

Prof. Dr. Hans Glavitsch  
Homburgstrasse 14  
CH 5415 Nussbaumen  
Email: haglav@bluewin.ch  
Tel. +4156/282 16 58

10. November 2014

## **Begleitung und Begutachtung der Studie zu einer Zwischenverkabelung der 380/220/132-kV Leitungsverbindung Mörel – Ulrichen (Hauptstudie und Beilagen)**

### **Expertenbericht**

#### **1 Ausgangslage und Zielsetzung**

Das Bundesgericht hat mit Entscheid vom 11. September 2013 das Bundesamt für Energie (BFE) angewiesen, die Verkabelung der 380/220/132-kV Leitung Mörel – Ulrichen im Abschnitt Binnegga-Binnachra-Hockmatte-Hofstatt zu prüfen, bzw. unter Beizug von international anerkannten Experten prüfen zu lassen. Die übrige Leitungsstrecke ist insoweit einzubeziehen, als dies für die optimale Linienführung und landschaftsverträgliche Übergangswerke einer Verkabelungsvariante im Gebiet „Binnegga-Binnachra-Hockmatte-Hofstatt“ notwendig ist. Swissgrid hat die Aufgabe für die Erstellung einer Kabelstudie übernommen, die in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Heinrich Brakelmann der Universität Duisburg ausgeführt wurde und nun mit Beilagen betreffend Umwelt und Ökologie, sowie das transiente Verhalten des Leitungsabschnitts mit Zwischenverkabelung vorliegt.

Zudem wurde der Verfasser (s. oben) als Begleiter der Studie bestellt. Die Begleitung der Erarbeitung der Kabelstudie und deren Überprüfung durch einen international anerkannten Experten soll sicherstellen, dass die Möglichkeit einer Verkabelung des fraglichen Leitungsabschnitts nach international anerkannten Methoden und Kriterien unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Technik und weiterer relevanter Aspekte vollständig und neutral geprüft wird.

Dazu wurden mehrere Arbeitspakete festgelegt.

#### Arbeitspaket 1: Vorbereitung

In diesem Arbeitspaket wurden die Grundlagen und Rahmenbedingungen für die Erarbeitung der Studie geklärt und festgelegt. Dabei galt es, die folgenden Fragen zu beurteilen:

- Ist das Pflichtenheft für die Durchführung der Studie vollständig, neutral und dem Projekt angemessen ?
- Ist die Auswahl der Studiennehmer der Komplexität des Projekts angemessen ?
- Ist der Prozess für die Auswahl der Studiennehmer transparent und neutral ?
- Gewährleisten die ausgewählten Studiennehmer die fachlich korrekte und neutrale Erarbeitung der Studie ?

## Arbeitspaket 2: Erarbeitung der Studie

In diesem Arbeitspaket ging es um die fachliche Begleitung und Beratung der Studiennehmer durch den Experten. Dabei standen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- Entsprechen die gewählten Arbeits- und Beurteilungsmethoden dem aktuellen Stand der Technik und des Wissens ?
- Werden die gewählten Methoden richtig eingesetzt und angewendet ?
- Sind die erarbeiteten Ergebnisse stringent und logisch nachvollziehbar ?

## Arbeitspaket 3: Bewertung der Studie

In diesem Arbeitspaket wurde nach Fertigstellung der Studie geprüft, ob sie methodisch und fachlich korrekt, neutral und vollständig ist. Das Ergebnis dieser Prüfung wird im vorliegenden Bericht zu Händen des BFE dargestellt. Es handelt sich dabei um den Abschlussbericht, der die Begutachtung der Studie beinhaltet.

