

**Jahresbericht 2002, 31. Januar 2003**

# Projekt

## Marktpotential von supraleitenden Strombegrenzern

Autor und Koautoren	M. Lakner, D. Braun
beauftragte Institution	ABB Forschungszentrum
Adresse	Baden-Dättwil
Telefon, E-mail, Internetadresse	058-586 8017, <a href="mailto:martin.lakner@ch.abb.com">martin.lakner@ch.abb.com</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	44 237 / 84 281
Dauer des Projekts (von – bis)	1. 3. 2002 – 30.9.2003

### ZUSAMMENFASSUNG

Supraleitende Strombegrenzer (SSB) nutzen den Übergang des Supraleiters vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand. Die kleine Impedanz eines SSB im supraleitenden Normalbetrieb erlaubt es, an sich widersprüchliche Forderungen nach kleiner Netzimpedanz bei gleichzeitig kleinen Kurzschlussströmen zu realisieren.

Der Inhalt des Projektes für 2002 umfasste folgende Zielsetzungen:

- Erstellen einer praxisorientierten Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten von SSB und Identifikation der vielversprechendsten Anwendungen unter Berücksichtigung der derzeitigen technischen Realisierungsmöglichkeiten.
- Zusammenstellung der technischen Anforderungen an SSB.

Die im Jahr 2002 durchgeführten Arbeiten zeigen, dass durch den Einsatz von SSB ein z.T. beachtliches Kosteneinsparpotential realisiert werden könnte, insbesondere bei Neuanlagen und Erweiterungen von bestehenden Anlagen.

Die technischen Eigenschaften von heute realisierbaren Strombegrenzern erfüllen die Anforderungen von Anwendungen in Netzkupplungen. Für die Anwendung in Einspeisungen und Abgängen müssten noch sowohl die Begrenzungscharakteristik als auch die Verfügbarkeit nach einem Kurzschluss verbessert werden.

Für 2003 ist eine Abschätzung des Marktpotentials und –volumens für die ermittelten attraktivsten Anwendungen vorgesehen.

## Projektziele

Supraleitende Strombegrenzer (SSB) nutzen den Übergang des Supraleiters vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand. Die kleine Impedanz eines SSB im supraleitenden Normalbetrieb erlaubt es, an sich widersprüchliche Forderungen nach kleiner Netzimpedanz bei gleichzeitig kleinen Kurzschlussströmen zu realisieren. Da der Wechsel vom nahezu widerstandslosen zum resistiven Zustand ohne Einwirkung eines äusseren Triggersignals allein durch den ansteigenden Kurzschlussstrom ausgelöst wird, versprechen SSB eine hohe Eigensicherheit.

Der Inhalt des Projektes umfasst folgende Zielsetzungen:

- Erstellen einer praxisorientierten Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten von SSB sowie der Ergebnisse der bisherigen Studien
- Zusammenstellung der technischen Anforderungen an SSB für den Einsatz in Netzen der elektrischen Energieversorgung spezifisch für die jeweilige Anwendung (erforderliche Begrenzungscharakteristik, Fehlerdauern, „Recovery“-Zeiten, etc.)
- Aufzeigen der konventionellen Alternativen zur Anwendung von SSB
- Identifikation der vielversprechendsten Anwendungen für SSB (einschliesslich der Auswahl interessanter Fallbeispiele) nach den Auswahlkriterien:
  - a) Die aktuelle technische Realisierbarkeit entspricht dem Anforderungskatalog der Anwendung. Zur Abklärung dieses Kriteriums sind detaillierte dreiphasige Simulationen des Verhaltens eines SSB in konkreten Anwendungsbeispielen erforderlich.
  - b) Die jeweilige Anwendung lässt eine hohe Wertschätzung des SSB erwarten (auf Basis der bisherigen Studien)
- Abschätzung des Marktpotentials und –volumens für die zuvor ermittelten attraktivsten Anwendungen, vorzugsweise unter Beteiligung eines Netzbetreibers

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Literaturrecherche und Anforderungen an den SSB

Im ersten Projektabschnitt wurde eine Literaturrecherche zum Einsatz von SSB durchgeführt, sowie ein Anforderungskatalog für die jeweiligen Anwendungen erstellt [1-5]. Grundsätzlich kann zwischen Anwendungen in Einspeisungen, Kupplungen und Abgängen unterschieden werden. Abhängig von diesen Kategorien ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an den SSB bezüglich Begrenzungsverhalten und Verfügbarkeit nach einem Kurzschluss.

