Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 95 (2004)
Heft: 21

Artikel: Dezentrale Energieerzeugungsanlagen im Verteilnetz
Autor: Mauchle, Peter / Häderli, Christoph / Höckel, Michael
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-858001

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

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

Dezentrale Energieerzeugungsanlagen im Verteilnetz

Wie beeinflussen kleine, dezentrale Anlagen das Verteilnetz?

Windräder und Solarzellen, aber auch Brennstoffzellen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen werden immer häufiger vor Ort eingesetzt, als Alternative zum Strom aus dem Verteilnetz, der von Grosskraftwerken kommt. Da die dezentralen Anlagen überschüssige Energie ins Netz einspeisen, beeinflussen sie es auch. Bei einigen wenigen Anlagen hat dies keine grossen Auswirkungen, bei vielen Anlagen muss es aber berücksichtigt werden.

Peter Mauchle, Christoph Häderli, Michael Höckel

In Zukunft werden vermehrt erneuerbare Energiequellen genutzt werden, zum Beispiel Sonne, Wind und Biomasse, aber auch Kleinwasserkraftwerke, Brennstoffzellen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen. Diese dezentral eingesetzten Energieerzeugungsanlagen (DEA) werden die Verteilnetze auf den verschiedenen Spannungsebenen beeinflussen. Um die Auswirkungen abzuschätzen, wurden sie in einem Beispielnetz simuliert, das auf realen Daten beruht [1].

Zurzeit werden nur wenige dezentrale Anlagen betrieben. Sie haben einen geringen Einfluss auf das Verteilnetz, von einzelnen grossen Anlagen abgesehen, zum Beispiel Kehrichtverwertungsanlagen. Werden in Zukunft vermehrt dezentrale Anlagen eingesetzt, haben sie sehr wohl einen Einfluss auf das Netz. Die sich ändernden Lastflüsse im Netz müssen berücksichtigt werden. Zudem kann die optimale Reservehaltung auf die dezentralen Anlagen abgestimmt werden. Insbesondere wenn diese auf verschiedene Primärenergien wie Wind, Wasser und Wärme beruhen, steigt die Verfügbarkeit der dezentral erzeugten Leistung im Netz.

Mehrere dieser Kleinkraftwerke können zu virtuellen Grosskraftwerken zusammengefasst werden. Mit Energiemanagementsystemen können Produktion und Verteilung optimiert werden. Prinzipiell ist auch ein Inselbetrieb möglich, bei dem ein Teilnetz autonom betrieben wird. Dies setzt natürlich eine entsprechende Kommunikation zwischen den Kraftwerken voraus.

