

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 100 (2009)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Schnelles Abstimmen gelöschter Netze  
**Autor:** Druml, Gernot / Frankenreiter, Manfred  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856392>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Schnelles Abstimmen gelöschter Netze

## Kürzere Dauer der Fehlabbstimmungen dank weniger Verstellungen der Petersen-Spule

In diesem Beitrag wird ein neues Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Abstimmung eines gelöschten Netzes vorgestellt. Basis für die Berechnung ist das Einspeisen eines Stroms mit 2 Frequenzen  $\neq 50$  Hz. Daraus kann die Verstimmung ohne Verstellung der Petersen-Spule bestimmt werden. Das Hauptproblem für die richtige Berechnung der Leiter-Erde-Kapazität bzw. des Resonanzpunkts des gelöschten Netzes ist die nicht vorhandene oder sehr kleine Verlagerungsspannung in den heutigen 20-kV-Verteilnetzen. Diese üblichen Störeinflüsse auf die Verlagerungsspannung, verursacht durch Übersprechen des Mitsystems, werden bei dem vorgestellten Verfahren unterdrückt. Sowohl die Anzahl der erforderlichen Verstellungen der Petersen-Spule als auch die Dauer der Fehlabbstimmungen werden durch das neue Verfahren stark reduziert.

In vielen Ländern der EU ist die Erdschlusslöschung eine der wichtigsten Optionen bei der Planung von Elektrizitätsverteilungsnetzen, um eine optimale Energieversorgungsqualität zu erreichen. Der

Gernot Druml, Manfred Frankenreiter

Hauptvorteil dieser Art der Sternpunktbehandlung ist, dass auch während des Erdschlusses die Energieversorgung aufrechterhalten bleibt. Als Folge wird die Anzahl der Versorgungsunterbrechungen für den Kunden stark reduziert.

Weitere wesentliche Vorteile der Erdschlusslöschung sind:

- Reduzierung des Stroms über die Fehlerstelle
- Reduzierung der Zerstörung an der Fehlerstelle
- Reduzierung der Berühr- und Schrittspannung in der Umgebung der Fehlerstelle
- Langsamere Wiederkehr der Leiter-Erde-Spannung nach dem Verlöschen des Lichtbogens
- Verlöschen des Lichtbogens in Freileitungsnetzen

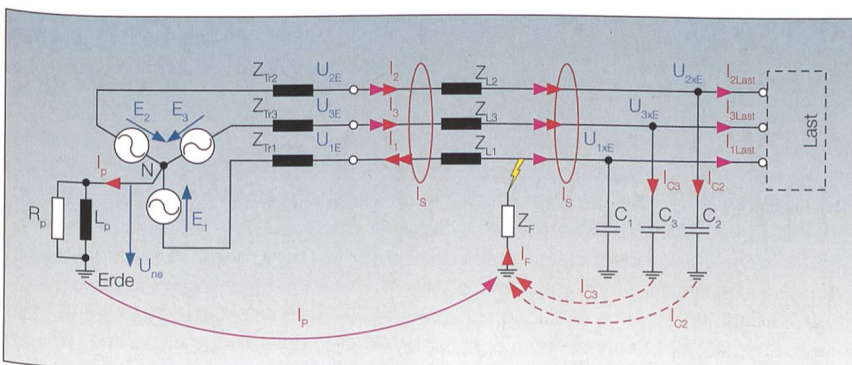


Bild 1 Einfaches Netz mit Erdschlusskompensation.

- Verbesserung der Power Quality durch die Reduktion der Anzahl und der Dauer der Versorgungsunterbrechungen
- Reduktion der Gefahr von Kippschwingungen

Die Abstimmung der Petersen-Spule ist eine Präventivmassnahme, die bereits im gesunden Netz durchgeführt wird [7]. Die Verhältnisse im Erdschlussfall sind in Bild 1 dargestellt. Es ist leicht erkennbar, dass durch Verstellung der Petersen-Spule der Strom über die Fehlerstelle minimiert werden kann.

Mit den derzeit verfügbaren Methoden ist es leider nicht möglich, die Netzparameter während eines satten Erdschlusses zu bestimmen. Der Fehlerort und die Impedanz der Fehlerstelle sind normalerweise unbekannt und einer Messung nicht zugänglich.