Die Figuren 1 bis 4 zeigen beispielhaft einige Anwendungsmöglichkeiten von supraleitenden Strombegrenzern.

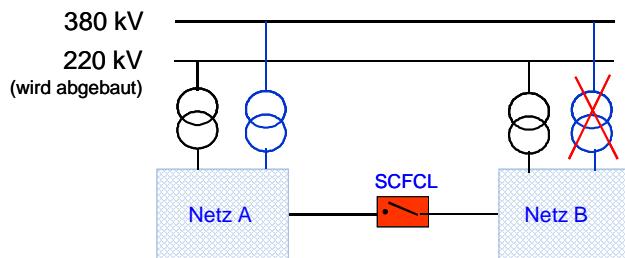


Fig. 1: Kupplung von HV-Netzen

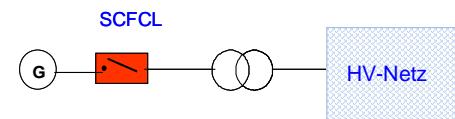


Fig. 2: Zusätzliche Einspeisung in existierende Netze (HV oder MV)

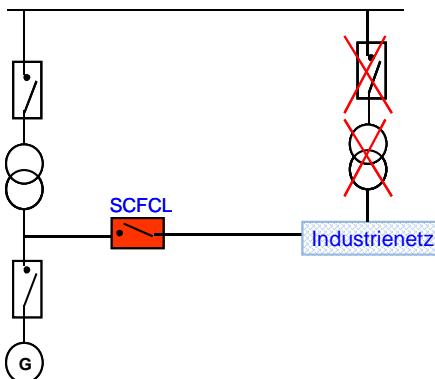


Fig. 3: Versorgung lokaler Industrie direkt auf MV-Ebene

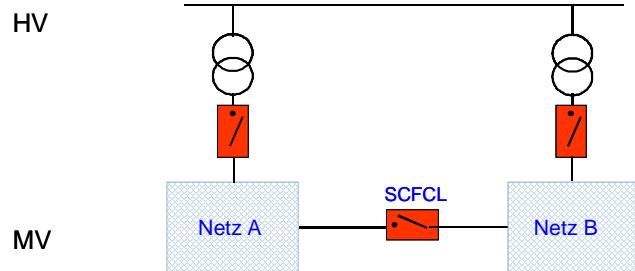


Fig. 4: Einspeisung oder Kupplung von MV-Netzen

### Entwicklung supraleitender Strombegrenzer bei ABB

Bei ABB wurde ein Prozess entwickelt mit dem supraleitende Platten mit Ausdehnungen bis zu  $40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  produziert werden können. Diese supraleitenden Platten werden dann zu Mäandern strukturiert und mit auflaminiertem glasfaserverstärktem Kunststoff mechanisch verstärkt. Zur elektrischen Stabilisierung wird Stahl als Bypass eingesetzt, der auch zur zusätzlichen mechanischen Verstärkung dient. Fig. 5 zeigt einen Stapel aus solchen seriell geschalteten Modulen mit einer Nennleistung von 1.6 MVA. Auf Basis dieser Technologie wurde ein 6.4 MVA-Demonstrator erfolgreich getestet.

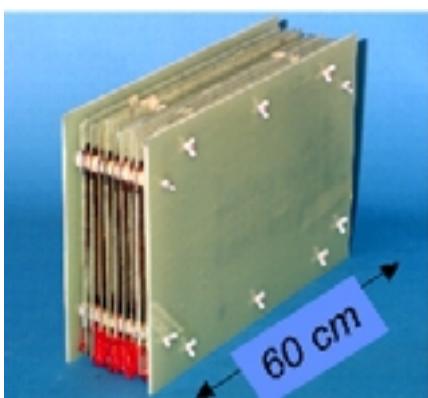


Fig. 5: Seriell geschaltete Strombegrenzermodule

## **Analyse der Netzstruktur bei Elektrizitätswerken**

Im nächsten Schritt wurde die Netzstruktur und die Betriebsweise von verschiedenen Elektrizitätswerken in der Schweiz analysiert:

### a) Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)

Das ewz stellte die Daten von Teilen ihres Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz für Simulationen zur Verfügung. Das MS-Netz des ewz in Ringen aufgebaut, welche als geschlossene Ringe betrieben werden. Im Falle eines Kurzschlusses werden die Ringe aufgetrennt und das Netz soweit möglich als Strahlennetz weiterbetrieben. Das NS-Netz wird pro Trafo als geschlossener Ring und teilweise auch vermascht betrieben. Dabei erfolgt keine Verbindung zwischen zwei Trafostationen. Ausnahmsweise können auch zwei Trafo einer Trafostation in einen NS-Ring einspeisen.

Das ewz ist an einer Reduktion des Kurzschlussstromes auf der MS-Ebene interessiert. Betroffen davon wären ca. 800 Anlagen, d.h. Transformatorenstationen mit MS-Schaltanlagen. Bei einer Lebensdauer von 40 Jahren entspricht dies einem Erneuerungsbedarf von 20 Anlagen pro Jahr. Durch die Kurzschlussstrombegrenzung können vor allem die Kosten der Trafostationen reduziert werden. Eine Reduktion des Kurzschlussstromes, so dass eine dauernde Parallelschaltung zweier Transformatoren möglich ist, wäre für das ewz ideal.

### b) Elektrizitätswerk der Stadt Luzern (ewl)

Die Mittelspannungs- und Niederspannungsnetze der ewl sind vermascht aufgebaut, werden aber sternförmig betrieben. Einzelne Netzteile sind in Neplan 2000 vorhanden und können ab Januar 2003 für Simulationen zur Verfügung gestellt werden.

Beim ewl ist prinzipiell ein Einsatz von supraleitenden Strombegrenzern möglich. Es besteht ein konkreter Bedarf, da zur Zeit abgeklärt werden muss, ob zukünftig Material beschafft werden soll, das für 31 kA oder für 25 kA ausgelegt sein muss. Was vor allem interessiert, ist die mögliche Reduktion der Kosten für die zu ersetzenen Transformatorenstationen beim Einsatz von SSB in den Unterwerken.

## **Vorbereitende Aktivitäten für die Marktanalyse**

Des Weiteren wurden Unterlagen, d.h. eine Frageliste zur Kontaktaufnahme mit weiteren Netzbetreibern erstellt. Diese Liste enthält Fragen zum Aufbau und dem Betrieb des Netzes sowie zum aktuellen Schutzkonzept. Ebenfalls wird nachgefragt, ob schon Einrichtungen zur Kurzschlussstrombegrenzung eingesetzt werden und ob allenfalls Kunden der Netzbetreiber, d.h. Endverbraucher oder Erzeuger am Netz Interesse an einer Reduktion des maximalen Kurzschlussstromes haben.

## **Analyse eines Industrienetzes**

Im Rahmen des Projektes wurde ein grosses Mittelspannungsnetz (chemische Industrie) analysiert. In diesem Fall wird der SSB in der Sammelschienenkupplung eingesetzt. Die durchgeföhrten Simulationen ergaben, dass eine Kupplung der zwei Sammelschienenabschnitte mittels SSB möglich ist, ohne die Betriebsmittel zu verstärken. Dadurch wird eine wesentlich grössere Verfügbarkeit der Anlage erreicht. Zum Erreichen eines vergleichbaren Resultates wären im betrachteten Fall Investitionen von drei Millionen Euro erforderlich.

In Fig. 6 ist das Prinzipschema der Anlage mit dem SSB in der Kupplung dargestellt.