### **2 Was beinhaltet die Studie ?**

Die Kabelstudie (Hauptstudie) behandelt die Aufgabe der Teilverkabelung der genannten Leitung im umfassenden Masse. Nach einem einleitenden Abschnitt, in dem drei mögliche Varianten für die Teilverkabelung aufgezeigt werden, geht die Studie allgemein auf die Unterschiede zwischen Freileitung und Kabel ein. Es werden die Stromtragfähigkeit eines Kabels, die Besonderheit des Ladestromes, das Übertragungsverhalten, sowie die Leitungsparameter behandelt. Ein Abschnitt ist der Überwachung und der Prüfung eines Kabels gewidmet. Im Unterschied zur Freileitung spielt die Einbettung des Kabels im Boden eine besondere Rolle. Die mögliche Belastung hängt dabei von den thermischen Eigenschaften der unmittelbaren Umgebung des Kabels im Boden, wie der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Materials ab. Wesentliche Unterschiede bestehen in der Einbettung im Erdreich, Magerbeton, in einem Rohrblock oder Tunnel. Die wesentliche Kenngrösse ist die Oberflächentemperatur im Langzeitverhalten. Im Falle der Teilverkabelung muss die Stromtragfähigkeit des Kabels derjenigen der Freileitung angepasst werden, so dass der gesamte Leitungszug einheitlich wie eine Freileitung mit der vorgegebenen Stromtragfähigkeit wirkt.

Ein grosser Raum wird den Verlegungsarten des Kabels gegeben, wobei hier zu berücksichtigen ist, dass vier Stränge 380-kV-Kabel und ein Strang 132-kV-Kabel zu verlegen sind. Behandelt wurde die flache Verlegung in einer oder in zwei Schichten im Erdreich, die Verlegung im Rohrblock und im Tunnel, sowie die Verlegung in einer Brückenkonstruktion. Zugeordnet wurde jeweils die maximale Stromtragfähigkeit abhängig von den Parametern der Wärmeabfuhr. Das Besondere daran ist, dass für jeweils zwei Stränge des 380-kV-Kabels ein Reservekabel mit verlegt wird, auf das im Störfall umgeschaltet werden kann (hot standby). Zu beachten ist ebenso, dass das Kabel in Abschnitten (Grössenordnung mehrere hundert bis eintausend Meter Länge) zu verlegen ist und dass die Abschnitte durch Muffen zu verbinden sind. Wo immer die Muffen zu platzieren sind (Erdreich, Tunnel), ist genügend Raum für die Verlegung und die eventuelle Reparatur vorzusehen.

Ein eigenes Kapitel ist für die Überwachung und die Prüfung des Kabels vorgesehen. Dies beginnt bereits beim Fertigungsprozess und geht dann in die Montage über. Die Prüfungen von Kabelhöchstspannungssystemen sind in der IEC Publikation 62067 international standardisiert. Prinzipiell wird die ideale Abfolge von Qualifizierung, Fertigung, Verlegung und Inbetriebnahme von Höchstspannungskabelsystemen durch die nachfolgenden Prüfungen beschrieben: Präqualifizierungsprüfung, Typenprüfung, Routineprüfung, Stückprüfung und In-

betriebsnahmeprüfungen nach Verlegung und Montage.

Freileitung und Kabel unterscheiden sich grundsätzlich im Störungsverhalten. Bedingt durch das Isolationsmedium Luft im Falle der Freileitung kann ein Isolationszusammenbruch vielfach durch eine sogenannte Kurzunterbrechung beseitigt und die gesunde Isolation nach dem Wiedereinschalten wieder hergestellt werden. Durch die atmosphärischen Einflüsse treten Störungen auf der Freileitung viel häufiger auf als auf einer Kabelstrecke. Was nun die Verfügbarkeit der teilverkabelten Leitung betrifft, so tritt ein Ausgleich ein, als der seltenere Kabelfehler mit einem längeren Ausfall (600 Stunden) verbunden ist. Die Verfügbarkeit der kurzen Kabelstrecke liegt im Mittel in der Grössenordnung der derjenigen der Freileitung. Von grosser Bedeutung ist das Vorhandensein eines Reservekabels, das grundsätzlich gefordert werden muss.

Ein wichtiger Abschnitt in der Kabelstudie ist derjenige, der sich der Reparatur des Kabels widmet. Elemente dazu sind der Raum, der den Muffen zugeordnet wird, sodann das Prozedere für die Umschaltung auf das Reservekabel, die Erdung und Freischaltung so, dass am gestörten Kabel gearbeitet werden kann. Man muss sich im Klaren sein, dass ein Kabelfehler selten eintritt, die Reparatur aber sehr lange dauert.