In der Vergangenheit sind die unterschiedlichsten Regelalgorithmen zur Abstimmung der Petersen-Spule im gesunden Netz entwickelt worden [3, 5]. Die meisten dieser Algorithmen basieren auf einer notwendigen Verstellung der Petersen-Spule. Die heutigen Netze sind einerseits charakterisiert durch eine Zunahme von sehr symmetrischen Kabeln, was sich in einer wesentlich kleineren, verwendbaren Nullspannung auswirkt, und andererseits durch eine Zunahme des Übersprechens des Mitsystems auf das Nullsystem [3].

In Bild 2 ist der Tagesverlauf des Übersprechens dargestellt. Der Beginn der Arbeit, die Vormittagspause, die Mittagspause sowie das Ende der Arbeit können eindeutig zugeordnet werden.

Durch die reduzierte Nullspannung müssen die Regler wesentlich empfindlicher eingestellt werden. Durch das Übersprechen des Laststroms auf das Nullsystem löst jede Änderung des Laststroms einen Abstimmvorgang aus, welcher bei den meisten der heute verwendeten Algorithmen zu einer Verstellung der Petersen-Spule führt.

Durch das Übersprechen wird die Parameter-Schätzung des Netzes wesentlich erschwert, und eine Verstimmung der Petersen-Spule über einen grösseren Verstellbereich wird erforderlich. Trotz des grossen

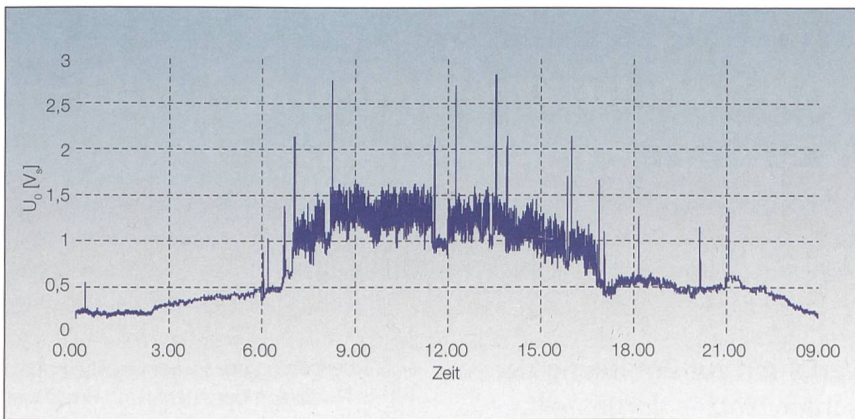


Bild 2 Übersprechen des Laststroms auf die Nullspannung.

Verstellweges ist es manchmal nicht möglich, eine korrekte Abstimmung durchzuführen. Mit der neuen Methode ist es hingegen möglich, eine korrekte Verstimmung auch ohne Verstellung der Petersen-Spule zu berechnen.

Dies ist sogar dann möglich, wenn die natürliche Verlagerungsspannung 0 ist oder die Störung durch das Übersprechen nicht vernachlässigbar ist. Die berechnete Verstimmung wird zur Überprüfung verwendet, ob die Petersen-Spule innerhalb eines definierten Toleranzbereichs der Sollverstimmung liegt oder ob sie nachgestellt werden muss.

Dadurch werden die Anzahl der notwendigen Verstellungen und die Dauer der Fehl-Abstimmung der Petersen-Spule wesentlich reduziert.

### Prinzip des neuen Algorithmus

Alle bestehenden Algorithmen basieren auf der Tatsache, dass die Verlagerungsspannung entweder durch die natürliche Unsymmetrie des Netzes [6] oder durch eine 50-Hz-Stromeinspeisung hervorgerufen wird. Diese Algorithmen [5] gehen davon aus, dass während des Abstimm- bzw. Berechnungsvorgangs keine Änderung der natürlichen Unsymmetrie des Netzes bzw. keine Änderung des Übersprechens durch den Laststrom auftritt. Dabei ist zu beachten, dass der Berechnungsvorgang zwischen einigen Sekunden bis zu einigen Minuten dauern kann.