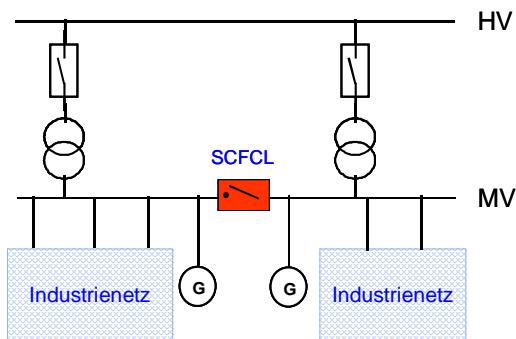


Fig. 6: Prinzipschema

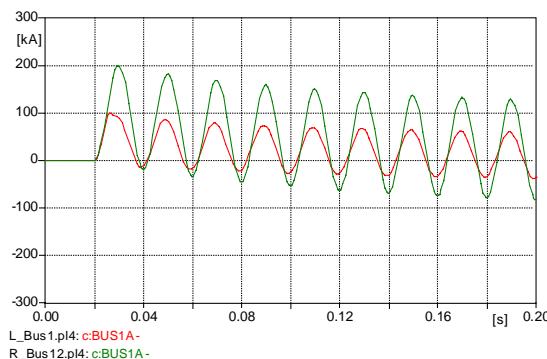


Fig. 7: Verlauf des Kurzschlussstroms in einer Phase mit (rot) und ohne (grün) SSB

Fig. 7 zeigt den Verlauf der Kurzschlussströme in einem Sammelschienenabschnitt mit (rot) bzw. ohne (grün) SSB bei gekuppelten Sammelschienen. Im Prinzip kann durch den Einsatz eines SSB der Kurzschlussstrom bei gekuppelten Sammelschienen auf den Kurzschlussstrom in einem Sammelschienenabschnitt reduziert werden.

### Kosteneinsparpotential

Im Weiteren wurde das Kosteneinsparpotential verschiedener Betriebsmittel durch den Einsatz von SSB ermittelt.

### Transformatoren

Die Reduktion der Kurzschlussimpedanz und des primärseitigen Kurzschlussstromes bei Transformatoren zeigt folgende mögliche Kostenreduktionen:

- Verteiltransformatoren: keine Kostenreduktion.
- Industrietransformatoren: Kostenreduktion von 5 % - 10 % möglich.
- HS/MS-Autotransformatoren: Kostenreduktion von 15 % - 20 %, wenn  $I_k'' < 3 I_{Nenn}$  beträgt.
- UW-Transformatoren: Kostenreduktion von 1.5 % pro Faktor 2 des Kurzschlussstromes.

Bei Verteiltransformatoren mit einer Nennleistung von 1000 kVA, 630 kVA und 400 kVA wirkt sich eine Reduktion des primärseitigen Kurzschlussstromes nicht auf die Sekundärseite aus.

Fazit: Der Einsatz von SSB bewirkt bei den Transformatoren keine relevanten Kostenreduktionen.

## Mittelspannungsschaltanlagen

Fig. 8 zeigt ein Schema einer Modelltransformatorenstation.

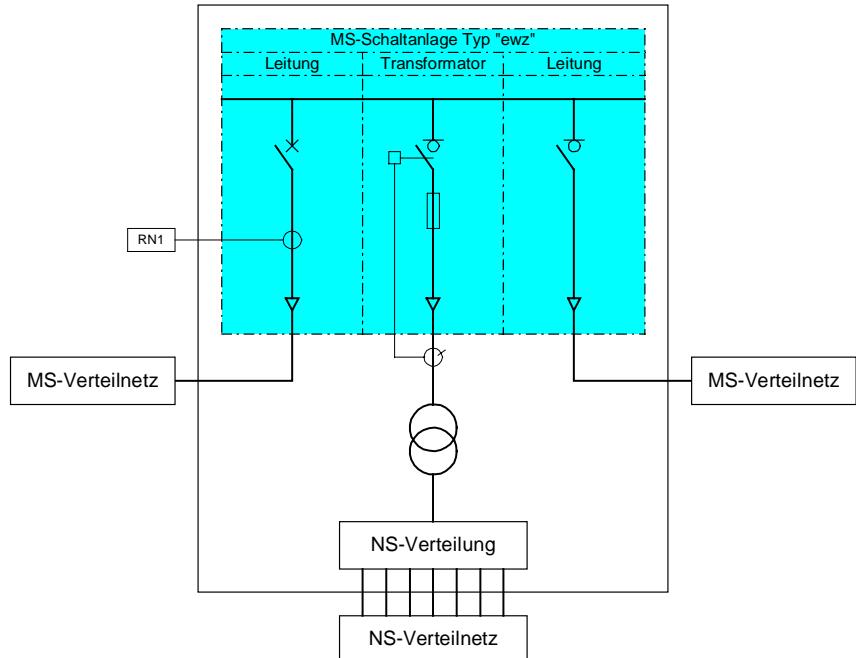


Fig. 8: Schema der Modelltransformatorenstation

Für diese MS-Schaltanlage gelten abhängig vom Kurzschlussstrom die folgenden Preise:

- 24 kV, 25 kA Preis Fr. 36'500.--
- 24 kV, 16 kA Preis Fr. 35'000.--
- 24 kV, 12 kA Preis Fr. 35'000.--

Die MS-Schaltanlagen sind mindestens für einen Kurzschlussstrom von 16 kA ausgelegt, daher ergeben sich bei kleineren maximalen Kurzschlussströmen keine Preisreduktionen mehr. Für kleinere Kurzschlussströme müssten neue Anlagen entwickelt werden.

## Mittel- und Niederspannungskabel

Fig. 9 und 10 zeigen eine Kostenzusammenstellung von Mittel- bzw. Niederspannungskabeln mit unterschiedlichen Querschnitten.

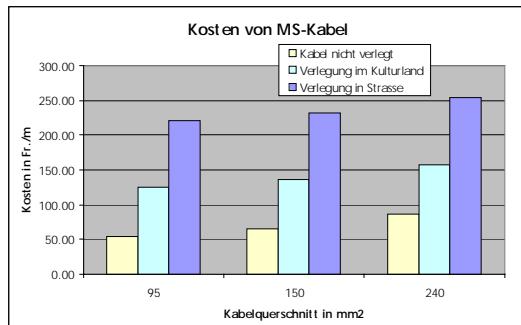


Fig. 9: Preise von Mittelspannungskabel:  
„nicht verlegt“ und „verlegt“

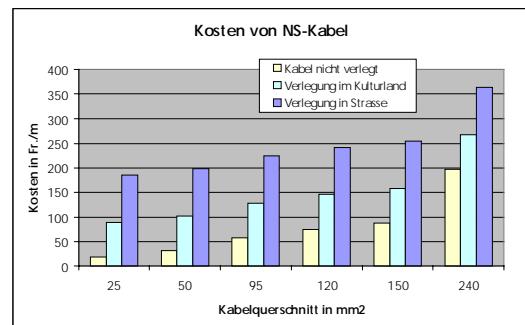


Fig. 10: Preise von Niederspannungskabel:  
„nicht verlegt“ und „verlegt“

Diese Preiszusammenstellung zeigt, dass die Kurzschlussreduktion durchaus auch für den Einsatz von Kabeln interessant sein kann.

## Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Schnyder Ingenieure AG durchgeführt. In die Projektaktivitäten sind die Firmen ABB Secheron und Kabelwerke Brugg AG integriert worden.

## Internationale Zusammenarbeit

Eine Zusammenarbeit auf internationaler Ebene ist derzeit noch verfrüht.

## Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Die im Jahr 2002 durchgeführten Arbeiten zeigen, dass durch den Einsatz von SSB ein z.T. beachtliches Kosteneinsparpotential realisiert werden könnte, insbesondere bei Neuanlagen und Erweiterungen von bestehenden Anlagen.

Die technischen Eigenschaften von heute realisierbaren Strombegrenzern erfüllen die Anforderungen von Anwendungen in Netzkupplungen. Für die Anwendung in Einspeisungen und Abgängen müssten noch sowohl die Begrenzungscharakteristik als auch die Verfügbarkeit nach einem Kurzschluss verbessert werden.

Die bisher durchgeführten Arbeiten schaffen die Grundlagen für weitere Befragungen von potentiellen Anwendern, die für das Jahr 2003 vorgesehen sind. Selbstverständlich sollen diese Anwenderkontakte durch weitere Simulationen des Verhaltens eines SSB im jeweiligen Netz ergänzt werden.

## Referenzen

- [1] „Anwendung der Hochtemperatursupraleitung in elektrischen Netzen“, PSEL, ABB, BFE, RDP-CREE, 2000
- [2] „Supraleitende Strombegrenzer als neuartige Betriebsmittel in Elektroenergiesystemen“, M. Noe (Dissertation U. Hannover), 1998
- [3] Raytheon-Studie, USA (ABB intern)
- [4] Systemstudie supraleitende strombegrenzende Transformatoren, USETI, (ABB intern)
- [5] „Supraleitender Strombegrenzer, Anwendungen“, Koepli Power Experts, 2000 (ABB intern)