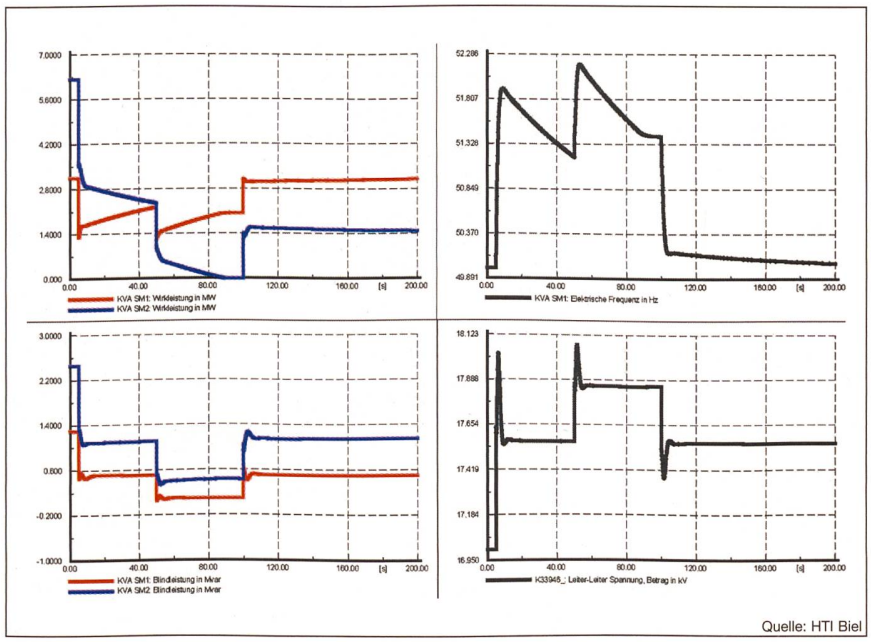


Bild 1 Laständerungen von 2,5 MW
Spannungs- und Frequenzverläufe im Inselnetz mit Primär- und Sekundärregelung bei einem Lastsprung

Normspannungen müssen eingehalten werden

Dezentrale Anlagen müssen die technischen Normen einhalten, im Wesentlichen betrifft dies die Spannung und die Frequenz. Auf der Niederspannungsebene sind die Grenzwerte in der Norm EN 50160 festgelegt. Auf der Mittelspannungsebene sind sie von der jeweiligen Nennspannung und der Sternpunktbehandlung abhängig. Bei allen Anlagen sind Schutzeinrichtungen notwendig, um das Verteilnetz vor unzulässigen Rückwirkungen oder ein Zuschalten auf ein geerdetes Netz zu vermeiden. Natürlich soll auch die dezentrale Anlage vor Störungen aus dem Verteilnetz geschützt werden. Bezüglich Netzrückwirkungen, also Spannungsänderungen, Oberschwingungen und Beeinflussung von Tonfrequenzsteuerungen müssen sie die VSE-Empfehlung 2.72d-97 resp. 2.66D einhalten.

Über Umrichter ins Netz eingebunden

Dezentrale Energieerzeugungsanlagen speisen ihre Energie in das Nieder- und Mittelspannungsnetz ein. Sie erzeugen

Netzrückwirkungen	Sicherheitsanforderungen	Netzstruktur, Regelung
Spannungsqualität	Rückspeisung	Lastmodellierung
Oberschwingungen	Inselbildung	Kompensation von Blindleistung
Flicker	Schutztechnik	P- und f-Regelung
Spannungsschwankungen	Selektive Fehlererkennung	Versorgungssicherheit
Symmetrie im Drehstromsystem		Optimierung
Beeinflussung von Rundsteueranlagen		

Tabelle I Was muss bei dezentralen Anlagen berücksichtigt werden?

Art des Kraftwerkes	P/I/U	G	ASM	SM	ASM
Mikroturbine		X			
Motorwärmekopplung		X	X	X	
Wasserkraft			X	X	
Windkraft		X	X	X	X
Photovoltaik	X				
Brennstoffzelle	X				

Tabelle II Ankopplung an das Netz

Leistungen bis zu 500 kW im Niederspannungsnetz und 10 MW im Mittelspannungsnetz. Photovoltaik- und Brennstoffzellen erzeugen Gleichstrom. Sie werden über 1-phasige Umrichter ins Niederspannungsnetz eingebunden. Bei grösseren Leistungen, ab ca. 3 kW, werden 3-phasige Umrichter eingesetzt. Windanlagen und Kleinwasserkraftwerke arbeiten mit Generatoren – synchrone oder asynchrone. Bei grösseren Windkraftwerken werden die Generatoren über Frequenzumrichter mit dem Netz verbunden, da die Drehzahl über einen weiten Bereich variiert. Auch bei Wärmekraftkopplungsanlagen werden teilweise Gleichstrommaschinen mit variabler Frequenz eingesetzt, die über Umrichter ans Niederspannungsnetz geschaltet werden. Mikroturbinen im Drehzahlbereich um 100 000 U/min werden ausschliesslich mit Frequenzumrichter betrieben.

