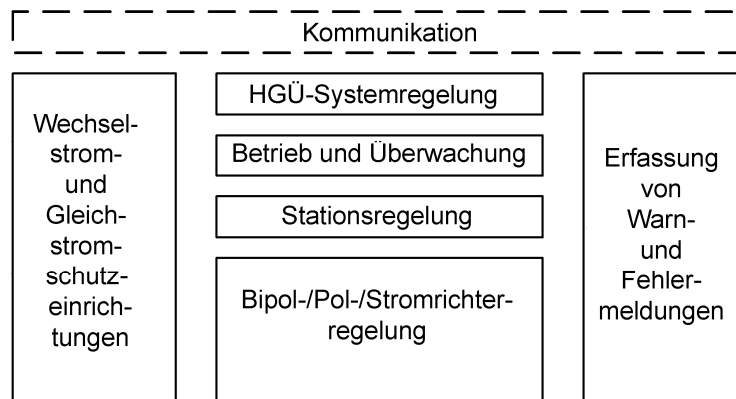


Bild 3 – Aufbau des HGÜ-Regel- und -Schutzsystems

#### 4.4 Folgerichtige Schritte der Systemprüfung

Um die einwandfreie Funktion sicherzustellen, sollten die Typprüfung und die Prüfung des funktionellen Betriebsverhaltens im Werk durchgeführt werden, damit vor der Prüfung am Einsatzort die Fehler im Regelsystem beseitigt werden und das Regelsystem überprüft wird.

Zur Bereitstellung von Daten über das Verbundnetz und zur Unterstützung der Erarbeitung des Systemprüfplanes sollte vor und während der Simulationsprüfung die unabhängige digitale Simulation durchgeführt werden, vor allem eine Analyse des Leistungsflusses, der Stabilität und der Überspannungen.

Unter Berücksichtigung der Komplexität des HGÜ-Systems sollten auf dem Echtzeitsimulator sämtliche Grenzlastfälle auf ähnliche Weise simuliert werden, wie sie am Einsatzort vorliegen.

Die Inbetriebnahme eines HGÜ-Systems kann mehr Beteiligte betreffen als die jeweiligen Vertragspartner. Die Komplexität und die von der Systemprüfung betroffenen verschiedenartigen Bereiche erfordern eine umfassende Vorbereitung und Planung des zeitlichen Ablaufes, die Zusammenarbeit aller beteiligten Partner sowie eine vollständige und übersichtliche Dokumentation. Bevor die Systemprüfung am Einsatzort beginnen kann, sollten die nachfolgend angegebenen Vorbedingungen in Bezug auf die Prüfungen der Teilsysteme, die Ausbildung der Bedienpersonen und die Sicherheitsanweisungen, den Systemprüfplan und die Systemprüfverfahren und alle erforderlichen Prüfeinrichtungen erfüllt sein.

- a) Alle Teilsysteme sollten geprüft und in Betrieb genommen worden sein einschließlich von Drehstromfiltern und Stromrichter-Transformatoren und unter besonderer Beachtung von möglichen Resonanzen des Transformators oder der Drehstromfilter bei der Einschaltung.
- b) Das Betriebspersonal sollte ausreichend geschult sein.
- c) Es sollten Betriebsanweisungen für die Station zur Verfügung zu stehen.
- d) Es sollten Anweisungen für das Personal und für die Anlagensicherheit sowie Sicherheitsanweisungen vorliegen.
- e) Der Systemprüfplan und die Dokumentation (Abschnitt 8) sollten vereinbart worden sein und vorliegen.
- f) Für jede Prüfung sollten Wechselstrom/Gleichstrom-Leistungsprofile vereinbart worden sein.
- g) Sämtliche Randbedingungen für den Betrieb des Wechselstrom-/Gleichstromsystems sollten bestimmt worden sein.
- h) Es sollte eine Sprachkommunikation zwischen den Bedienpersonen möglich sein.
- i) Sämtliche erforderlichen Prüfeinrichtungen sollten kalibriert und in Betrieb sein.
- j) Verfahren zur Vorbereitung und Bewertung der Prüfergebnisse sollten vereinbart worden sein.

Systemprüfungen am Einsatzort sollten sich nach dem Aufbau des HGÜ-Systems richten und bei der kleinsten und am wenigsten komplexen Betriebseinheit beginnen, die gewöhnlich ein 12-Puls-Stromrichter ist, und mit dem betriebenen Gesamtsystem enden. Die Prüffolge sollte so geplant werden, dass sie auf der örtlichen Ebene mit einfachen Prüfungen beginnt, bevor weitere Orte und das Übertragungssystem einbezogen werden und komplexere Prüfungen durchgeführt werden.

Wenn alle Vorbedingungen erfüllt sind, sollten die Prüfungen der Stromrichterstation erfolgen, die mit einer Prüfung der Stromrichterbaugruppe einschließlich der Einschaltung von Drehstromfilter und Gleichstrom-Freiluftanlage beginnt, gefolgt von der Prüfung der elektromagnetischen Beeinflussung, der Auslöseprüfung, der Prüfung der Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems, der Leerlaufprüfung, der Kurzschlussprüfung und der Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren usw.

Eine Energieübertragungsprüfung (auch Verbindungsprüfung) sollte mit einem Monopol beginnen und bis zum Bipolbetrieb mit voller Energie als Endstufe fortgeführt werden.

Wenn das Gesamtsystem ordnungsgemäß arbeitet, kann das stationäre Betriebsverhalten überprüft werden. Mit Rampenstellwerten für den Normalbetrieb und mit selbsttätigen Schaltfolgen können die Auswirkung einer Anzahl von Störungen auf der Gleichstromseite des Systems sowie im Wechselstromsystem geprüft und die Wiederherstellung nach transienten Vorgängen oder Fehlzuständen nachgewiesen werden.

Abnahmeprüfungen müssen zwischen Lieferant und Anwender im Voraus festgelegt werden und dürfen im Prüfplan zu einem geeigneten Zeitpunkt durchgeführt werden.

