

# Metastudie über Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen

Executive Summary

13. Oktober 2011

## **Wissenschaftliche Verantwortung:**

- Dipl.-Medienwiss. Dorothee Arlt
- Dr.-Ing. habil. Alexander Novitzkij
- Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann
- Prof. Dr. Jens Wolling

## **1 Einleitung und Abgrenzung**

In der Vorbereitungs- und Bewilligungsphase von Netzausbaumaßnahmen im Übertragungsnetz werden verschiedene Technologieoptionen häufig auf sehr unterschiedlichen inhaltlichen Ebenen kontrovers diskutiert. Im Fokus der Diskussion steht dabei vor allem der Vergleich zwischen Freileitungen und Erdkabelleitungen. In diesem Zusammenhang sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Publikationen angefertigt worden, die sich in allgemeiner Weise und auch bezüglich konkreter Ausbauvorhaben der Problematik des Technologievergleichs annehmen.

Das Ziel der vorliegenden Metastudie ist es, den heutigen Erkenntnisstand zum Thema Freileitungen und Erdkabelleitungen anhand der Analyse von bestehenden Primäruntersuchungen und Projekten aufzuarbeiten und zusammenzufassen. Eine Metastudie leistet keinen direkten Vergleich zwischen bestehenden Studien; ermöglicht aber das statistische Gegenüberstellen einzelner Kenngrößen. Entsprechend ist es Gegenstand der vorliegenden Metastudie die vorhandene wissenschaftliche Faktenlage zum Leitungsausbau aufzuzeigen.

Die vorliegende Metastudie hat nicht zum Ziel durch neue Berechnungen oder Fallstudien das untersuchte Studienset zu validieren oder neue Fallbeispiele ergänzend zu analysieren. Der Charakter einer Metastudie verlangt es zudem von den Besonderheiten der Einzelstudien zu abstrahieren. Für die inhaltliche Darstellung der untersuchten Kriterien werden ausschließlich die in den untersuchten Studien dokumentierten Daten verwendet. Ergänzende Datenerhebungen haben nicht stattgefunden. Im Fokus der Metastudie steht die Übertragungsebene (220kV und 380kV).

## **2 Methodisches Vorgehen**

Die Studie wurde am Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik der Technischen Universität Ilmenau von einem interdisziplinär zusammengesetzten Team bestehend aus Elektroingenieuren und Sozialwissenschaftlern durchgeführt.

Da die Ergebnisse der Studie in hohem Maße auf öffentliches und (über)regionales Interesse stossen, wurde von Swissgrid ein Studienbeirat eingesetzt, der alle Interessensgruppen in der Schweiz im Umfeld von Netzausbauprojekten repräsentiert. Die Aufgaben des Beirats bestanden in der Reflektion der Studienergebnisse, Bestätigung der Vollständigkeit und Differenziertheit. Die objektive Durchführung der Studie nach wissenschaftlichen Methoden wurde durch den Beirat nicht berührt.

## **3 Studienset und Vorgehensmodell**

Untersucht wurden Studien, die im Zeitraum 2000 bis Anfang 2011 im europäischen Raum, in Ländern mit einer mit der Schweiz vergleichbaren Infrastruktur, zur Thematik Netzausbau im Höchstspannungs-Übertragungsnetz publiziert wurden. Die Grundgesamtheit der Studien umfasst 176 Dokumente. Daraus wurden zwei Studiensets erstellt, die möglichst repräsentativ die aktuelle wissenschaftliche Sachstandslage widerspiegeln. Ein Set umfasst allgemeine Studien, die sich nach wissenschaftlichen Methoden der Merkmale von Freileitungen und Erdka-

belleitungen ohne Projektfokus annehmen. Ein weiteres Set enthält projektorientierte Studien, in denen die Auswirkungen von Freileitungen oder Erdkabelleitungen anhand konkreter Ausbauprojekte thematisiert werden.