Die zulässige Einspeiseleistung einer dezentralen Anlage ist vom Netz abhängig, dabei spielen auch die Eigenschaften der Anlage selbst eine Rolle. So verursachen Asynchronmaschinen grössere Spannungsschwankungen im Netz, während bei Frequenzumrichter die Oberwellen zu beachten sind. Photovoltaik-Anlagen und Windkraftwerke weisen stark schwankende Leistungen auf, je nach Windstärke oder Sonneneinstrahlung. Der Wind beeinflusst die Leistung in der dritten Potenz. Wird der Wind zu stark, wird die Anlage ausser Betrieb genommen. Dies verursacht vor allem in Verteilnetzen mit niedriger Kurzschlussleistung Spannungsschwankungen (Flicker).

Wasserkraftwerke können im Vergleich dazu als Grundlastanlagen bezeichnet werden, sie beeinflussen das Netz nur gering. Bei Wärmekraftkopplungsanlagen kommt es darauf an, wie viel Energie direkt als Wärme genutzt wird und wie viel für die Stromproduktion zur Verfügung steht. Ein Wärmespeicher kann diesen Einfluss für eine gewisse Zeit entschärfen und die Stromproduktion kann damit als gleichmässig bezeichnet werden.

Von Brennstoffzellenanlagen gibt es erst Prototypen und nur wenig Erfahrungen im Betrieb. Inwieweit sich diese Anlagen im Niederspannungsnetz durchsetzen werden, hängt von ihren Kosten ab. Falls sich diese auf ein vernünftiges Niveau reduzieren, können Brennstoffzellenanlagen als dezentrale Wirk- und Blindleistungskompensatoren im Niederspannungsnetz eingesetzt werden und dadurch den gewollten Inselbetrieb von Teilnetzen ermöglichen.

Elektrische Speicher gegen Spannungsschwankungen

Die Leistungsschwankungen dezentraler Anlagen können mit elektrischen Speichern ausgeglichen werden. Batterien mit ihren hohen Innenwiderständen sind für diese Aufgabe eigentlich nicht sinnvoll, höchstens als Ergänzung bei längeren Unterbrüchen. Besser geeignet wären Kondensatoren, supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES) und Schwungmassenspeicher. Da Batterien aber günstiger sind, werden sie auch in Zukunft dominieren. Mit der Weiterentwicklung von supraleitenden magnetischen Energiespeichern oder Schwungmassenspeichern könnten allerdings Alternativen zu den Batterien entstehen. Vor allem die Lebensdauer und der Wirkungsgrad sind den Batterieanlagen überlegen.

Um Energie für einige Stunden oder gar länger zu speichern, wären Systeme mit Brennstoffzellen und Wasserstoff vorstellbar. Letzterer wird durch Elektrolyse aus der überschüssigen Energie des Kraftwerks gewonnen und in Tanks gespeichert. Die Kosten für derartige Systeme sind schlecht abschätzbar und auf Grund des tiefen elektrischen Wirkungsgrades von 50% sind sie eher in Verbindung mit einer Abwärmenutzung sinnvoll.

Dezentrale Anlagen im Netz simuliert

Mit Simulationen wurde der Einfluss von dezentralen Anlagen auf das Niederspannungsnetz untersucht, am Beispiel des Netzes des Elektrizitätswerks Zürich. Dabei muss man zwischen synchronen und asynchronen Maschinen unterscheiden und Anlagen, die über Umrichter angeschlossen werden. Im Niederspannungsnetz dominieren bei 50 Hz die ohmschen Anteile, die Wirkleistung bestimmt also im Wesentlichen die Spannungsänderungen. Wird Leistung eingespiesen, steigt die Spannung an. Um diesem Anstieg entgegenzuwirken, kann die dezentrale Anlage Blindleistung beziehen, was ja zum Beispiel die Asynchronmaschinen, bedingt durch ihren Aufbau, automatisch tun. Auch Umrichter und Synchronmaschinen können so eingestellt werden, dass sie Blindleistung be-

ziehen und so die Spannung stabilisieren. Der Transformator, der das Netz speist, muss dabei die entsprechende Blindleistung liefern und es dürfen keine Blindleistungskompensatoren in der Nähe der dezentralen Anlage installiert sein.

