

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 100 (2009)
Heft: 8

Artikel: Betriebskosten sparen durch erhöhte Energieeffizienz
Autor: Schreiber, Sven / Langlotz, Kati
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856400>

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: 30.03.2025

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

Betriebskosten sparen durch erhöhte Energieeffizienz

Transformatoren mit verbessertem Wirkungsgrad

Transformatoren sind elektrische Betriebsmittel, die generell eine sehr gute Energieeffizienz aufweisen. Dennoch kann der Wirkungsgrad noch weiter verbessert werden. Auch mit kleiner Ursache – einer Verbesserung von unter 1% – wird eine grosse Wirkung erzielt: Die EU-Klimaziele für 2020, die eine Reduzierung des Energieverbrauchs von 20% gegenüber dem Stand von 1990 vorsehen, werden erreicht oder übertroffen. Die höhere Energieeffizienz führt auch zu signifikanten Kosteneinsparungen im Betrieb.

nach Minimierung der Betriebskosten steht die zu erwartende, stetig steigende Verteuerung der Energiekosten entgegen. Betriebsmittel mit geringerem Eigenverbrauch schaffen hier Abhilfe.

Was ist ein Resibloc?

Die Anwender der Resibloc-Transformatoren setzen diese traditionell in anspruchsvollen Anwendungen ein, weil sie auch unter ungünstigen Bedingungen zuverlässig arbeiten. Sie werden häufig als Verteil- und Antriebstransformatoren in Bereichen mit hoher Transformatorauslastung und häufig wechselnden Lasten eingesetzt, wo eine zuverlässige, unterbrechungsfreie Stromversorgung für Produktionsprozesse unabdingbar ist, weil Ausfälle der Stromversorgung zu hohen Folgekosten führen können. Durch das besondere Herstellungsverfahren bietet der Resibloc-Giessharztransformator eine nahezu 100%ige Verfügbarkeit.

Die Resibloc-Technologie ist eine Entwicklung im Bereich der Trockentransformatoren für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. ABB setzt diese selbst entwickelte Technologie seit über 30 Jahren in äusserst anspruchsvollen Projekten ein. Resibloc-Transformatoren werden in einem hochwertigen Herstellungsverfahren produziert. Die Resibloc-Technologie bietet einen sehr hohen Qualitätsstandard in Bezug auf Kurzschlussfestigkeit, mechanische Festigkeit und Anpassung an Kundenwünsche (Bild 2).

Bei elektrischen Betriebsmitteln wie Transformatoren, die aus physikalischen und technologischen Gründen ohnehin bereits einen hohen Wirkungsgrad haben, hat sich bisher im Allgemeinen die Frage gestellt, ob es wirtschaftlich ist, eine noch höhere Energieeffizienz anzustreben, wobei

Verlusteinsparungen erreicht, die deutlich über den heutigen Normen liegen: Je nach Transformatorgrösse werden zwischen 24 und 32% der Verluste eingespart, mehr als die aktuellen Standards fordern – ein Sachverhalt, der sich in der mittelfristigen Kostenbetrachtung sehr günstig auswirkt. (Bild 1).

In Industrieanwendungen mit beträchtlichem Stromverbrauch und hoher Transformatorauslastung ist meist auch die unterbrechungsfreie Stromversorgung unabdingbar, weil Ausfälle der Produktion zu hohen Folgekosten führen können. Hier sind robuste Betriebsmittel – Verteil- und Antriebstransformatoren – erforderlich. Die Betriebskosten sollen jedoch so gering wie möglich gehalten werden. Der Anforderung

Sven Schreiber, Kati Langlotz

die Erhöhung dann nur noch Zehntel-Prozentpunkte betragen kann. Im Umfeld gestiegener Umweltauflagen und speziell der EU-Klimaziele 2020 beantwortet ABB nun diese Frage mit einem deutlichen Ja. Auf Dauer ist von einer gravierenden Steigerung der Preise für Energie und Rohstoffe auszugehen, auch wenn kurzfristige Schwankungen mitunter einen anderen Eindruck erwecken.