In der Realität sind diese Annahmen allerdings nicht gültig, so beispielsweise im Bereich der Schwerindustrie mit symmetri-

schen Netzen und extrem starken Schwankungen des Laststroms. Der CIF-Algorithmus (Control by Injecting Frequencies) unterdrückt das 50-Hz-Übersprechen des Laststroms durch Verwendung von Frequenzen  $\neq 50$  Hz.

Im Bild 3 ist das vereinfachte Ersatzschaltbild der Stromeinspeisung für Frequenzen  $\neq 50$  Hz dargestellt. Beachtet wurde hier bereits, dass die 50-Hz-Spannungsquellen des Mitsystems für Frequenzen  $\neq 50$  Hz einen Kurzschluss darstellen.

Für die Frequenz  $f_n$  kann die Admittanz für ein Netz mit einer kleinen natürlichen Unsymmetrie  $Y_U$  aus Sicht der Stromeinspeisung wie folgt beschrieben werden:

$$Y_{Cl\_fn} = \frac{I_{Cl\_fn}}{U_{NE\_fn}} \approx Y_W + j \left( \omega_n C - \frac{1}{\omega_n L} \right)$$

Durch die Verwendung von 2 unterschiedlichen Frequenzen erhält man 2 komplexe Gleichungen für 3 Unbekannte, die einfach gelöst werden können. Die Annahme eines linearen Systems ermöglicht die Einspeisung von 2 Frequenzen und die Berechnung der zugehörigen Admittanzen  $Y_{Cl\_fn}$  zur gleichen Zeit. Dies ermöglicht eine sehr schnelle Messung und Berechnung innerhalb von 240 ms.

Die folgenden Punkte stellen die Hauptvorteile des CIF-Algorithmus dar:

- sehr schnelle Messung
- verwendbar auch für vollkommen symmetrische Netze
- unempfindlich gegenüber dem Messfehler der offenen Dreieckswicklung
- Unterdrückung des 50-Hz-Übersprechens durch den Laststrom
- Berechnung der Verstimmung erfolgt ohne Verstellung der Petersen-Spule
- automatische Anpassung an unterschiedliche Resonanzkurven

Die einzuspeisenden Frequenzen können einfach mithilfe einer Phasenanschnittsteuerung nach Bild 4 realisiert werden.

Durch eine Puls-Amplituden-Modulation (PAM) kann erreicht werden, dass die wesentlichen Spektralanteile des eingespeisten Stroms über definierte Periodenlängen  $\neq 50$  Hz sind. Dies wird in Bild 5 gezeigt.

Durch eine Phasenanschnittsteuerung ist eine einfache Anpassung des einzuspei-

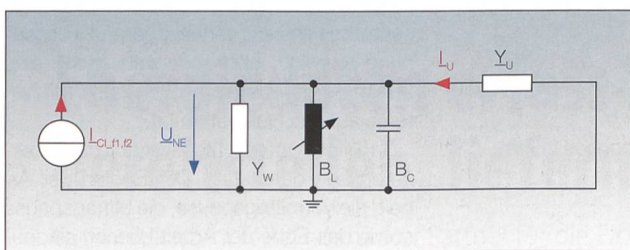


Bild 3 Ersatzschaltbild der Stromeinspeisung für Frequenzen  $\neq 50$  Hz.

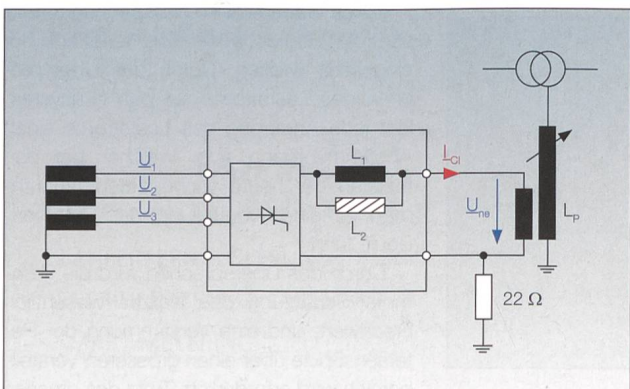


Bild 4 Thyristor-Phasenanschnittsteuerung.