Generell wird das Niederspannungsnetz erst dann beeinflusst, wenn viele dezentrale Anlagen mit hohen Leistungen angeschlossen werden. Die Toleranzen werden überschritten, wenn die dezentralen Anlagen mehr Energie einspeisen, als im Netz verbraucht wird. Solange dies nicht der Fall ist, verbessern die Anlagen sogar die Spannungsstabilität an denjenigen Knoten, die weit weg sind von den Transformatoren.

Simulationen eines Tagesverlaufes haben gezeigt, dass eine Durchmischung verschiedener Anlagetypen die Spannungsschwankungen klein hält und geeignete Netzankopplungen die Netzverluste minimieren. Die Kurzschlussleistungen nehmen durch die zusätzlichen Anlagen leicht zu, vor allem durch die Anlagen mit Generatoren. In der Nähe von Transformatorstationen können die Kurzschlussleistungen kritische Werte erreichen.

Die Grenzwerte der Oberschwingungen werden erst überschritten, wenn grosse Leistungen über Umrichter eingespiesen werden. Diese verursachen neben den harmonischen auch interharmonische Oberschwingungen, die Rundsteuersignale stören können. Umrichter müssen deshalb mit entsprechenden Ausgangsfiltern bestückt werden.

Simulation im Mittelspannungsnetz

Im betrachteten Mittelspannungsnetz der AEW Energie AG sind bereits mehrere dezentrale Anlagen mit Synchronmaschinen enthalten. Der grösste Leistungsanteil kommt von einer Kehrichtverwertungsanlage, deren Leistung über den Tag stark schwankt. Die eingebundenen Wasserkraftwerke liefern eine konstante Leistung.

Die dezentralen Anlagen verbessern die Spannungsstabilität, vor allem an Knoten weit weg von der Netzeinspeisung. Auch die Leitungsbelastung wird geringer, da die Einspeisungen besser verteilt sind – Netzverluste werden so minimiert. Die Kurzschlussleistungen nehmen zu, und da im Mittelspannungsnetz die meisten dezentralen Anlagen über Synchronmaschinen angeschlossen werden, wird die Kurzschlussleistung an den Anschlusspunkten massiv erhöht, was beachtet werden muss.

Die dezentralen Anlagen im Mittelspannungsnetz der AEW würden bereits einen Inselbetrieb von Teilnetzen erlauben – die Leistung würde ausreichen. Voraussetzung wäre, dass die entsprechenden Regelgeräte vorhanden sind. Eine grössere Anlage mit einer sekundären Frequenzregulierung würde die Frequenz nach Störungen, wie beispielsweise Lastzuschaltungen, innerhalb von ein bis zwei Minuten auf den Sollwert zurückführen.

Störung	Anlagetypen		
	Asynchr.	Synchron	Umrichter
Oberschwingung	X	X	X
Spannungsschwankung, Flicker	X	X	X
Spannungseinbruch	X	(X)	
Spannungsanhebung	X	X	X
Unterbrechung	X	X	X
Einkerbung			X
Transienten	(X)	(X)	(X)
Frequenzänderung	nur im Inselbetrieb		
Resonanz			X
Unsymmetrie	(X)	(X)	X
Kurzschlussstrom	X	X	X
Schutzkoordination	X	X	X

Tabelle III Netzbeeinflussung durch verschiedene Anlagetypen

Parallelschaltungen bedürfen besonderer Aufmerksamkeit

Werden zwei Anlagen parallel geschaltet, können Resonanzphänomene auftreten, da dezentrale Anlagen oft nicht für diesen Betrieb ausgelegt sind. Den dabei erzeugten oszillierenden Umrichterströmen muss die Anlagensteuerung entgegenwirken. Umrichter mit einer Art virtuellem Widerstand, wie sie zum Beispiel in einer Mikrogasturbine von ABB eingesetzt werden, dämpfen diese Resonanzen wirkungsvoll.