Der verantwortungsbewusste Umgang mit Ressourcen liegt seit jeher im Interesse nachhaltigen Wirtschaftens. Für die Wirtschaft entsteht heute noch mehr als früher die Notwendigkeit, energieeffiziente Produkte einzusetzen, um sich gegen das Risiko steigender Energiepreise abzusichern. Energieeffiziente Lösungen sollten jedoch ökonomisch vertretbar sein. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nicht nur nach den Anfangsinvestitionskosten, sondern auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von Investitionen über die gesamte Lebensdauer.

Bei dem Transformator Resibloc 99 Plus werden jetzt durch eine Weiterentwicklung



Bild 1 Resibloc-Transformatoren-Gruppe.

Resibloc zeigt im Betrieb:

- Hervorragendes Verhalten bei Lastwechseln
- Hohe Sicherheit gegen Ausfälle durch Überspannung
- Grosse Beständigkeit bei Kurzschlüssen
- Hohe Stossspannungsbeständigkeit durch lineare Verteilung in der Wicklung
- Sehr hohe Sicherheit gegen Rissentstehung durch hohen Glasfaseranteil
- Resistenz gegen Prestrikes und Restrikes von Vakuumschaltern
- Grosse Variationsmöglichkeiten hinsichtlich der Abmessungen, Anpassung an die baulichen Gegebenheiten

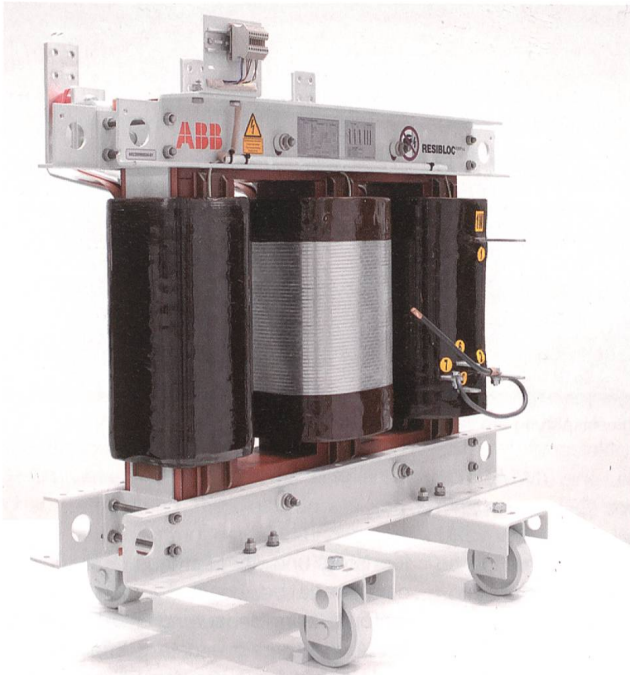


Bild 2 Resibloc-Transformator.

- Einsatzfähigkeit innen und aussen: keine besonderen Baumassnahmen sind erforderlich, kein Explosionsschutz, keine Ölwanne, keine Notwendigkeit für lange Kabel
- Bis zu 32% weniger Betriebskosten durch geringeren Eigenverbrauch
- Energie- und Betriebskosteneinsparung, bereits ab einer mittleren Auslastung von 20%
- Kurze Amortisierungszeit

Das Herstellungsverfahren mit seinen aufwendigen Vorgängen, die bis zu 80% Handarbeit und hohe Prozessgenauigkeit erfordern, sorgt für kontinuierliche Qualität. Das Verfahren ist gezielt darauf ausgerichtet, mehrere besondere Vorteile, sowohl elektrisch wie auch mechanisch, in einem Fertigungsengang zu schaffen.