Die Abnahmeprüfungen, die nachweisen sollen, ob die Abnahmekriterien erfüllt worden sind, dürfen alle oder teilweise in der Phase der Inbetriebnahme durchgeführt werden. Um eine unnötige Wiederholung solcher Prüfungen zu vermeiden, sollte vorher genau abgewogen werden, wann Abnahmeprüfungen durchgeführt werden.

Falls noch Abnahmeprüfungen offen sind oder aufgrund von Änderungen wiederholt werden müssen, sollten diese wie zweckmäßig bei der Übertragungsprüfung oder nach dem Probetrieb durchgeführt werden.

## E DIN IEC 61975 (VDE 0553-975):2008-10

Der ordnungsgemäße Betrieb des HGÜ-Systems über einen längeren Zeitraum wird beim Probetrieb überprüft.

Die Projektdokumentation muss zur Unterstützung von Lieferant und Anwender eine vollständige und übersichtliche Dokumentation der Systemprüfungen und alle erforderlichen Datensätze, Protokolle usw. und gegebenenfalls Kommentare und Verweisungen enthalten.

Nach dem Abschluss aller genannten HGÜ-Systemprüfungen sind sämtliche Funktionen überprüft worden und das HGÜ-System kann dem Betreiber übergeben werden.

### 4.5 Gliederung der Systemprüfung

Die Gliederung der Systemprüfung ist im Bild 4 dargestellt.

### 4.6 Gliederung der Norm zur Inbetriebnahme des Systems

Die Norm ist in acht Abschnitte gegliedert:

- a) Abschnitt 1 – Anwendungsbereich
- b) Abschnitt 2 – Normative Verweisungen
- c) Abschnitt 3 – Begriffe
- d) Abschnitt 4 – Allgemeines

In diesem Abschnitt werden der Zweck dieses Dokumentes, der Aufbau des HGÜ-Systems, der Aufbau des Regel- und Schutzsystems, die folgerichtigen Schritte der Inbetriebnahme, die Gliederung der Systemprüfung und die Gliederung der Norm zur Inbetriebnahme des Systems beschrieben.

- e) Abschnitt 5 – Prüfung der Stromrichterstation

Diese Prüfung betrifft die Inbetriebnahme der Stromrichtergruppen und den Nachweis des stationären Betriebsverhaltens der Gruppen sowie die Schaltprüfungen.

- f) Abschnitt 6 – Prüfung der Energieübertragung

Diese Prüfung betrifft die Inbetriebnahme des Übertragungssystems und den Nachweis der Stationsabstimmung, des stationären und des dynamischen Betriebsverhaltens, von Störungen sowie der Wechselwirkung zwischen Gleichstrom- und Wechselstromsystem.

- g) Abschnitt 7 – Probetrieb

Nach dem Abschluss der Systemprüfung ist im Normalfall für den Nachweis der normalen Übertragung ein Probetrieb vorgegeben.

- h) Abschnitt 8 – Systemprüfplan und Dokumentation

Die Abschnitte 5 bis 7 umfassen einzelne Hauptabschnitte wie Einleitung, Zweck, Vorbedingungen und Verfahren sowie Abnahmekriterien für den allgemeinen Teil sowie eine genaue Beschreibung der einzelnen Prüfungen.

### 4.7 Vorbedingungen für die Prüfung am Einsatzort

#### 4.7.1 Systemprüfungen im Werk vor Systemprüfungen am Einsatzort

Dieser Abschnitt beschreibt die Inbetriebnahme der HGÜ-Regeleinrichtungen im Werk einschließlich einer Echtzeit-Simulationsprüfung.

Im Anschluss an die Stückprüfung der Regel- und Schutzeinrichtungen des HGÜ-Systems wird in der üblichen Praxis die Funktion der HGÜ-Regel- und -Schutzeinrichtungen in einer Systemprüfung im Werk (Factory System Test, FST) (bestehend aus der Prüfung des funktionellen Betriebsverhaltens (Functional Performance Test, FPT) und der Prüfung des dynamischen Betriebsverhaltens (Dynamic Performance Test, DPT)) durchgeführt, bevor der Versand zum Einsatzort erfolgt.

Die Systemprüfung im Werk bietet die Möglichkeit der Einstellung der Parameter des Regelsystems und des Erzielens eines Nachweises für das Betriebsverhalten der Einrichtung in Bezug auf die festgelegten Anforderungen.

Außerdem kann das Betriebsverhalten der Schutzfunktionen des Stromrichters bei verschiedenen simulierten Fehlzuständen überprüft werden. Damit kann eine teilweise Inbetriebnahme der Betriebsmittel außerhalb des Einsatzortes erfolgen. Ferner bietet sich die Möglichkeit der Feststellung und Korrektur von Hardware- und Softwarefehlern oder -mängeln in den Regel- und Schutzsystemen.