Die Hauptstudie (Machbarkeitsstudie) wird begleitet von Bewertungsschemata für die Freileitung und das Kabel, von einem Umweltbericht und einer Oekostudie. Ferner liegt ein Bericht über das transiente Verhalten der teilverkabelten Leitung Mörel – Ulrichen – Lavorgo, womit der Nachweis erbracht wird, dass bei Schaltvorgängen und Störungen das gesamte System den isolationstechnischen Anforderungen entspricht. Schliesslich wird in einem separaten Bericht die Überquerung der Binna mit einer Brücke behandelt, wie sie für eine der Varianten vorgesehen ist.

### **3 Beurteilungsgrundlagen und studienbegleitende Prüfung**

Die inhaltlichen Grundlagen für die Beurteilung sind in der Studie vollumfänglich enthalten (insb. Kapitel 2 betreffend die Rahmenbedingungen für die Trasseefindung, Kapitel 3 betreffend die elektrischen Anforderungen, Kapitel 4 für die Erwärmung und die Berechnung der Leiterdurchmesser).

Grundlage für die fachliche Beurteilung der Studie über eine Zwischenverkabelung der 380/220/132-kV Leitungsverbindung Mörel – Ulrichen ist die langjährige Erfahrung des Experten im Bereich der Elektrizitätsübertragung. Diese Erfahrung beruht auf Unterlagen wie interne Firmenberichte, Stellungnahmen, Berichte und Gutachten an Ministerien und Gerichte, die vielfach zwar nicht öffentlich sind, an denen der Experte aber entweder selber mitgewirkt hat oder zu denen er in seiner Funktion als Gutachter oder Experte Zugang hatte. Ein typisches Beispiel für solche nur teilweise öffentlich zugängliche Informationen sind die gesamten Unterlagen, welche die Axpo für das Projekt Riniken erarbeitet hat. An einem dieser Dokumente war der Experte selber beteiligt (siehe [5]). Die gesamte Information, die für das vorliegende Projekt aufschlussreich ist, ist jedoch nicht öffentlich zugänglich.

Andere Projekte, für die der Experte selber Grundlagenarbeit geleistet hat, sind die „Salzburgerleitung“ (Teilverkabelung einer 380-kV-Verbindung Bundesland Oberösterreich und Bayern) oder die „Steiermarkleitung“ (Verkabelungsprojekt 100 km). Für diese Projekte wurde eine Reihe von Berichten und Gutachten generiert, wovon [6] ein Beispiel ist, die aber auch nicht öffentlich zugänglich sind.

Der Experte hat im Weiteren die Erarbeitung der Studie entsprechend der Auftragstellung in

Arbeitsschritt 2 begleitet und an entscheidenden Projektsitzungen (26. Februar 2014, 28. März 2014, 6. Mai 2014, 7. Juli 2014) teilgenommen. Er konnte damit sicherstellen, dass die Erarbeitung der Studie nach wissenschaftlichen Grundsätzen, objektiv und vollständig erfolgte. Die Berichte über diese Sitzungen liegen bei den Verfahrensakten.

#### **4 Beurteilung der Studie aus gutachterlicher Sicht**

Die eingangs erwähnten Arbeitspakete geben die Zielsetzungen der Begutachtung vor. Der Experte kommt bei den einzelnen Arbeitspaketen zu folgenden Schlüssen:

##### **4.1 Arbeitspaket 1: Vorbereitung der Studie**

**Die Vorbereitung der Studie, wie sie im Arbeitspaket 1 gefordert wird und wie sie im Pflichtenheft niedergelegt ist, entspricht voll und ganz den Anforderungen, wie sie eine Aufgabe mit dem Umfang und der Komplexität nötig macht.**

##### **4.2 Arbeitspaket 2: Erarbeitung der Studie:**

**Die gewählten Arbeits- und Beurteilungsmethoden entsprechen voll und ganz dem Stand der Technik und des Wissens. Besonders die Kabelhauptstudie stellt, was den Detaillierungsgrad betrifft, im deutschsprachigen Raum einen Erstfall dar. Die gewählten Methoden werden richtig eingesetzt und angewendet.**