Die spezielle Wickeltechnik sorgt für die mechanische Festigkeit, die für die Resistenz gegen mechanische wie auch für elektrische Ausseneinflüsse erforderlich ist. Als Basis der mechanischen Festigkeit wird die Oberspannungswicklung direkt auf die Unterspannungswicklung aufgebracht. Die in Lagentechnik im Trapez gewickelten Leiter sorgen für eine im Oberspannungsbereich so wichtige nahezu lineare Stossspannungsverteilung.

Für die Lagenisolierung wird mit flüssigem Giessharz getränktes Glasfaservlies radial aufgewickelt. Der gesamte Herstellungsprozess des Resibloc-Transformators erfolgt unter Normalatmosphäre. Die gewickelte Isolierung hat einen Glasfaseranteil von 80%, das ergibt die Festigkeit von hochwertigem Stahl. Die primäre Funktion der Resibloc-Wicklungstechnik ist ihre aus-

serordentliche mechanische Festigkeit, einhergehend mit Flexibilität. Bei den in Extremumgebungen üblichen hohen mechanischen Belastungen kann die Glasfaser arbeiten. Risse entstehen bei der Resibloc-Technik nicht.

Die Resibloc-Technologie gibt durch die besondere Fertigungstechnik den Spielraum für unterschiedlichste Bauformen, weil keine Einschränkungen durch Giessformen vorhanden sind. So können für Kunden mit beengten Platzverhältnissen passende Bauformen konzipiert werden. Die Technik ermöglicht auch eine sehr gute Wärmeabfuhr, sodass der Resibloc-Transformator bis zu einer Leistung von 40 MVA natürlich gekühlt werden kann, eine aussergewöhnliche Eigenschaft für Trockentransformatoren dieser Leistungsgrösse.

Kreative, kompakte Bauformen jenseits der Standardabmessungen sind auch deswegen möglich, weil eventuell entstehende Wärmeprobleme direkt in der Wicklung mit zusätzlichen Kühlkanälen gelöst werden können oder auch bei sehr beengten Platzverhältnissen und entsprechend kompakten Bauformen Fremdkühlung eingesetzt werden kann. Wenn es aufgrund der Verhältnisse am Aufstellungsort notwendig wird, den Resibloc-Transformator noch kompakter zu bauen, kann er also auch fremdgekühlt werden, mit Luft- oder Luft-Wasser-Kühlung. Resibloc-Transformatoren werden immer kundenspezifisch projektiert und gebaut, sei es in Bezug auf die mechanische Bauform, die Kühltechnik oder die elektrische Ausführung.

Energie sparen mit Resibloc-99-Plus-Transformatoren

Energiesparend war auch der bisherige Trockentransformator Resibloc Compact, aus dem der Resibloc 99 Plus durch eine Weiterentwicklung entstanden ist. Zusätzlich zu den bisherigen Massnahmen, die die Leerlaufverluste verringern, wurden nun auch noch die Lastverluste verringert. Die damit erzielten Wirkungsgrade gehen deutlich über die heutigen Normen hinaus. Die genormte Effizienz von Trockentransformatoren liegt nach Cenelec HD 538 meist bei knapp unter 99% bei Vollast. Der Wirkungsgrad des Resibloc 99 Plus wurde um bis zu 0,43% verbessert und bietet damit durchgängig eine Effizienz von mehr als 99%. Der bei flüchtiger Betrachtung kleine Schritt hat eine beträchtliche Wirkung: Je nach Transformatorgrösse werden die Verluste um mindestens 24 bis max. 32% verringert, abhängig von der Nennleistung des Transformators. Dies entspricht einer Energieersparnis von bis zu 68 500 kWh/Jahr. Es lohnt sich, wie Tabelle I zeigt. Bereits bei relativ kleinen Transformatorleis-