Der zur Untersuchung der Merkmale eingesetzte Kriterienkatalog basiert auf dem schweizerischen *Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf der 220/380-kV-Ebene*. Er wurde angepasst an die Belange der Metastudie und im Beirat einvernehmlich konsolidiert. Der Katalog umfasst metrisch skalierbare Kriterien wie bspw. Verluste, Lebensdauer, Blindleistungsbedarf, etc. Die zweite Kriteriengruppe umfasst ordinal skalierbare Kriterien wie z.B. Auswirkungen auf das Landschaftsbild, Flora und Fauna. Zu deren Analyse wurde ein Codebuch als Instrument der Datenerfassung entwickelt. In diesem sind alle ordinal skalierten Kriterien mit ihren Ausprägungen beschrieben. Auf diese Weise wurden die Kriterien messbar gemacht.

## 4 Hauptergebnisse

### ***Vorbemerkung***

Nur gerade zwei der projektorientierten Studien decken 90% der für einen Technologieentscheid relevanten Kriterien ab. Weniger als ein Drittel decken 80% aller Kriterien ab und ein Viertel aller Studien berücksichtigen weniger als 50% der Kriterien für einen Technologieentscheid. Es wird weiterhin deutlich, dass es einen standardisierten, allgemein verbindlichen Prozess und rechtlich zuverlässigen Referenzrahmen (Richtlinien, Kriterien) zur sozioökonomischen Bewertung von Freileitungen und Erdkabeln braucht. Dieser muss breit abgestützt und transparent kommuniziert sein.

### ***Trassenlänge***

Die Trassenlängen von alternativen Freileitungs- und Erdkabelleitungsstrecken sind nicht immer identisch. Oft sind die alternativen Erdkabelleitungsstrecken kürzer. Gründe dafür sind sowohl höhere Kosten vom Erdkabelleitungsbau wie auch mögliche Einschränkungen zum Freileitungstrassenverlauf.

### ***Verluste***

In der Metastudie werden ausschließlich die durch den Leitungsbetrieb bedingten technischen Verlustkennzahlen bzgl. Leistung und Energie in den Leitungen betrachtet. Verluste hängen von der Belastung und der Auslegung einer Leitung ab. Bei richtiger Auslegung ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ein wirtschaftliches Optimum von Erdkabelleitungen und Freileitungen angestrebt worden ist. Aus diesem Grund sind sowohl Erdkabelleitungen als auch Freileitungen für sich genommen wirtschaftlich optimiert. Die einzelnen Verlustfaktoren können zwischen Erdkabelleitung und Freileitung variieren. Die allgemeinen Studien zeigen auf, dass die lastunabhängigen Verluste bei Freileitungen geringer sind als bei Erdkabelleitungen. Zum selben Ergebnis kommen projektorientierte Studien.

Bei den lastabhängigen Verlusten hingegen verzeichnet die Freileitungsvariante bei identischem Betriebszustand höhere Verluste als die Erdkabelleitung. Nur wenige Studien adressieren die Zusatzverluste in Drosseln und in Schirmen, die bei Erdkabelleitungsstrecken auftreten, obwohl die Drosselverluste gemäß den Auswertungsergebnissen zahlenmäßig höher als die spannungsabhängigen Verluste sind. Schirmverluste können sowohl größer als auch kleiner

ner als die spannungsabhängigen Verluste sein. Das Ergebnis zeigt, dass ein Mangel an einem einheitlichen Referenzrahmen für die Durchführung der Verlustanalyse besteht. Weitere Recherchen und Überlegungen sind hier notwendig.

### ***Betrieb / Versorgungssicherheit***

Bei Betrachtung der Parameter Ausfallhäufigkeit, Reparaturdauer und Nichtverfügbarkeit stehen Freileitungen für den Normalbetrieb schneller wieder zur Verfügung als Erdkabelleitungen. Freileitungen haben zwar eine leicht höhere Ausfallhäufigkeit, dafür dauert die Reparatur bei Erdkabelleitungen länger. Die Nichtverfügbarkeit von Erdkabelleitungen kann deshalb zwischen 40- bis 270 Stunden pro Jahr höher sein als bei Freileitungen.

Bei reiner Betrachtung des Kriteriums Lebensdauer, müsste grundsätzlich immer die Variante Freileitung gewählt werden. Für Erdkabelleitungen gelten 20 bis 60 Jahre, für Freileitungen 40 bis 120 Jahre. Es gibt keine international gültigen regulatorischen Vorschriften auf diesem Gebiet. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass die entsprechenden Erfahrungswerte für Vernetzte Polyethylen (VPE)-Höchstspannungskabel noch fehlen und heute lediglich Schätzwerte angegeben werden können.