| Prüfungen        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Aufbau                              |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Abnahmeprüfungen | <p align="center">Prüfung der Stromrichterstation</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Prüfung der Stromrichtergruppe <ul style="list-style-type: none"> <li>Drehstromfilter</li> <li>Kondensatorbatterien</li> <li>Drosselspulen</li> </ul> </li> <li>Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems</li> <li>elektromagnetische Verträglichkeit</li> <li>Auslöseprüfung</li> <li>Leerlaufprüfung</li> <li>Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren</li> <li>Kurzschlussprüfung</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                     |
|                  | <p align="center">Prüfung der Energieübertragung</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Grundbetrieb <ul style="list-style-type: none"> <li>Einschalt- und Ausschaltfolgen und stationärer Betrieb</li> <li>Schutzblockierungs- und -auslösefolgen</li> <li>Hoch-/Rücklauf von Leistung und Strom</li> </ul> </li> <li>Umschaltung des Bedienmodus <ul style="list-style-type: none"> <li>Regelort</li> <li>Regelverfahren</li> <li>Blindleistungsregelung</li> <li>Betriebsspannung</li> <li>selbsttätige Regelung der Gleichstromleistung</li> </ul> </li> <li>Umstellungen der Gleichstromkonfiguration</li> <li>Umschalten der Primärbetriebsmittel <ul style="list-style-type: none"> <li>Transformatoren und Stufenschalter</li> <li>Drehstromfilter und Geräte zur Blindleistungskompensation</li> <li>Gleichstromfilter</li> </ul> </li> <li>dynamisches Betriebsverhalten</li> <li>abgestufte Fehlzustände des Wechselstrom- und des Gleichstromsystems</li> <li>Ausfall der Telekommunikations-, Hilfs- oder redundanten Betriebsmittel</li> <li>stationäres Betriebsverhalten und Störungen <ul style="list-style-type: none"> <li>Messung der Systemparameter</li> <li>Blindleistungsregelung und Betriebsverhalten</li> <li>Überlastung/Erwärmung</li> <li>Oberwellenverhalten und Bemessung der Filterbauteile</li> <li>Geräusche</li> <li>Belastungsprüfungen</li> <li>Prüfung der elektromagnetischen Störungen</li> <li>Prüfung der Erdelektrode</li> </ul> </li> </ol> <p align="center">Probetrieb</p> | <p align="center">Konfiguration</p> |

**Bild 4 – Gliederung der Systemprüfung**

Bei der Systemprüfung im Werk dürfen ein Echtzeitsimulator und Softwaremodelle benutzt werden.

Bei der Systemprüfung im Werk muss das gesamte Regelsystem geprüft werden. Aufzeichnungsgeräte für Fehlzustände und Meldungsfolgeschreiber dürfen, wenn sie „eigenständige Betriebsmittel“ sind, nicht verwendet werden. Wenn diese Aufzeichnungsgeräte nicht Bestandteil der Systemprüfung im Werk sind, müsste die Gültigkeit der Ausgangssignale dieser Betriebsmittel bei der Prüfung überprüft werden.

Die Ermittlung und Korrektur von Hardware- und Softwarefehlern im Regelsystem sind eine wichtige Funktion der Prüfung außerhalb des Einsatzortes. Solche Fehler sind außerhalb des Einsatzortes eher zu ermitteln und zu korrigieren als bei der Inbetriebnahme. Die Korrektur solcher Fehler verringert die Wahrscheinlichkeit von Störungen des Energiesystems des Kunden während der Systemprüfung am Einsatzort.

#### **4.7.2 Zusätzliche Simulationsprüfung vor der Systemprüfung am Einsatzort**

Wenn sich der Zustand des Wechselstromnetzes in der Phase der Inbetriebnahme vom Zustand in der Phase der Projektierung der HGÜ unterscheidet, sollte zusätzlich eine Simulationsprüfung durchgeführt werden, wenn dies vom Betreiber festgelegt ist.

Zur Analyse von Kurzschlussleistung, Überspannungen und Leistungsfluss kann eine unabhängige Simulationssoftware benutzt werden, während für die vollständige Prüfung des funktionellen Betriebsverhaltens des Regelsystems der Echtzeitsimulator verwendet wird.

Die zusätzlichen Simulationen bieten die Möglichkeit:

- 1) der Einstellung der Parameter der Regelsysteme und der Durchführung einer Vorprüfung des Betriebsverhaltens der Einrichtung in Bezug auf die festgelegten Anforderungen;
- 2) der Prüfung des Betriebsverhaltens der Schutzfunktionen des Stromrichters bei verschiedenen simulierten Fehlzuständen;
- 3) der Feststellung und Korrektur von Hardware- und Softwarefehlern im Regelsystemen, die außerhalb des Einsatzortes einfacher zu ermitteln und zu korrigieren sind als bei der Inbetriebnahme, und der Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Störungen des Energiesystems des Kunden während der Systemprüfung am Einsatzort.

## **5 Prüfung der Stromrichterstation**

### **5.1 Allgemeines**

#### **5.1.1 Einleitung**

Dieser Abschnitt beschreibt die Prüfung jeder Stromrichterstation als Gruppe und die Überprüfung der HGÜ-Leitung vor der Energieübertragung. Diese Gruppe von Prüfungen wird vor der Verbindungsprüfung durchgeführt.

In das Prüfprogramm sollte gegebenenfalls die Übereinstimmung mit den Umweltspezifikationen einbezogen werden. Geräusche, Funkstörungen und TFH-Störpegel dürfen vorläufig untersucht werden und die Erwärmung der wichtigsten Betriebsmittel kann wie in Abschnitt 6 beschrieben überwacht werden. Die tatsächliche Messung der genannten Größen sollte jedoch im Verbindungsbetrieb erfolgen.

#### **5.1.2 Allgemeiner Zweck**

Die Prüfung der Stromrichterstation dient dem Nachweis des ordnungsgemäßen Betriebs einer einzelnen Stromrichterstation und der einwandfreien Isolierung sämtlicher Betriebsmittel des Hauptstromkreises vor dem Beginn der Energieübertragungsprüfungen.

Die Prüfungen der Stromrichterstation können eingeteilt werden in eine Betriebsprüfung mit Niederspannung, eine Betriebsprüfung mit Hochspannung, eine Leerlaufprüfung und Lastprüfungen.

#### 5.1.2.1 Betrieb mit Niederspannung/Nachweis der Phaseneinstellung

Zum Nachweis der Phaseneinstellung der Hauptstromkreisverbindungen des Stromrichters und der Stromrichter-Zündregelung kann vor dem Betrieb mit Hochspannung eine Betriebsprüfung mit Niederspannung durchgeführt werden. Diese Prüfung dient dem Nachweis der elektrischen Phaseneinstellung durch den Hauptstromkreis und das Regelsystem.