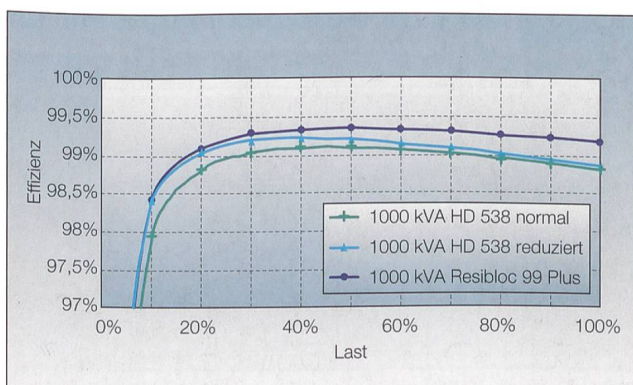


Bild 3 Vergleich Energieeffizienz HD 538 normal, reduziert sowie Resibloc 99 Plus.

Ober- spannung	HD 538 normal				HD 538 reduziert				Resibloc 99 Plus			Energieersparnis gegenüber	
	Leistung (kVA)	Leerlauf	Last (120 °C)	Effizienz	Leerlauf	Last (120 °C)	Effizienz	Leerlauf	Last (120 °C)	Effizienz		HD 538 normal	HD 538 reduziert
10 kV	1000	2000	10120	98,79%	1500	10120	98,84%	1500	6785	99,17%		32%	29%
	1250	2400	12075	98,84%	1880	12075	98,88%	1850	8625	99,16%		28%	25%
	1600	2800	14605	98,91%	2100	14605	98,96%	2250	10005	99,23%		30%	27%
	2000	3500	17825	98,93%	2750	17825	98,97%	2800	13225	99,20%		25%	22%
	2500	4300	21850	98,95%	3000	21850	99,01%	3150	16675	99,21%		24%	20%
20 kV	1000	2300	11040	98,67%	1800	11040	98,72%	1700	8395	98,99%		24%	21%
	1250	2700	13225	98,73%	2080	13225	98,78%	2100	10350	99,00%		22%	19%
	1600	3100	16100	98,80%	2400	16100	98,84%	2400	13340	99,02%		18%	15%
	2000	4000	19205	98,84%	3100	19205	98,88%	3100	15065	99,09%		22%	19%
	2500	5000	23000	98,88%	3600	23000	98,94%	3500	18975	99,10%		20%	16%

Tabelle I Gegenüberstellung Resibloc 99 Plus und Normtransformatoren, Energieeinsparung pro Jahr bei Vollast.

tungen von beispielsweise 1000 kVA werden im Jahr durch die minimierten Verluste bei Vollast Energieeinsparungen erreicht, die in der Grössenordnung des Energieverbrauchs von 10 Normalhaushalten liegen.

Die Tabelle I beschränkt sich auf den Bereich von Transformator-Nennleistungen zwischen 1000 und 2500 kVA. Unter 1000 kVA ist zum einen eventuell die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben, zum anderen definiert die HD 538/DIN 42523 Verlustkombinationen für Leistungen nur bis 2500 kVA.

Bereits ab einer mittleren Auslastung des Transformators von 20% wird mit dem Resibloc 99 Plus eine bessere Effizienz als bei Normtransformatoren erreicht, wie Bild 3 zeigt. Bei höheren Belastungen, wie in der Industrie, wo mittlere Belastungen von 60% der Nennleistung des Transformators oder noch mehr vorkommen können, ist der Effekt noch weitaus deutlicher.

Die Effizienzerhöhung schlägt sich in Summe in den erheblich verringerten Kosten der Lastverluste – und damit den Betriebskosten – nieder. In Anwendungen mit hohem Stromverbrauch, wie beispielsweise in vielen Referenzprojekten von ABB, werden Resibloc-Transformatoren häufig in hoher Stückzahl in einer einzigen Fabrik

eingesetzt: 20–30 in Papierfabriken, bis zu mehreren 100 zum Beispiel in der Automobil- oder Chemieindustrie.