Netz im Inselbetrieb regeln

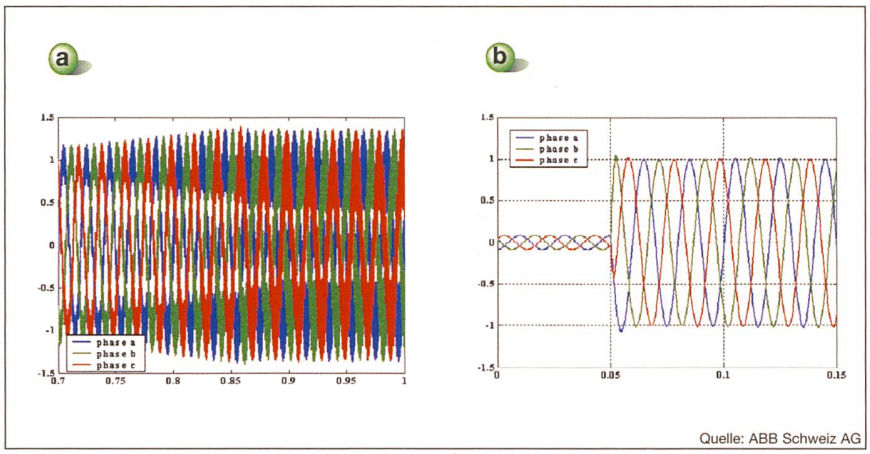
Dezentrale Anlagen können auch als unterbrechungslose Stromversorgung eingesetzt werden. In kleinen Netzen ist dies unproblematisch, wenn die Last durch eine einzelne Anlage abgedeckt werden kann. In grösseren Netzen muss die Last aber auf mehrere dezentrale Anlagen aufgeteilt werden, und Spannung und Frequenz müssen eingehalten werden. Dies kann zentral geregelt werden, was eine entsprechende Kommunikation zwischen den Anlagen verlangt. Es geht auch ohne Kommunikation, dann braucht aber jede Anlage einen entsprechenden Regler. Ausserdem müssen bei Lastsprüngen Netzspannung und -frequenz eingehalten werden, und das Inselnetz muss eine ausreichende Kurzschlussleistung gewährleisten, um Kurzschlüsse zu erkennen und wegschalten zu können.

Beim gewollten Inselbetrieb ist nebst der Netzregelung das Umschalten vom Netz zur Insel und umgekehrt von zentraler Bedeutung. Wie dies ausgeführt wird, hängt direkt von der Netzregelung ab, beinhaltet jedoch immer die folgenden drei Schritte:

- Die Bedingungen für eine Umschaltung müssen erkannt werden.
- Das Inselnetz muss vom Verbundnetz getrennt werden (Trennschalter).
- Die Regler müssen auf Inselbetrieb umstellen.

Die Rücksynchronisation des Inselnetzes auf das Verbundnetz hängt wiederum davon ab, wie das Inselnetz geregelt ist und wie die Anlagen kommunizieren. Lange Rücksynchronisationszeiten können verkürzt werden, wenn die Frequenz im Inselnetz verstimmt wird, damit die Phasenlage rasch übereinstimmt. Gibt es einen zentralen Regler, übernimmt er diese Rücksynchronisation. Bei einer verteilten Regelung muss mindestens eine Anlage aktiv an der Rücksynchronisation mitwirken, indem sie ihre Leistung ändert, denn damit ändert sie auch die Frequenz im Inselnetz.

Ob ein Verteilnetz vermehrt als Insel betrieben wird, hängt von den europäischen Verbundnetzen ab. Unwetter oder Störungen im Netz können den Inselbe-



Quelle: ABB Schweiz AG

Bild 2 Resonanzphänomene bei parallelen Anlagen

Bild 2a: Umrichterstrom zweier paralleler Anlagen ohne Dämpfung – die Lastaufteilung ist instabil; Bild 2b: Ein virtueller Widerstand dämpft die Lastaufteilung, es gibt keine Resonanzphänomene.

trieb herbeiführen. Es gibt aber auch den gewollten Inselbetrieb, der attraktiver wird, wenn der Strommarkt liberalisiert ist.

Reduzieren dezentrale Anlagen die Netzkosten?