#### 5.1.2.2 Betrieb mit Hochspannung

Der Betrieb mit Hochspannung dient dem Nachweis dafür, dass in den Betriebsmitteln des Haupt-Wechselstrom- und des Haupt-Gleichstromkreises eine einwandfreie Spannungsfestigkeit erzielt wird.

#### 5.1.2.3 Leerlaufprüfung

Mit den Leerlaufprüfungen der Gleichstrom-Freiluftschaltanlage und des Gleichstrom-Übertragungsstromkreises kann nachgewiesen werden, dass die ordnungsgemäße Isolationsfestigkeit erreicht worden ist und dass Stromrichter-Zündregelung und Fußpunktelektronik einwandfrei arbeiten.

#### 5.1.2.4 Lastprüfung

Die Lastprüfung (Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren oder Kurzschlussprüfung) darf durchgeführt werden, wenn es vom Betreiber festgelegt worden ist, um eine vorläufige Überprüfung des Regelsystems, des Ventilkühlvermögens und des Hauptstromkreises in Bezug auf Erwärmung, Geräusche und Funkstörungen durchzuführen. Eine endgültige Prüfung erfolgt bei der Energieübertragungsprüfung.

#### 5.1.3 Allgemeine Vorbedingungen

Vor Beginn der Stromrichterprüfung müssen die folgenden Betriebsmittel spannungsfrei geprüft werden und verfügbar sein:

- a) Wechselstrom-Schaltanlage;
- b) Drehstromfilter, Kondensatorbatterien und Nebenschlusswiderstände;
- c) Gleichstromfilter und -Schaltanlage;
- d) Stromrichter-Transformatoren;
- e) Thyristorventile und Kühlsystem;
- f) Hilfsbetriebe der Station;
- g) Brandschutzsysteme;
- h) Wechselstrom- und Gleichstromschutzsysteme;
- i) Regelsystem;
- j) Gleichstromleitung oder -kabel (für die Leerlaufprüfung);
- k) Meldungsfolgeschreiber;
- l) Aufzeichnungs- und Warnmeldesystem;
- m) Aufzeichnungsgeräte für intermittierende Fehlzustände.

Vor den Stromrichterprüfungen sollten genaue Verfahrensabläufe und Pläne erarbeitet werden. Da die Prüfungen bestimmte Störungen oder eine erhöhte Gefahr für die angeschlossenen Wechselstromsysteme nach sich ziehen können, sollten die Betreiber der Systeme hinzugezogen werden.

### 5.2 Prüfung der Stromrichtergruppe

#### 5.2.1 Zweck der Prüfung

Mit der Prüfung wird nachgewiesen, dass die Isolationsfestigkeit erreicht worden ist und dass die elektrische Phaseneinstellung korrekt ist.

### 5.2.2 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Sämtliche Regel- und Schutzeinrichtungen im Zusammenhang mit den Hochspannungsbetriebsmitteln sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein. Kurz vor dem Betrieb mit Hochspannung ist eine Auslöseprüfung durchzuführen.
- b) Überwachungseinrichtungen müssen angeschlossen und betriebsbereit sein.
- c) Alle Klemmverbindungen müssen angezogen und die Isolatoren sauber gewischt worden sein.
- d) Der Trennschalter der HGÜ-Leitung muss geöffnet und verriegelt sein.
- e) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- f) Eine abschließende Sichtprüfung des Hochspannungsbetriebsmittels muss durchgeführt werden und die Zählernummern der Ableiter müssen aufgezeichnet werden.
- g) Die Niederspannungsseite der Ventile muss geerdet sein.

### 5.2.3 Prüfverfahren

#### 5.2.3.1 Betrieb mit Niederspannung

- a) Während der Prüfung müssen alle internen Bezugsspannungen in den Regeleinrichtungen und die Zündimpulse der Ventilregeleinheit (valve control unit, VCU) überwacht werden.
- b) Die Prüfung kann durchgeführt werden, indem auf der Primärseite oder auf der Ventilseite des Stromrichter-Transformators eine Spannung von 0,5 kV bis 10 kV angelegt wird, wobei fast alle Thyristoren in jeder Ventilstellung kurzgeschlossen werden.
- c) Als Last auf der Gleichstromseite kann ein entsprechender Widerstand oder eine entsprechende Drosselspule dienen.
- d) Jedes einzelne Ventil wird durch einen einzelnen Thyristorplatz dargestellt. Bei einer Betriebsprüfung mit Niederspannung werden die Ventile deblockiert und der Stromrichter wird im Normalbetrieb oder im Leerlauf betrieben.

ANMERKUNG Ein alternativer Ansatz für die Überprüfung der Phaseneinstellung der Hauptstromkreisverbindungen des Stromrichters und der Zwischenverbindungen zu den Stromrichter-Transformatoren ist eine umfassende Sichtprüfung des Schaltplanes und ein Vergleich mit der zutreffenden Dokumentation. Dazu gehört jedoch der Nachweis, dass die Regeleinrichtung FP an den richtigen Thyristor sendet.

#### 5.2.3.2 Betrieb mit Hochspannung

- a) Der Stromrichter-Transformator wird mit blockierten Ventilen eingeschaltet und die elektrische Phaseneinstellung durch das Regelsystem überprüft.
- b) Es ist sicherzustellen, dass der Stufenschalter des Stromrichter-Transformators am Anfang in der höchsten Stellung ist (geringste Spannung auf der Ventilseite), und dann wird er stufenweise auf die Bemessungsspannung eingestellt.
- c) Der Transformator bleibt für eine Dauer von mindestens 6 h eingeschaltet.
- d) Es sind die Wechselspannung, der stationäre Strom und der Einschaltstrom aufzuzeichnen und das Betriebsmittel ist auf außergewöhnliche Geräusche und Koronaentladungen während der Prüfung zu untersuchen.

### 5.2.4 Abnahmekriterien für die Prüfung

- a) Im eingeschalteten Betriebsmittel dürfen keine außergewöhnlichen Geräusche oder Koronaentladungen auftreten.
- b) Die Schutzeinrichtungen müssen einwandfrei arbeiten.
- c) Parameterwerte wie die Spannung sollten den erwarteten Wert aufweisen.