### Hinweis

Ein umfangreicher Text zu diesem Thema mit vielen Grundlageninformationen befindet sich unter [www.technik-forum.ch](http://www.technik-forum.ch). Er steht dort bei den Downloads unter dem Themenpunkt «Elektrische Energietechnik», Bereich «Installationen Hoch- und Mittelspannung», zur Verfügung.

fachbeiträge

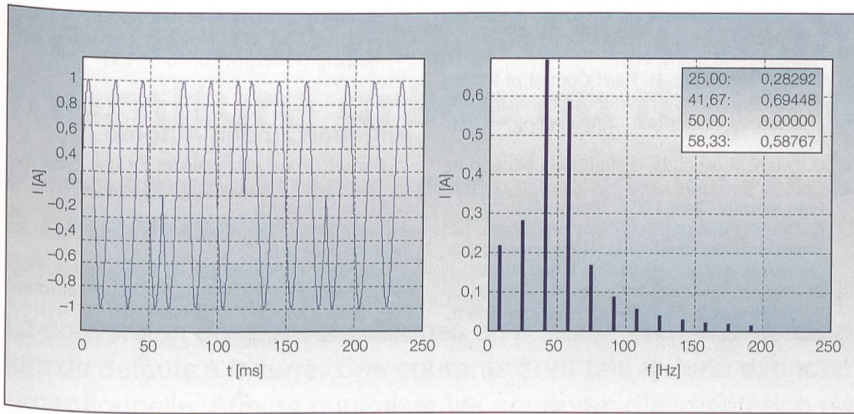


Bild 5 Einspeisestrom und zugehörige FFT.

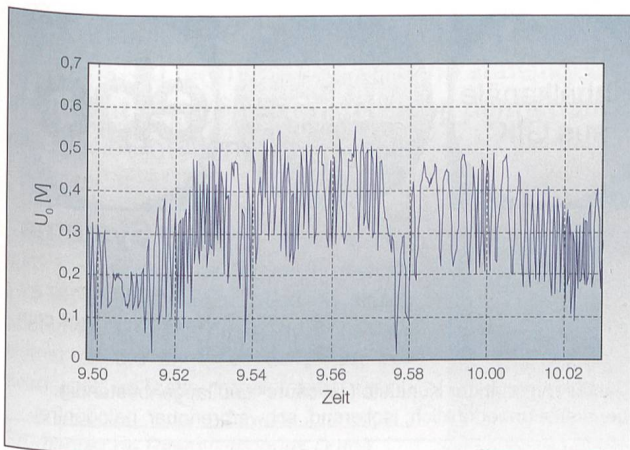


Bild 6 Verlauf der gestörten Verlagerungsspannung  $|U_0|$ .

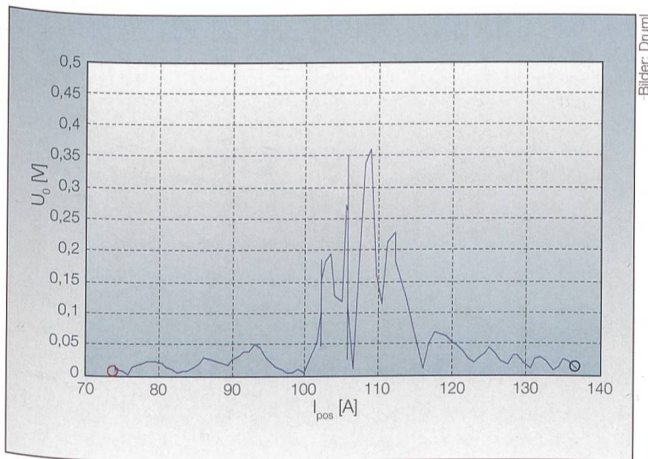


Bild 7 Gestörte Resonanzkurve.

Bilder: Drumm

senden Stroms möglich. Dadurch kann die Einspeiseleistung für kleine Netze einfach reduziert werden. Würde man auch bei kleinen Netzen mit der vollen Leistung einspeisen, würde man dadurch sofort eine grosse Verlagerungsspannung und somit eine Erdschlussmeldung erzeugen. Weitere Details, wie die Frequenzen erzeugt werden, sind ausführlich in [2, 4, 5] beschrieben.