##### **4.3 Arbeitspaket 3: Fachliche Begleitung und Beratung der Studiennehmer durch den Experten:**

**Die gewählten Arbeits- und Beurteilungsmethoden entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und des Wissens.**

**Die gewählten Methoden wurden fachgerecht eingesetzt und angewendet.**

**Die erarbeiteten Ergebnisse sind stringent und logisch nachvollziehbar.**

#### **5 Gesamtbeurteilung der Studie**

Der Kernpunkt der Studie ist die Machbarkeitsstudie Binnaquerung 01\_140912\_sg (Hauptstudie, Ref. [1]), die von Swissgrid dem BFE vorgelegt wurde. Die weiteren vorgelegten Berichte (Ref. [2], [3] und [4]) ergänzen die Hauptstudie in verschiedene Richtungen. Die Hauptstudie ist äusserst umfassend und detailliert. Sie berührt alle Aspekte eines Kabelprojektes von der Technologie des Kabels bis zu den Verlegungsarten, von Zuverlässigkeitsüberlegungen bis zum Vorgehen bei einer Kabelreparatur. Für drei Ausführungsvarianten wurden die Kosten (Investitionen, Vollkosten) ermittelt, wobei man sich jedoch für keine der Varianten bevorzugt ausgesprochen hat.

Besonders hervorzuheben ist Gewährleistung einer der hohen Zuverlässigkeit, bzw. Verfügbarkeit der Leitung durch die Verlegung eines vierten Leiters (Reservekabel) pro Doppelstrang, der im „hot standby“ betrieben wird, auf den im Störfall innerhalb kürzester Zeit umgeschaltet werden kann. Im Betrieb mit dem Reservekabel ist eine Reparatur des gestörten Leiters möglich. Damit ist ein Betrieb der teilverkabelten Freileitung Mörel – Ulrichen so möglich (spannungsmässig, strommässig), als ob das Kabelstück im Zuge der Leitung nicht vorhanden wäre. Im schwach belasteten Zustand ergibt sich wohl ein leicht erhöhter Lade-  
strom, der zu einer geringen Spannungsverschiebung führt, die jedoch aus betrieblicher Sicht

bei Belastung unbedeutend sind. Die merkbaren Unterschiede liegen im Störverhalten, wofür wie schon erwähnt durch besondere Massnahmen getroffen wird.

**Die Studie wurde nach heutigem Wissensstand und in kompetenter Weise, fachgerecht und mit einem hohen Detaillierungsgrad erstellt. Das Pflichtenheft für die Erstellung die kann somit als erfüllt betrachtet werden.**



H. Glavitsch

### Referenzen

- [1] H. Brakelmann, S. Ghaderi; Machbarkeitsstudie: Zwischenverkabelung 380/132/65-kV-Leitungsverbindung Mörel – Ulrichen, September 2014
- [2] 380/132/65-kV-Leitung Mörel – Ulrichen; Zusammenfassender Bericht Bewertungsschema Variante „Kabelleitung“ Swissgrid-Alpiq- Raumplanung+Umwelt, 01. September 2014
- [3] 380/132/65-kV-Leitung Mörel – Ulrichen; Zusammenfassender Bericht Bewertungsschema Variante „Freileitung“ Swissgrid-Alpiq-Raumplanung+Umwelt, 01. September 2014
- [4] Studie: Transiente Überspannungen bei der Zwischenverkabelung der 380-kV Leitungsverbindung Chippis–Ulrichen, Brakelmann, Dong BCC Cable Consulting Rheinberg, Aschaffenburg, Juli 2014
- [5] K. Fröhlich, H. Glavitsch; Stellungnahme zur Studie – NOK 2004 und zum Gutachten Brakelmann 2009 bezüglich der Teilverkabelung der 220/380-kV-Leitung in Riniken; im Auftrag der Axpo AG 5401 Baden, 27. Oktober 2009
- [6] K. Fröhlich; Übertragung elektrischer Energie bei 380 kV Nennwechselspannung Stand der Technik, Wirtschaftlichkeit und Ökologie im Vergleich; Studie im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit – Baden, 16. Dezember 2002 (70 Seiten, 49 Referenzen)