### ***Betriebswirtschaftliche Kosten***

Es war nicht Zielsetzung der Metastudie neue Berechnungen zu den Kostenkriterien anzustellen, sondern eine Übersicht über Kostenfaktoren, die in den analysierten Studien erarbeitet worden sind, darzustellen. Die Studien basieren nicht auf durchgängig einheitlichen betriebswirtschaftlichen und finanztechnischen Annahmen. Kosten beeinflussende Faktoren wie zum Beispiel Strompreise, Lebensdauer, Zinssätze, Abschreibungsdauern oder auch Belastungsprofile und Verluste sind in den untersuchten Studien mitunter nicht einheitlich verwendet worden. Dies gilt auch für Einflussfaktoren, wie Veränderung der Materialpreise über die Abschreibungsdauern.

Die Kostenbetrachtung beinhaltet drei Kriterien: Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtkosten. Nur 30% bis 35% der Studien greifen die Kriterien Betriebskosten inklusive Verluste und Gesamtkosten über die Lebensdauer auf. Wohingegen 60% das Kriterium Investitionskosten thematisieren. Eine volkswirtschaftliche Kostenbetrachtung, welche auch den Wert von Flächen, Boden oder Landschaft beinhaltet, wurde nicht vorgenommen, da sie in den betrachteten Studien gar nicht oder unzureichend thematisiert wurden.

Bei den Betriebskosten wurden in 60% der Studien nur Verlustkosten eingerechnet, obwohl auch Wartungs-, Unterhalts- und Nichtverfügbarkeitskosten in diese Kategorie gehörten. Nichtverfügbarkeitskosten haben einen großen Einfluss auf die Betriebskosten. Die Betriebskosten sind grundsätzlich von aktuellen Strompreisen abhängig. Im Falle einer Erhöhung der Strompreise ist die Betriebskostenrelation Freileitung / Erdkabelleitung allerdings weniger betroffen, da die Kosten für die Nichtverfügbarkeit einen dominanten Einfluss haben.

Es wurden in den meisten Fällen lediglich die Investitionskosten, nicht aber die Gesamtkosten über die Lebensdauer untersucht. Je höher die Spannungsebene, umso grösser wird der Unterschied bei den Investitionskosten – bis zu einem Faktor 13 (unter Abzug von Extremwerten).

Die Erdkabelleitungen sind in einer Gesamtkostenbetrachtung in der Regel teurer als Freileitungen. Der Unterschied in den Kosten kann sehr gering sein. Je nach Auslegung eines Pro-

jekts können aber Mehrkosten bis zu einem Faktor von 19 entstehen. Wie hoch effektiv die Gesamtkosten über die Lebensdauer ausfallen, hängt vom konkreten Projekt ab. Im Allgemeinen belegen die untersuchten Studien, dass die Gesamtkosten bei einer angesetzten Betrachtungsdauer von 80 Jahren für eine Kabelanlage größer sind als jene für eine Freileitungsanlage.

### ***Landschaftsbild***

Mit diesem häufig thematisierten Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf das Landschaftsbild, insbesondere durch die Sichtbarkeit von Leitungen und baulichen Konstruktionen, thematisiert und bewertet wurden. Freileitungen werden in hohem Masse negativ bewertet. Aber auch für die Erdkabelleitungen gibt es einige negative Bewertungen. Direkte Vergleiche der Auswirkungen auf das Landschaftsbild fallen immer zugunsten der Erdkabelleitung aus.

### ***Flora und Wald***

Hier wurde erfasst, ob Auswirkungen auf die Flora während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Waldrodungen, Niederhaltungen, Unterbrechungen von Biotopen thematisiert und bewertet wurden. Das Kriterium wurde in der Betriebsphase öfter thematisiert als in der Konstruktionsphase. Sowohl Erdkabelleitung als auch Freileitungen wirken sich in beiden Phasen (Konstruktion und Betrieb) negativ auf die Flora aus. Zum direkten Vergleich liegen nur wenige Daten vor. Die vorliegenden Daten fallen in der Konstruktionsphase zugunsten der Freileitung aus, in der Betriebsphase sind die Befunde widersprüchlich.