### Erste Betriebserfahrungen

Im Folgenden wird ein Netz als Beispiel für die inzwischen sehr zahlreichen Installationen herausgegriffen. Aus Bild 6 ist erkennbar, dass die Verlagerungsspannung sehr klein und nicht stabil ist. In Bild 7 ist die zugehörige Resonanzkurve dargestellt, die aber bei jedem Durchlauf anders aussieht.

Weitere Untersuchungen ergaben, dass das Übersprechen durch die 3. Harmonische eines 16,7-Hz/110-kV-Bahnnetzes verursacht wird, das über eine längere Strecke parallel zum 20-kV-Netz verläuft. Die 16,7 Hz sind gegenüber dem 50-Hz-Netz nicht synchronisiert, sodass eine variable Schwebung im 20-kV-Netz verursacht wird.

Durch diese Schwebung wird die Resonanzkurve natürlich, wie im Bild 7 dargestellt, gestört. Für einen Petersen-Spulen-Regler mit einem Standardsuchalgorithmus ist eine korrekte Abstimmung nicht möglich. Zusätzlich würde dieser Regler dauernd auslösen und versuchen, die Spule abzustimmen. Die Anzahl der Suchvorgänge und die Dauer der Fehlabbastimmung steigen dadurch stark an. Eine Petersen-Spule ist normalerweise aber nicht für eine derartige mechanische Beanspruchung ausgelegt.

### Fazit

In diesem Beitrag wurde ein neues Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Abstimmung eines gelöschten Netzes vorgestellt. Die Berechnung der Verstimmung erfolgt dabei ohne Verstellung der Petersen-Spule und ist auch für symmetrische Netze geeignet. Durch die variable Stromeinspeisung erfolgt eine automatische Anpassung an unterschiedliche Netzformen. Eine Berechnung der aktuellen Verstimmung ist auch bei stark über- oder unterkompensierten Netzen möglich. Übliche Störeinflüsse auf die Verlagerungsspannung, verursacht durch Übersprechen des Mitsystems, werden bei diesem neuen Verfahren unterdrückt. Sowohl die Anzahl der erforderlichen Verstellungen der Petersen-Spule als auch die Zeit der Fehlabbastimmungen werden durch das neue Verfahren stark reduziert.

### Résumé

#### Compensation rapide des réseaux à extinction

Durée abrégée des défauts d'équilibrage grâce à un nombre réduit de réglages de la bobine de mise à la terre. L'article présente un nouveau procédé d'équilibrage actuel d'un réseau à extinction. La base de calcul est fournie par l'injection d'un courant à deux fréquences  $\neq 50$  Hz. Cela permet de déterminer le déséquilibre sans régler la bobine de mise à la terre. Le principal problème dans le calcul correct de la capacité conducteur-terre ou du point de résonance du réseau est la tension de décalage non-existante ou très faible dans les réseaux 20 kV actuels. Ces perturbations courantes de la tension superposée, provoquées par inductions depuis le co-système, sont supprimées par le procédé présenté. Le nouveau procédé réduit fortement tant le nombre de réglages de la bobine de mise à la terre que la durée des défauts de compensation.

Die Ergebnisse aus dem Beispiel zeigen sehr überzeugend die Vorteile des CIF-Algorithmus. Auch die inzwischen sehr zahlreichen Installationen in vielen anderen Umspannwerken haben die Wirksamkeit des neuen Konzepts bestätigt.

**Referenzen**

[1] J. Bergeal, L. Berthet, O. Grob, P. Bertrand, B. Lacroix: Singlephase faults on compensated neutral medium voltage networks, Cired 1993, Vol. 2, 2.9.1–2.9.5, 1993.

[2] G. Druml: Petersen-Coil Controller REG-DP, Operation Manual, A. Eberle GmbH & CoKG, Nürnberg, Germany, 2007.  
 [3] G. Druml, A. Kugi, B. Parr: Control of Petersen Coils, XI. International Symposium on Theoretical Electrical Engineering, Linz, 2001.  
 [4] G. Druml, A. Kugi, O. Seifert: New Method to Control Petersen Coils by Injection of Two Frequencies, Cired 2005, Turin, 2005.  
 [5] G. Druml: Regelung von Petersen Spulen, 13. Steirisches Seminar über Regelungstechnik und Prozessautomatisierung, Graz, 2003.  
 [6] G. Herold: Elektrische Energieversorgung II, J. Schlembach Fachverlag, Weil der Stadt, Germany, 2002.