Wirtschaftliche Einsatzkriterien für Transformatoren

Bei einem robusten Transformator, der für hochanspruchsvolle Einsätze tauglich sein soll, dürfen für eine Einsatzentscheidung nicht nur die möglicherweise höheren Anschaffungskosten in Betracht gezogen werden. Eine solche Betrachtung wäre nicht vollständig und würde im Vergleich mit anderen Produkten ein einseitiges Bild schaffen. Die laufenden Kosten über die Lebenszeit des Transformators müssen miteinbezogen werden. Dadurch kann sich ein komplett anderes Bild ergeben. Zu den laufenden Kosten zählen die Instandhaltungskosten, die beim Resibloc verschwindend gering sind, weil keine Ersatzteilhaltung und kaum Wartung erforderlich sind. Für die Betrachtung der laufenden Kosten verbleiben damit hauptsächlich die elektrischen Verluste beim Betrieb des Transformators: die Leerlaufverluste P_0 und die Kurzschlussverluste P_k . Die Kurzschlussverluste (oder Lastverluste) erhöhen sich quadratisch zur Last und sind damit stark abhängig von der Auslastung des Trans-

formators und der Lastdauer – ein Faktor, der gerade bei hochbelasteten Transformatoren von Bedeutung ist. Durch die Senkung der Lastverluste wurde den Anforderungen jener Kunden Rechnung getragen, die eine detaillierte Vollkosten- und Lebenszeitbetrachtung durchführen und deren Transformatoren eher hoch belastet sind.

Kostenbetrachtung

Gerade bei Transformatoren, die in energieintensiven Industriebranchen eingesetzt werden, sind die Kosten der Lastverluste und deren Reduktion von besonderer Bedeutung. Zusätzlich zur Kostenbetrachtung, die auf aktuellen Energiekosten (in Deutschland) basiert, welche nach allen Prognosen eher steigen als fallen werden, kann und sollte noch ein anderer Blickwinkel beachtet werden: der Umweltschutz.

In Tabelle II wurden die Verlust- und Umweltdaten eines Resibloc 99 Plus und seines Vorgängers Resibloc Compact mit je einer Nennleistung von 1000 kVA detailliert gegenübergestellt. Die bereits in Tabelle I gezeigte Verlustenergieeinsparung von rund 32% ergibt auch bei den CO₂-Emissionen eine Einsparung von rund 32%, wobei für die Berechnung der absoluten Einsparung

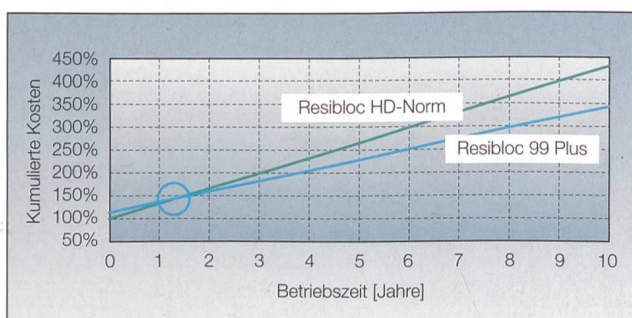


Bild 4 Beispielhafte Amortisationsrechnung bei Vollast.

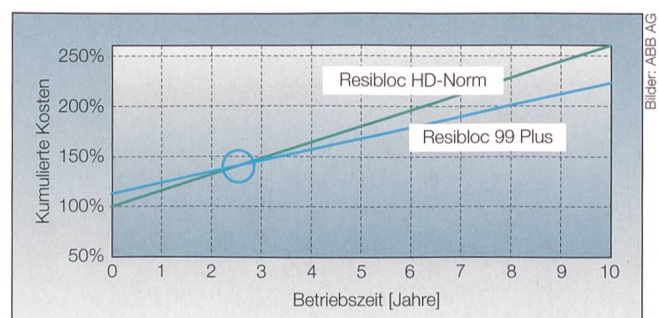


Bild 5 Beispielhafte Amortisationsrechnung bei 60% Last im Dauerbetrieb.