Dezentrale Anlagen reduzieren die Netzkosten nicht unbedingt, im Mittelspannungsnetz können sie aber Engpässe überbrücken und Investitionen hinauszögern. Im Niederspannungsnetz hat eine dezentrale Anlage keinen Einfluss auf die Kosten, denn hier werden Standardkomponenten eingesetzt – ausser es kann zum Beispiel ein 630 kVA anstelle eines 1000-kVA-Transformators eingesetzt werden. Auch der Aufwand für den Betrieb und den Unterhalt der Netze kann nicht reduziert werden, lediglich die Verluste durch die Übertragung werden kleiner.

Auswirkungen auf Gesetz und Normen

Die Zunahme der dezentralen Anlagen wird einen Einfluss auf das Gesetz und die Normen haben. Denn wenn mehr Anlagen auf das Netz rückwirken, müssen die Grenzwerte für die einzelne Anlage strenger werden und die VSE-Empfehlungen müssen angepasst werden. Ausserdem sollen die dezentralen Anlagen im zukünftigen Stromversorgungsgesetz (StromVG) berücksichtigt werden, damit sie gegenüber den Grosskraftwerken nicht benachteiligt werden.

Referenzen

[1] Bundesamt für Energie: Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen; Schlussbericht; Dezember 2003; www.electricity-research.ch

Angaben zu den Autoren

Peter Mauchle ist bei Schnyder Ingenieure AG auf den Gebieten Elektrotechnik, Automation und Energiewirtschaft tätig.
Schnyder Ingenieure AG, 6331 Hünenberg, peter.mauchle@sing.ch

Christoph Häderli ist am Forschungszentrum der ABB im Bereich Leistungselektronik und dezentrale Energieerzeugung tätig.
ABB Schweiz AG, 5405 Baden-Dättwil, christoph.haederli@ch.abb.com

Michael Höckel ist Professor für Energiesysteme an der Berner Fachhochschule.
HTI Biel, 2501 Biel, hkm1@bfh.ch

Das im Auftrag des Bundesamtes für Energie durchgeführte Forschungsprojekt wurde mitfinanziert durch das Bundesamt für Berufsbildung und Technologie KTI, die ABB Schweiz AG, den Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft PSEL sowie den Elektrizitätsunternehmen AEK Energie AG, Elektrizitätswerk Davos AG und EWZ Verteilnetz.

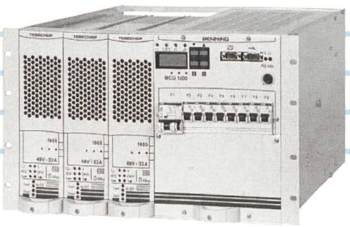
Les installations décentralisées de production d'énergie dans le réseau de distribution

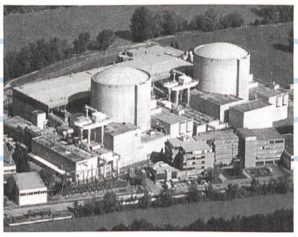
Quelle est l'influence des petites installations décentralisées sur le réseau?

De plus en plus, les éoliennes et cellules solaires, de même que les piles à combustible et installations de cogénération chaleur-force sont utilisées sur place en alternative au courant du réseau de distribution fourni par les grandes centrales. Etant donné que les installations décentralisées envoient l'excédent d'énergie dans le réseau, elles exercent une influence sur celui-ci. Lorsqu'il n'y a que peu d'installations, cela n'a guère de conséquences mais si ces installations sont nombreuses, il faut en tenir compte.