[7] R. Willheim, M. Waters: Neutral Grounding in High-Voltage Transmission, Elsevier Publishing Company, London, 1956.

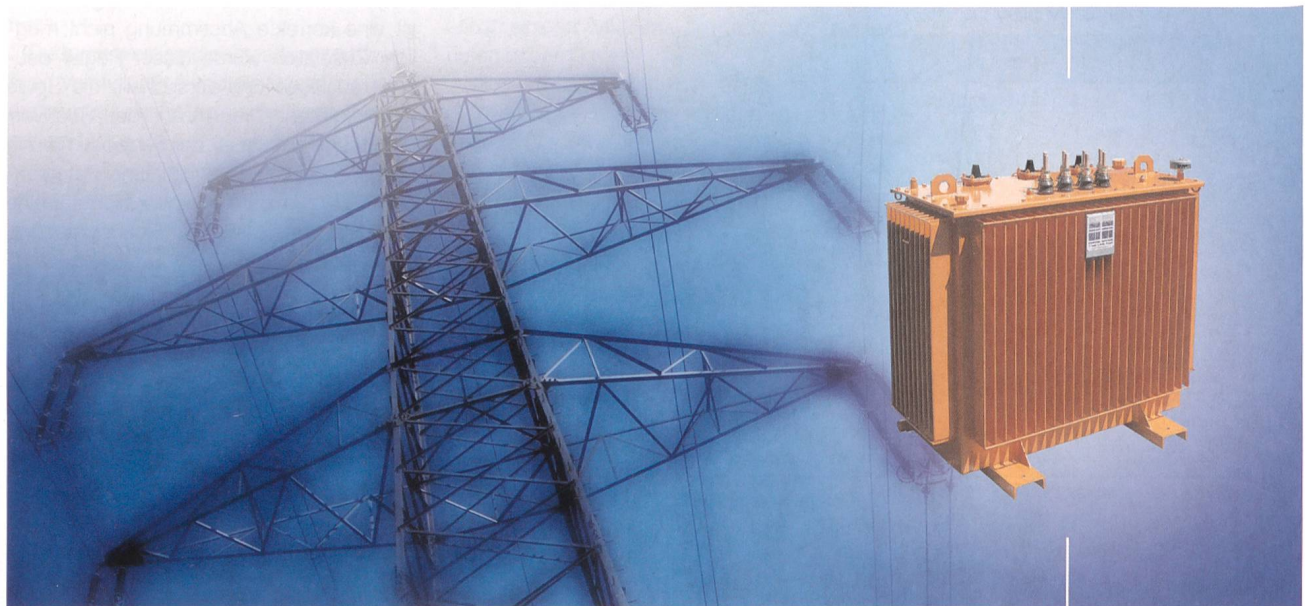
**Angaben zu den Autoren**

*Gernot Druml* ist zuständig für den gesamten Bereich Erdschlussschutz bei A. Eberle GmbH & CoKG in Nürnberg.  
 A-Eberle GmbH & CoKG, D-90441 Nürnberg, g.druml@ieee.org  
*Manfred Frankenreiter* ist Vertriebsbeauftragter Schweiz bei EGE, spol. s.r.o., in Wohlenschwil.  
 EGE, spol. s.r.o., 5512 Wohlenschwil, msr@frankenreiter.ch

Anzeige

 Serie K <sup>2</sup>	leicht isolierend rosten nie	 OMEGA	Kabelkanäle aus GfK*	50 Jahre GfK	
 Serie BK	 Serie UL	 Handläufe	*Glasfaserverstärkter Kunststoff ist säure- und laugenbeständig, lebensmittelunbedenklich, isolierend, schwerbrennbar, halogenfrei.		

**Ebo Systems**  
 Telefon: 044 787 87 87  
 www.ebo-systems.com



**Die einfache Lösung für Ihr NISV-Problem**  
 – wir reduzieren die Felder an der Quelle  
 auf ein Minimum.

**RAUSCHER  
 STOECKLIN**

**Rauscher & Stoecklin AG**  
 Reuslistrasse 32, CH-4450 Sissach  
 T +41 61 976 34 66, F +41 61 976 34 22  
 info@raustoc.ch, www.raustoc.ch

fachbeiträge