	Resibloc Compact	Resibloc 99 Plus
Leerlaufverluste	2000 W	1500 W
Lastverluste (120 °C)	10 120 W	6785 W
Gesamtverluste Vollast	12 120 W	8285 W
Effizienz bei Vollast	98,79%	99,17%
Jährliche Verlustenergie	106 171 kWh	72 577 kWh
CO ₂ -Emissionen [t/Jahr]	57,4 t	39,3 t

Tabelle II Verlust- und Umweltdaten von je einem Transformator 1000 kVA, 10/0,4 kV, bei Vollast.

ein Wert von 541 g/kWh nach BDEW (2007, vorläufige Daten) eingesetzt wurde.

Die nachstehenden Werte zeigen, dass sich zusammen mit den Leerlaufverlusten eine Einsparung von 32% der bisherigen Gesamtverluste ergibt. Der bei oberflächlicher Betrachtung minimale Schritt von 0,38% Verbesserung des Wirkungsgrads bringt über das Jahr gerechnet (8760 h) mit 33 594 kW weniger Verlust eine Verlustenergieeinsparung von etwa 32%, und somit ergibt sich auch bei den CO₂-Emissionen eine Einsparung von rund 32%. Die Daten in der Spalte Resibloc Compact sind die nach Cenelec HD 538 geforderten Standardwerte, denen der Transformator entspricht.

Amortisationsrechnungen wurden für 2 Lastfälle berechnet: für 60% Dauerlast und Vollast. Hierbei wurde berechnet, nach wel-

cher Zeit sich die zu erwartenden Mehrkosten für den Resibloc 99 Plus gegenüber dem Resibloc Compact amortisiert haben. Dabei wurden für die Berechnung der Verlustbewertungsfaktoren ein Strompreis von 100 €/MWh, eine Lebensdauer von 20 Jahren (gemäss IEC) sowie ein Rentenbarwertfaktor von 4% (zur Berechnung des entgangenen Zinseinkommens aufgrund der höheren Anfangsinvestition) angenommen. Der Vergleich zwischen 2 Produkten des gleichen Herstellers ist in diesem Fall zulässig, weil die Daten vergleichbarer Wettbewerbsprodukte meist innerhalb der in den Normen für normale und reduzierte Verluste festgelegten Grenzen liegen.

Bild 4 und Bild 5 zeigen, dass sich die Mehrkosten des Resibloc 99 Plus gegenüber dem Resibloc Compact je nach Lastfall bereits nach etwa 2,5 Jahren bzw. nach

nur etwa 1 Jahr amortisiert haben. Die Kosten wurden neutralisiert. Etwaige Kosten für CO₂ wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Über die restliche Lebensdauer des Transformators ergeben sich durch die kurze Amortisationszeit auslastungsabhängig Einsparpotenziale, die sogar ein Vielfaches des ursprünglichen Anschaffungspreises betragen können.

Ausblick

Der Resibloc 99 Plus ist eine Weiterentwicklung des Resibloc Compact. Trotz des teilweise grösseren Materialverbrauchs zur Verringerung der Lastverluste wirkt sich dies nicht bemerkenswert auf die vergleichsweise geringen Abmessungen des Resibloc 99 Plus aus. Er ist nicht wesentlich grösser als der Resibloc Compact und kann daher für die gleichen Anwendungsbereiche in beengten Räumen eingesetzt werden. Der Resibloc 99 Plus ist der ideale Transformator für den Industrieinsatz, speziell in den Branchen mit einer Transformatorauslastung von 20% und mehr.

Der Resibloc 99 Plus ist konzipiert als Verteiltransformator mit Leistungen von 1000–2500 kVA und bis 24 kV Betriebsspannung. Andere Leistungen können ebenfalls in der Resibloc-99-Plus-Ausführung angeboten werden.