### ***Fauna***

Hier wurde erfasst, ob Auswirkungen auf die Fauna während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Stromschlag, Verlust von Rückzugsgebieten, Wanderungsbarrieren thematisiert und bewertet wurden. In der Betriebsphase wurde das Kriterium Fauna öfter thematisiert als in der Konstruktionsphase. Freileitungen werden sowohl in der Konstruktionsphase als auch im Betrieb negativ bewertet, zum Teil sogar sehr negativ. Für Erdkabelleitung gilt dieser Befund primär für die Konstruktionsphase. In der Betriebsphase sind die negativen Bewertungen für die Erdkabelleitung seltener.

### ***Böden***

Hier wurde erfasst, ob Auswirkungen auf Böden während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Bodenumlagerungen, Bodenverdichtung, Bodenerwärmung oder Kontamination thematisiert und bewertet wurden. Die Auswirkungen auf Böden wurden insbesondere für Erdkabelleitung in der Betriebsphase thematisiert. Sowohl Erdkabelleitung als auch Freileitungen werden in beiden Phasen negativ bewertet, Erdkabelleitung jedoch in erhöhtem Ausmaß. Die direkten Vergleiche zwischen Erdkabelleitung und Freileitung fallen in beiden Phasen ebenfalls zugunsten der Freileitungen aus.

### ***Lärm***

Hier wurde erfasst, ob Lärmbelästigung während der Konstruktions- und der Betriebsphase – zum einen durch Baulärm und zum anderen durch Betriebsgeräusche – thematisiert und bewertet wurden. Das Kriterium wurde insbesondere für 380-kV-Freileitungen in der Betriebsphase thematisiert. Während der Betriebsphase wurde das Kriterium Lärm fast überhaupt nicht bewertet. In der Konstruktionsphase werden vor allem Erdkabelleitungen bei diesem

Kriterium negativ bewertet. Es wurden in beiden Phasen kaum direkte Vergleiche zwischen Erdkabelleitungen und Freileitungen vorgenommen.

### ***Elektrische und Magnetische Felder***

Es wurde erfasst, ob Auswirkungen durch magnetische Felder auf den Menschen während der Betriebsphase beispielsweise in Form von Schlafstörungen, Krankheiten, Auswirkungen auf Herzschrittmacher thematisiert und bewertet wurden. Das Kriterium wurde sehr oft thematisiert. In den meisten Fällen gibt es keine klaren Bewertungen (neutrale, widersprüchliche oder keine Bewertungen). Für die Schweiz gibt es lediglich eine negative Bewertung für Freileitungen. Im direkten Vergleich schneiden Erdkabelleitungen in den Studien besser ab als Freileitungen.

### ***Akzeptanz in der Bevölkerung***

Mit diesem in einem guten Viertel der Fälle thematisierten Kriterium wurde erfasst, ob Aussagen über die Akzeptanz der geplanten Leitung in der Bevölkerung beispielsweise in Form von Protesten oder Einsprüchen thematisiert und bewertet wurden. Für Freileitungen fallen die Bewertung sehr häufig negativ aus. Im direkten Vergleich wird die Erdkabelleitung besser beurteilt.

### ***Störungen in der Betriebsphase***

Mit diesem sehr häufig untersuchten Kriterium wurde erfasst, ob Störungen – hervorgerufen durch gewollte und ungewollte menschliche Eingriffe oder Umwelteinwirkungen – thematisiert und bewertet wurden, die während der Betriebsphase zu Ausfällen oder negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen können. Insgesamt betrachtet waren die Bewertungen bei den Freileitungen weniger negativ als bei den Erdkabelleitungen. Bei beiden Leitungstypen wurden jedoch in weniger als der Hälfte der Fälle negative Bewertungen abgegeben. Im direkten Vergleich kommen die Studien zu widersprüchlichen Ergebnissen, wobei die Auswirkungen von Störfällen bei Freileitungen häufiger als weniger schwerwiegend beurteilt wurden als Störfälle bei Erdkabelleitungen.