### 5.3 Betrieb von induktiven Bauteilen

#### 5.3.1 Einleitung

Induktive Bauteile wie Drehstromfilter, Kondensatorbatterien und Nebenschlusswiderstände werden zuerst einzeln eingeschaltet. Die kombinierte Schaltung dieser Bauteile ist im Abschnitt 6 beschrieben.

#### 5.3.2 Zweck der Prüfung

- a) Nachweis, dass eine einwandfreie Spannungsfestigkeit erreicht worden ist;
- b) Nachweis, dass die Drehstromfilter, Kondensatorbatterien und Nebenschlusswiderstände zwischen den drei Phasen und in jeder Phase für sich symmetrisch sind;
- c) Bestätigung der Leerlaufströme und -spannungen der Schutzeinrichtungen, soweit vorhanden.

#### 5.3.3 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Sämtliche Regel- und Schutzeinrichtungen (Haupt- und Reservestromkreis) im Zusammenhang mit den Hochspannungsbetriebsmitteln sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein. Kurz vor dem Betrieb mit Hochspannung ist eine Auslöseprüfung durchzuführen.
- b) Die Abstimmung des Drehstromfilters muss abgeschlossen sein.
- c) Drehstromfilter und Nebenschlusswiderstände müssen symmetrisch sein.
- d) Alle Klemmverbindungen müssen angezogen und die Isolatoren sauber gewischt worden sein.
- e) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- f) Eine abschließende Sichtprüfung des Hochspannungsbetriebsmittels muss durchgeführt werden und die Zählernummern der Ableiter müssen aufgezeichnet werden.

#### 5.3.4 Prüfverfahren

- a) Drehstromfilter, Kondensatorbatterien und Nebenschlusswiderstände müssen eingeschaltet werden.
- b) Jeder Drehstromfilter, jede Kondensatorbatterie und jeder Nebenschlusswiderstand muss mindestens 2 h lang unter Spannung stehen.
- c) Es sind die Wechselspannung, der stationäre Strom und der Einschaltstrom aufzuzeichnen und das Betriebsmittel ist auf außergewöhnliche Geräusche und Koronaentladungen während der Prüfung zu untersuchen.

#### 5.3.5 Abnahmekriterien für die Prüfung

- a) Im eingeschalteten Betriebsmittel dürfen keine außergewöhnlichen Geräusche oder Koronaentladungen auftreten.
- b) Die Schutzeinrichtungen müssen einwandfrei arbeiten.
- c) Die Drehstromfilter und Kondensatorbatterien müssen innerhalb der Grenzwerte der Auslegung symmetrisch sein.

### 5.4 Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems

#### 5.4.1 Einleitung

Die Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems kann in einem Verbindungssystem oder einem Punktsystem mit einem einzigen Stromrichter je Pol relativ einfach sein. Die Schaltvorgänge werden komplizierter, wenn die Pole der Station Parallel- oder Reihenstromrichter besitzen. Mit dieser Prüfung wird nachgewiesen, dass Betriebsmittel, Leistungsschalter, Trennschalter oder Erdungsschalter in der richtigen Abfolge ausgelöst werden und ordnungsgemäß verriegelt werden. Die Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems unter Last ist im Abschnitt 6 beschrieben.

Umstellungen zwischen verschiedenen Konfigurationen des Gleichstromsystems können selbsttätig und gemeinsam ausgelöst werden oder manuell von der örtlichen Regeleinrichtung oder von einer entfernten

Netzleitstelle. Bei einer manuellen oder unabhängigen Regelung müssen die Bedienpersonen diese Maßnahmen über die Sprachkommunikation miteinander abstimmen.

#### 5.4.2 Zweck der Prüfung

Mit dieser Prüfung wird nachgewiesen, ob die Konfiguration des Gleichstromsystems sicher umgestellt werden kann, wie es vor der erstmaligen Energieübertragung festgelegt wurde.

#### 5.4.3 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Die Prüfungen außerhalb des Einsatzortes zum Nachweis der Umstellung der Konfiguration des Gleichstromsystems müssen abgeschlossen sein.
- b) Alle notwendigen Wechselstrom- und Gleichstrom-Schaltanlagen müssen in Betrieb sein.
- c) Es müssen Bedieneranweisungen und Prüfverfahren zur Verfügung stehen.

#### 5.4.4 Prüfverfahren

Die Umschaltung zwischen festgelegten Konfigurationen des Gleichstromsystems muss nachgewiesen werden. Die Umstellungen der Konfiguration sollten von einer der nachfolgend definierten Anfangsbedingungen aus erfolgen:

- a) Monopol-Erdrückleitung;
- b) Monopol-Leiterrückleitung;
- c) bipolarer Betrieb;
- d) Einbeziehung von Parallel- oder Reihenstromrichtern.

Die Prüfungen müssen zuerst mit abgeschalteter und dann mit eingeschalteter Telekommunikation durchgeführt werden:

- a) Vorbereitung der Sprachkommunikation mit den Bedienpersonen der anderen Anschlusspunkte;
- b) Abschaltung der Telekommunikation;
- c) Rücksetzen aller Warnmeldungen;
- d) Auswahl der Anfangskonfiguration des Gleichstromsystems in Übereinstimmung mit den Betriebsanweisungen; dieser Vorgang erfolgt stufenweise unter Einbeziehung der Bedienpersonen an jedem Anschlusspunkt;
- e) Überprüfung des entsprechenden Schaltvorganges an der Regelschnittstelle der Bedienperson und am Meldungsfolgeschreiber; Simulation von Fehlzuständen in der Schaltfolge;
- f) Wiederholen der Prüfung für alle zutreffenden Konfigurationen des Gleichstromsystems;
- g) Wiederherstellung der Telekommunikation;
- h) Wiederholung der Prüfungen im selbsttätigen und gemeinsamen Regelbetrieb.

