

# Simulation und Nachbildung von Hochspannungsleitungen

## MSE Projektarbeit

### Student



David Berni

**Ausgangslage:** Die elektrische Energieversorgung ist ein Grundpfeiler unserer modernen, digitalisierten Gesellschaft. Die Erzeugung, Übertragung sowie der Verbrauch sind die drei massgebenden Grössen des Systems. Zunehmender Strombedarf, die Einspeisung von regenerativen Quellen sowie politische Einschränkungen im Bereich Netzbau erhöhen die Komplexität der Übertragung und Versorgung. Durch die Einspeisung von regenerativen Energiequellen erhöht sich die Schwierigkeit, die im Netz geforderte Frequenz (Netzfrequenz) und Spannung (Netzspannung) stabil zu erhalten. Zudem wird durch die Forderung nach mehr erdverlegten Hochspannungsleitungen die Schwierigkeit der Erstellung eines stabilen, verlustarmen Netzes erhöht.

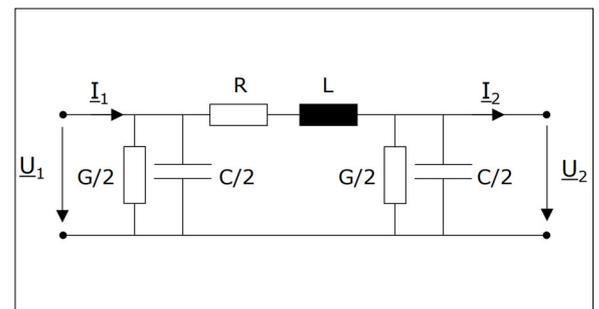
**Vorgehen:** In einem ersten Schritt wurde eine Software evaluiert, um die Komplexität in den elektrischen Netzen zu modellieren und damit Unterschiede der Energieübertragung via Freileitungen und Erdkabeln zu simulieren. Die simulierten Werte wurden anschliessend mit Matlab mathematisch verifiziert. In einem zweiten Schritt wurde für die messtechnische Validierung der Simulationen ein Emulator einer Freileitung geplant und gebaut. Der Emulator stellt eine 380kV Freileitung mit typischen Leitungsbelägen dar. Das Verhältnis für die Spannung und den Strom wurde 1/1000 gewählt. Die Leitungslänge kann wahlweise auf 200km oder 600km eingestellt werden. Der Emulator wurde so gebaut, dass er in Zukunft für Praktikas mit Studenten eingesetzt werden kann. Im dritten Schritt konnten einige Simulationen aus dem ersten Schritt mit dem gebauten Emulator messtechnisch verifiziert werden.

**Fazit:** Die Simulationssoftware EMTP erwies sich als gutes Tool, um die geforderten Netzsimulationen durchzuführen. Mittels der Simulationen von Freileitungen und Erdkabeln konnten deren Verhalten und vor allem die entstehenden Verluste in den Leitungen durch die Aufnahme von Blindleistung aufgezeigt werden. Es konnte gezeigt werden, wieso aus technischer Sicht der Einsatz von Freileitungen dem Einsatz von Erdkabeln klar vorzuziehen ist. Die Verluste im Betrieb aufgrund der benötigten Blindleistung sind bei den Erdkabeln deutlich höher, was dazu führt, dass die Kabel viel öfters kompensiert werden müssen. Die Verluste einer Freileitung im Leerlauf betragen in der Simulation nur gerade 3.3% der Verluste des Erdkabels und im Kurzschlussfall sind die Ströme bei den Erdkabeln deutlich höher. Dies sind einige der Gründe, wieso Übertragungsleitungen nur wenn unbedingt notwendig für kurze Strecken als Erdkabel ausgeführt werden. Die mathematische Verifikation der simulierten Werte mit Matlab hat sehr gut funktioniert und konnte vor allem Unklarheiten bezüglich der

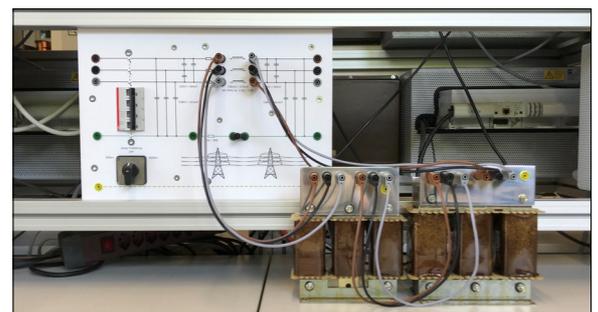
korrekten Eingabe in der Simulationssoftware beseitigen. Durch den Einsatz von PCBs und dem externen Anschluss der Induktivitäten konnte der Emulator platzsparend umgesetzt werden. Er funktioniert wie vorgesehen und kann für Praktikas verwendet werden. Unter der Voraussetzung, dass die Simulation an die gemessenen Parameter des Versuchsaufbaus angepasst wurde, entsprachen die am Emulator gemessenen Werte mit kleinen zu erwartenden Abweichungen denen der Simulationen.

### PI-Modell einer Leitung

Prof. Dr. M. Geidl, Vorlesungsunterlagen Energiesysteme



### Emulator Freileitung 200km/600km mit externen Induktivitäten Eigene Darstellung



**Examinator**  
Prof. Dr. Michael  
Schueller

**Themengebiet**  
Energy and  
Environment