Résumé

Réduire les coûts d'exploitation par une meilleure efficacité énergétique

Transformateurs avec un rendement amélioré. Les transformateurs sont des moyens d'exploitation électriques qui présentent généralement une très haute efficacité énergétique. Le rendement peut néanmoins être encore amélioré. Même une petite cause – comme une amélioration de moins de 1% – a de grands effets: les objectifs climatiques de l'UE pour 2020, qui prévoient une réduction de la consommation d'énergie de 20% par rapport à 1990, seront atteints ou même dépassés. Une meilleure efficacité énergétique aboutit également à des économies considérables de coûts dans l'exploitation.

Angaben zu den Autoren

Dipl. Ing. (BA) **Sven Schreiber** leitet seit 2006 den Bereich Marketing und Vertrieb für Resibloc-Transformatoren am Fertigungsstandort in Deutschland.

ABB AG, DE-59929 Brilon,
sven.schreiber@de.abb.com

Dipl. Ing (FH) **Kati Langlotz** ist als technische Redakteurin bei ABB tätig.
ABB AG, DE-68309 Mannheim,
kati.langlotz@de.abb.com

Anzeige

Ihr Partner für unterbrechungsfreie DC + AC Stromversorgung – USV



Sicherheit durch Erfahrung

Benning Power Electronics GmbH
Industriestrasse 6
CH-8305 Dietlikon
Tel. 044 805 75 75, Fax 044 805 75 80
info@benning.ch, www.benning.ch



Tom Frey, Key Account Manager
«Veränderung bedeutet Flexibilität und die Bereitschaft, neue Routen zu finden»



Die Liberalisierung im Strommarkt setzt Impulse frei und eröffnet neue Chancen. Wir verstehen sie als Aufforderung, uns dynamisch weiterzuentwickeln. Dazu sind wir auf engagierte Mitarbeitende angewiesen, wie beispielsweise Tom Frey. Als Key Account Manager findet er flexibel die richtigen Routen zum Erfolg – und trägt so zur Unternehmensentwicklung bei.

Bei der BKW FMB Energie AG sorgen 2700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter heute dafür, dass bei mehr als einer Million Menschen zuverlässig der Strom fliesst. Gehören Sie morgen dazu? Wir freuen uns, wenn Sie mit uns die Zukunft angehen.

BKW FMB Energie AG, Human Resources Management, Telefon 031 330 58 68,
info@bkw-fmb.ch, www.bkw-fmb.ch/jobs

BKW[®]

Rendez-nous visite au salon
ineltec.
infrastructure
technology
à Bâle du 1er au 4 septembre
2009



Infrastructures électriques pour bâtiments intelligent

... également chez finnova AG Bankware

Des solutions système fonctionnelles, durables et fiables, pour la communication, l'automatisation des bâtiments, l'alimentation en énergie et la sécurité sont les artères vitales de tout bâtiment moderne. Le nom Dätwyler Cables est garant dans le monde entier de solutions d'infrastructure personnalisées de haute qualité, avec des services de conseil, d'assistance et de logistique.

La société finnova AG Bankware a installé récemment au nouveau siège social un réseau de communication haute performance de Dätwyler Cables. Le réseau dans les bureaux est formé de câbles en cuivre de la dernière génération, avec des produits novateurs à fibres optiques dans les locaux de serveurs. Cette solution garantit une performance optimale pour le développement logiciel et une durabilité très élevée.

***Vous souhaitez plus d'informations?
Nous sommes là pour vous.
Votre partenaire compétent!***

Dätwyler Cables
Division de Dätwyler Suisse SA
Gotthardstrasse 31, 6460 Altdorf
T 041 875 12 68, F 041 875 19 86
info.ch@daetwyler-cables.com
www.daetwyler-cables.com

Dätwyler Cables