#### 5.4.5 Abnahmekriterien für die Prüfung

- a) Die Schaltfolgen müssen die Umschaltungen zwischen allen anwendbaren Konfigurationen des Gleichstromsystems mit und ohne Telekommunikation ordnungsgemäß ausführen.
- b) Sämtliche Schaltfolgen müssen sicher und ordnungsgemäß ausgeführt werden.
- c) Die Verriegelung der Erdungsschalter, Trennschalter und Leistungsschalter der Wechselstrom- und Gleichstrom-Freiluftanlagen muss den technischen Spezifikationen entsprechen.
- d) Es sollte die Möglichkeit bestehen, die Konfiguration des Gleichstromsystems von örtlichen und gegebenenfalls von entfernten Regelorten aus umzustellen.
- e) Eine unvollständige Folge muss mit einem sicheren Zustand abgeschlossen werden.

## 5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit

### 5.5.1 Einleitung

Die Prüfung darf an jeder Station und an jedem Pol einzeln durchgeführt werden, wenn es vom Betreiber so festgelegt ist.

### 5.5.2 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Sämtliche Primärbetriebsmittel in der Wechselstrom- und der Gleichstrom-Freiluftanlage der geprüften Station sollten spannungsfrei sein.
- b) Sämtliche Regel- und Schutzeinrichtungen (Haupt- und Reserveeinrichtungen) im Zusammenhang mit dem Hochspannungsbetriebsmittel sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein.
- c) Alle Warn- und Überwachungseinrichtungen (einschließlich Meldungsfolgeschreiber) sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein.
- d) Alle Schaltschränke des Regel- und Schutzsystems und die Geräte darin sind vorhanden.
- e) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- f) Eine abschließende Sichtprüfung des Hochspannungsbetriebsmittels muss durchgeführt werden und die Zählernummern der Ableiter müssen aufgezeichnet werden.
- g) Die Prüfeinrichtungen wie tragbare Funksprechgeräte oder Mobiltelefone sollten überprüft und in Betrieb sein. Darüber hinaus sollte die Sendeleistung der Prüfeinrichtung zwischen 3 W und 5 W betragen.

### 5.5.3 Prüfverfahren

Zur Überprüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit können verschiedene Störquellen benutzt werden, die nachfolgend aufgeführt sind.

#### 5.5.3.1 Prüfverfahren mit einer aussendenden Quelle

- a) Es ist sicherzustellen, dass die geprüften Schaltschränke und Geräte der Regel- und Schutzeinrichtungen eingeschaltet sind.
- b) Die Tür des Schaltschranks der Gleichstromregeleinrichtung ist zu öffnen.
- c) Die aussendende Quelle sollte einzeln vor und hinter jeder Schaltschranktür der Schalttafel angeordnet werden. Der Abstand zwischen der aussendenden Quelle und den Schaltschranktüren der Schalttafel sollte nach IEC 61000-4-3 berechnet werden.
- d) Die Tür des Schaltschranks der Gleichstromregeleinrichtung ist zu schließen.
- e) Punkt c) muss wiederholt werden.
- f) Die Einrichtung ist während der Prüfung auf außergewöhnliche Geräusche und Vorgänge zu überprüfen.

#### 5.5.3.2 Prüfverfahren mit Ein- und Ausschalten der Wechselstromschiene

- a) Es ist sicherzustellen, dass alle Schaltschränke und Geräte der Regel- und Schutzeinrichtungen eingeschaltet sind.
- b) Die abgeschaltete Wechselstromschiene, die der Schaltwarte der Station am nächsten liegt, ist einzuschalten.
- c) Die genannte Stromschiene ist auszuschalten.
- d) Die Einrichtung ist während der Prüfung auf außergewöhnliche Geräusche und Vorgänge zu überprüfen.

### 5.5.4 Abnahmekriterien für die Prüfung

Während der Prüfung sollten keine außergewöhnlichen Regelvorgänge stattfinden.

## 5.6 Auslöseprüfung

### 5.6.1 Einleitung

Die Prüfung sollte für jede Auslösespule in der Stromrichterstation und für jeden Pol durchgeführt werden, bevor die Drehstromfilter und Transformatoren eingeschaltet werden.

### 5.6.2 Zweck der Prüfung

- a) Nachweis der Funktion der Schutz-Auslösestromkreise der Betriebsmittel in der Stromrichterstation;
- b) Nachweis der Schaltfolge und des Betriebsverhaltens der Schutzauslösung.

### 5.6.3 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Sämtliche Betriebsmittel in der Wechselstrom- und der Gleichstrom-Freiluftanlage der geprüften Station sollten spannungsfrei sein.
- b) Sämtliche Regel- und Schutzeinrichtungen (Haupt- und Reserveeinrichtungen) im Zusammenhang mit dem Hochspannungsbetriebsmittel sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein.
- c) Alle Warn- und Überwachungseinrichtungen (einschließlich Meldungsfolgeschreiber) sind zu überprüfen und müssen in Betrieb sein.
- d) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- e) Eine abschließende Sichtprüfung des Hochspannungsbetriebsmittels muss durchgeführt werden und die Zählernummern der Ableiter müssen aufgezeichnet werden.

### 5.6.4 Prüfverfahren

Die Auslösesignale können von unterschiedlichen Stellen ausgelöst werden, die nachfolgend aufgeführt sind.

#### 5.6.4.1 Auslöseprüfung des Gleichstromschutzes

Am Anschlusspunkt des geprüften Gleichstrom-Schutzkreises wird ein Auslösesignal eingeleitet und der Wechselstrom-Leistungsschalter auf der Seite der Wechselstromquelle sollte ausgelöst werden.