Ihr Partner
für unterbrechungsfreie DC + AC Stromversorgung

Beratung
Projekt-Engineering
Gesamtanlagen inkl. Batterien
Wartungsdienstleistungen





BENNING
Benning Power Electronics GmbH, Industriestrasse 6, CH-8305 Dietlikon, Tel. 01 805 75 75, Fax 01 805 75 80
info@benning.ch, www.benning.ch
Sicherheit durch Erfahrung

BKW

Natürlich kompetent – Technische Dienstleistungen

gehen Hand in Hand. Auch die BKW setzt auf das grosse Fachwissen der Mitarbeitenden und ihre langjährige Betriebserfahrung als Netzbetreiberin, Produktions- und Stromversorgerin. Dieses Know-how bildet die Basis für das umfassende Angebot der Technischen Dienstleistungen. Die kundenorientierte Haltung hat die BKW zu einem der bedeutensten Energieunternehmen der Schweiz gemacht.

ihr partner für
1to1
energy

BKW FMB Energie AG
Technische Dienstleistungen
Viktoriaplatz 2
3000 Bern 25
Tel. 0844 121 141
Fax 031 330 58 96
www.bkw-fmb.ch
technik.verkauf@bkw-fmb.ch

Sicherheit geht über alles.

Sichere Produkte kommen nicht von ungefähr. Sichere Produkte sind gekennzeichnet.

Achten Sie unbedingt auf das Sicherheitszeichen des Eidgenössischen Starkstrominspektorats (ESTI). Für eine sichere und störungsfreie Anwendung des Produkts ist dies der sichtbare Nachweis, der durch Prüfung und Marktüberwachung sichergestellt wird. Infos finden Sie unter **www.esti.ch**

Das Konformitätszeichen des SEV bietet Ihnen zusätzlich die Gewissheit, dass die Herstellung der Produkte kontinuierlich überwacht wird. Infos finden Sie unter **www.electrosuisse.ch**

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
Inspection fédérale des installations à courant fort
Ispettorato federale degli impianti a corrente forte
Inspecturat federal d'implants da current ferm

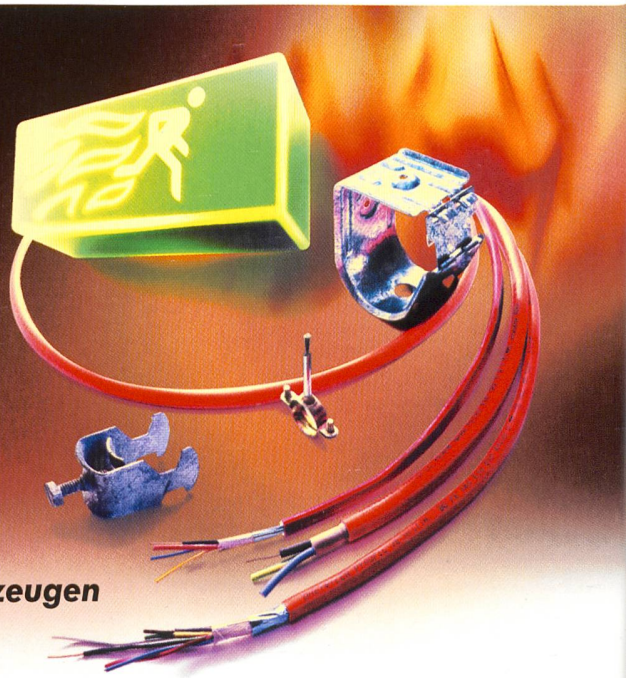
www.esti.ch
Luppmenstrasse 1
8320 Fehraltorf
Tel. 01 956 12 12

Sicher ist sicher.

Infel AG, Zürich

pyrosys®

Lösungen für den Brandfall – weil Ihre Sicherheit im Mittelpunkt steht!



pyrofil® pyrosys®

Argumente, die überzeugen

- Dauerhafte Zuverlässigkeit
- Kabel mit Isolationserhalt (FE) und Funktionserhalt (E)
- Kundenspezifische Lösungen
- Langjährige Erfahrung und Kompetenz vor Ort
- Umfassendes Sortiment an Sicherheitskabeln und Systemzubehör

Dätwyler
Kabel+Systeme

Dätwyler AG
Gotthardstrasse 31, 6460 Altdorf, Telefon 041/875 12 68, Fax 041/875 19 86
e-mail: cable.swiss@daetwyler.ch, www.daetwyler.net

Interesse geweckt? Wir stehen Ihnen als kompetenter Partner zur Verfügung!