#### 5.6.4.2 Auslöseprüfung des Schutzes des Drehstromfilters und des Parallelkondensators

Am Anschlusspunkt der Schutzauslösung des geprüften Drehstromfilters und des geprüften Parallelkondensators wird ein Auslösesignal eingeleitet und der Leistungsschalter des Drehstromfilters sollte ausgelöst werden.

#### 5.6.4.3 Auslöseprüfung der Not-Aus-Taste

Die Not-Aus-Taste in der Schaltwarte wird gedrückt. Der Wechselstrom-Leistungsschalter auf der Seite der Wechselstromquelle sollte ausgelöst werden.

### 5.6.5 Abnahmekriterien für die Prüfung

- a) Der Leistungsschalter auf der Seite der Wechselstromquelle des Stromrichter-Transformators sollte ordnungsgemäß ausgelöst werden, eingeleitet entweder durch den Gleichstromschutz oder manuell durch die Not-Aus-Taste.
- b) Der Leistungsschalter auf der Seite der Wechselstromquelle jedes Drehstromfilters oder jedes Parallelkondensators sollte ordnungsgemäß ausgelöst werden, eingeleitet durch deren Schutzauslöse-Stromkreis.
- c) Es sollte keine außergewöhnliche Warnmeldung oder kein außergewöhnliches Ereignis auftreten.

## 5.7 Leerlaufprüfung

### 5.7.1 Einleitung und Zweck der Prüfung

Die Leerlaufprüfung kann unnötig sein, wenn die Zwecke dieser Prüfung durch andere Prüf Aspekte abgedeckt werden.

#### 5.7.1.1 Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage

Die Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage kann von beiden Anschlusspunkten des HGÜ-Systems aus gleichzeitig durchgeführt werden.

#### 5.7.1.2 Leerlaufprüfung des Gleichstrom-Übertragungskreises

Die Leerlaufprüfung des Gleichstrom-Übertragungskreises, die von jedem Anschlusspunkt des HGÜ-Systems aus, aber nacheinander durchgeführt werden kann, kann von dem Stromrichter aus erfolgen, der zuerst zur Verfügung steht, vorzugsweise aber von dem Anschlusspunkt mit der höchsten Betriebsspannung aus. Die Leerlaufprüfung kann in ausgezeichneter Weise den Zustand der HGÜ-Leitungen und -Kabel nachweisen. Über die gesamte Stromkreislänge können sowohl die Kurzschluss- als auch die Leerlaufbedingungen ermittelt werden.

### 5.7.2 Vorbedingungen für die Prüfung

#### 5.7.2.1 Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage

- a) Die Stromrichter-Transformatoren müssen eingeschaltet sein.
- b) Sämtliche Regel- und Schutzrichtungen im Zusammenhang mit den Stromrichter-Transformatoren und die Gleichstrom-Freiluftanlage einschließlich Gleichstrom-Spannungsteiler müssen überprüft worden und in Betrieb sein. Kurz vor dem Betrieb mit Hochspannung ist eine Auslöseprüfung durchzuführen. Vorzugsweise muss ein Niederspannungsbetrieb durchgeführt worden sein.
- c) Überwachungseinrichtungen müssen angeschlossen und betriebsbereit sein.
- d) Alle Klemmverbindungen müssen angezogen und die Isolatoren sauber gewischt worden sein.
- e) Der Trennschalter der HGÜ-Leitung muss geöffnet und verriegelt sein.
- f) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- g) Eine abschließende Sichtprüfung der Gleichspannungs-Freiluftanlage muss durchgeführt werden und die Zählernummern der Ableiter müssen aufgezeichnet werden.
- h) Die Abstimmung des Drehstromfilters muss abgeschlossen sein.

#### 5.7.2.2 Leerlaufprüfung des Gleichstrom-Übertragungskreises

- a) Die Gleichstrom-Freiluftanlage muss erfolgreich eingeschaltet worden sein.
- b) Sämtliche Regel- und Schutzrichtungen müssen überprüft worden und in Betrieb sein.
- c) Der Gleichstrom-Übertragungskreis muss verfügbar sein.
- d) Es ist zu prüfen, ob der andere Anschlusspunkt abgetrennt ist.
- e) Das Sprachkommunikationssystem muss in Betrieb sein.
- f) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.
- g) Die Neutrale Seite des Stromrichters muss an die Erdelektrode angeschlossen sein und die Hochspannungsseite an die Leitung oder das Kabel.

### 5.7.3 Prüfverfahren

#### 5.7.3.1 Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage

- a) Die Neutrale Seite des Stromrichters wird mit Erde oder mit der Erdelektrode (soweit vorhanden) verbunden.
- b) Der Stromrichter-Transformator wird mit der niedrigsten Spannung auf der Ventilseite eingeschaltet und der Stufenschalter stufenweise auf die Bemessungsspannung eingestellt.
- c) Der Stromrichter wird im Betriebszustand der Leerlaufprüfung deblockiert und die Gleichspannung langsam auf den Bemessungswert angehoben.
- d) Das Gleichstrombetriebsmittel bleibt höchstens 30 min lang eingeschaltet.
- e) Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung wird die Gleichspannung auf Null gesenkt und der Stromrichter blockiert.
- f) Die Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage wird mit den entsprechenden Gleichstromfiltern einzeln angeschlossen und dann zusammen angeschlossen wiederholt.
- g) Falls an jedem Pol mehrere Ventilgruppen vorhanden sind, sollten diese zuerst einzeln eingeschaltet werden und dann zusammen.
- h) Bei der Prüfung müssen Wechsel- und Gleichspannung und -strom aufgezeichnet werden. Während der Prüfung wird das Betriebsmittel auf außergewöhnliche Geräusche, Koronaentladungen oder Teilentladungslichtbögen untersucht.

#### 5.7.3.2 Leerlaufprüfung des Gleichstrom-Übertragungskreises

- a) An den entfernten Anschlusspunkt der Gleichstromleitung oder des Gleichstromkabels wird eine Erde angeschlossen.
- b) Der Stromrichter-Transformator wird eingeschaltet und der Stufenschalter stufenweise auf die Bemessungsspannung eingestellt.
- c) Der Stromrichter wird im Betriebszustand der Leerlaufprüfung deblockiert und es wird versucht, die Gleichspannung anzuheben. Falls dies möglich ist, wird der Gleichstrom-Übertragungskreis irgendwo geöffnet.
- d) Der Stromrichter wird blockiert, der Stromrichter-Transformator abgeschaltet und die Erde am entfernten Ende abgeklemmt.
- e) Der Stromrichter-Transformator wird eingeschaltet und der Stufenschalter stufenweise auf die Bemessungsspannung eingestellt.
- f) Der Stromrichter wird im Betriebszustand der Leerlaufprüfung deblockiert und die Gleichspannung langsam auf den gewünschten Pegel angehoben. Es ist sicherzustellen, dass der Gleichspannungspegel den Grad der Spannungsfestigkeit am anderen Ende nicht übersteigt.
- g) Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung wird die Gleichspannung auf Null gesenkt und der Stromrichter blockiert.
- h) Die Prüfung wird für jede Leitung oder jedes Kabel und jeden Pol, soweit vorhanden, wiederholt.
- i) Der Gleichstrom-Übertragungskreis bleibt höchstens 30 min lang eingeschaltet.
- j) Bei der Prüfung müssen Wechsel- und Gleichspannung und -strom aufgezeichnet werden. Während der Prüfung wird das Betriebsmittel auf außergewöhnliche Geräusche, Koronaentladungen oder Teilentladungslichtbögen untersucht.

### 5.7.4 Abnahmekriterien für die Prüfung

#### 5.7.4.1 Leerlaufprüfung der Gleichstrom-Freiluftanlage

- a) Im eingeschalteten Betriebsmittel dürfen keine außergewöhnlichen Geräusche oder Koronaentladungen auftreten.
- b) Alle Schutzeinrichtungen müssen einwandfrei arbeiten.

Die vorgesehene Gleichspannung kann erreicht werden.

#### 5.7.4.2 Leerlaufprüfung des Gleichstrom-Übertragungskreises

- a) Alle Schutzeinrichtungen müssen einwandfrei arbeiten.
- b) Die Gleichspannung muss sich erwartungsgemäß aufbauen, wenn die Erdverbindung am entfernten Ende abgeklemmt wird.

### 5.8 Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren

#### 5.8.1 Einleitung

Bei einem bipolaren HGÜ-System darf eine Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren in Betracht gezogen werden, wenn dies vom Betreiber festgelegt ist und wenn die Übertragungsleitung spät aufgebaut wird und beide Pole betriebsbereit sind. Sie kann außerdem durchgeführt werden, um Störungen des angeschlossenen Wechselstromsystems zu verringern. Eine Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren wird ausgeführt, indem ein bipolarer Anschlusspunkt mit einem Stromrichter als Gleichrichter und mit dem anderen Stromrichter als Wechselrichter betrieben wird. Die Verbindung zwischen den Stromrichtern kann innerhalb der Station erfolgen oder Teile des Gleichstrom-Übertragungskreises oder den gesamten Gleichstrom-Übertragungskreis einbeziehen. Im letztgenannten Fall sollte vor der Prüfung eine Leerlaufprüfung des Übertragungsstromkreises durchgeführt werden, wie in 5.4 beschrieben. Eine Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren bietet eine wirksame allgemeine Überprüfung des Stromrichterbetriebs bis zur festgelegten Höchstlast.

Das Telekommunikationssystem ist für diese Prüfung nicht erforderlich. Es können Anpassungen des Regelsystems erforderlich sein.

#### 5.8.2 Zweck der Prüfung

Die Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren dient einer vorläufigen Überprüfung des Regelsystems, des Ventilkühlvermögens und des Hauptstromkreises in Bezug auf die Erwärmung.

Die Prüfung sollte eine Fehlerbeseitigung an den einzelnen Anschlusspunkten ermöglichen, was zu einem wirksameren Verbindungsprüfverfahren führt. Die Endprüfung der Stromregelung, der Leistungsregelung und der Blindleistungsregelung darf durchgeführt werden, indem jeder Stromrichterpol sowohl als Gleichrichter als auch als Wechselrichter betrieben wird.

#### 5.8.3 Vorbedingungen für die Prüfung

- a) Die Einschaltprüfungen der Drehstromfilter, Kondensatorbatterien und Nebenschlusswiderstände müssen erfolgreich abgeschlossen worden sein.
- b) Die Stromrichter-Transformatoren, die Ventile (und gegebenenfalls die Filter der Gleichstrom-Freiluftanlage) und die Schaltgeräte müssen eingeschaltet worden sein.
- c) Es ist eine zeitweilige Verbindung zwischen den Stromrichtern oder einem Teil des Gleichstrom-Übertragungskreises erforderlich.
- d) Die Gleichstrom-Glättungsdrossel muss in Reihe mit den Stromrichtergruppen geschaltet werden.
- e) Gegebenenfalls sollten bestimmte Regelparameter zeitweilig auf die Prüfung nach dem Rückarbeitsverfahren eingestellt werden.
- f) Sämtliche Sicherheitsverfahren müssen ausgeführt worden sein.

Besondere Beachtung sollte eine mögliche Auslösung der Stromrichter bei der Prüfung finden. Falls eine Auslösung stattfindet, sollten Schutzmaßnahmen sicherstellen, dass die Wechselstromschiene der Station durch Begrenzung des Pegels und der Dauer des Spannungsanstiegs auf zulässige Werte ausreichend geschützt ist. Dies kann erreicht werden, indem der Wert auf den höchstzulässigen Gleichstrom begrenzt wird. Bei Wechselstromsystemen mit niedrigem Kurzschlussverhältnis sollte eine Auslösevorrichtung installiert werden, die sämtliche Filter abtrennt, wenn ein Stromrichter blockiert wird (falls eine solche nicht bereits enthalten ist).