Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 91 (2000)

Heft: 23

Artikel: Wärmespeicher entlasten Energiekabel

Autor: Rasquin, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855628

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: 09.07.2025

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

Wärmespeicher entlasten Energiekabel

Drehstromkabel führen normalerweise Ströme, deren Amplituden sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf schwanken. Bei einer Dimensionierung der Kabel mit einem Lastfaktor von 100% wird angenommen, dass die Belastung konstant ist und den vorausgesetzten Maximalwert nicht überschreitet. So kann keine unzulässige Erwärmung auftreten. Berechnungen zeigen, dass bei zyklischen Belastungen eine bessere Auslastung der Kabel durch parallel verlegte Wärmespeicher erreicht werden kann.

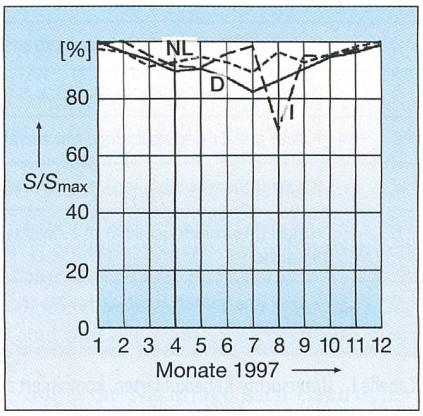


Bild 2 Jahreslastganglinien aus den Niederlanden (NL), Italien (I) und Deutschland (D)

Aus Aufzeichnungen der UCTE-Länder (Union für die Koordinierung des Transportes elektrischer Energie) [1] kann entnommen werden, dass die Summen aller Ströme in den europäischen Ländern ausgeprägte Nachttäler aufweisen. Bild 1 zeigt Beispiele aus den Niederlanden, Italien und Deutschland. Der Tagesmittelwert der Stromamplituden liegt bei rund 80% der höchsten Amplituden, mit Abweichungen je Land nach oben oder unten.

Adresse des Autors
Prof. em. Dr.-Ing. *Werner Rasquin*, Elektrische Energieübertragung, Gerhard-Mercator-Universität, D-47048 Duisburg

Wird die Belastbarkeit der Drehstromkabel über einen Lastfaktor von 100% festgelegt – wird also gemäss IEC 287 [2] vorausgesetzt, dass die Amplitude des Stromes über 24 Stunden stets gleich hoch ist –, hat dies den Vorteil, dass ganz sicher in den Kabeln keine unzulässige Erwärmung auftreten kann.

Unter Berücksichtigung der Wärmekapazitäten der Kabeladern und insbesondere des Erdbodens, z.B. nach [3], [4] und [5], wurde ermittelt, dass bei zyklischen Lasten durchaus höhere Belastungen als bei Dauerlast erzielt werden können. Damit stellt sich die Frage, ob durch einen in der Nähe der Kabeladern verlegten Wärmespeicher die Kabelerwärmung spürbar verzögert werden kann und damit bei zyklischer Last die Kabel noch höher als nach [3] ausgelastet werden können.

Ausserdem kann aus [1] entnommen werden, dass im Sommerhalbjahr die Last deutlich kleiner ist als im Winterhalbjahr (Bild 2). Wird der oben angesprochene Wärmespeicher gross genug gewählt, so könnte der im Winter aufgeladene Speicher im Sommer wenigstens zu einem grösseren Teil wieder entladen werden. Dabei ist zu beachten, dass die auftretenden Verlustleistungen vom Quadrat des Stroms abhängen. Daraus würde sich eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Belastbarkeit ergeben. Es soll also untersucht werden, in welchem Umfang das Übertragungsvermögen von Kabeln durch Wärmespeicher vergrössert werden kann.

Betrachtete Anordnung

Stellvertretend sollen drei flach verlegte 110-kV-VPE-Drehstromkabeladern (vernetztes **P**olyethylen) betrachtet werden. Die Kabeladern besitzen Kupferleiter von 1000 mm² Querschnitt. Sie sind in einer Tiefe von 1,2 m mit einem Aderachsabstand von 400 mm verlegt. Unter diesen Voraussetzungen besitzen sie nach IEC 287 eine Dauerbelastbarkeit von 240 MVA. Darüber werden in geringem Abstand drei Rohre mit einem hohen Wärmeaufnahmevermögen angeordnet (Bild 3). Es werden zwei unterschiedliche Arten von Wärmespeichern betrachtet. Die erste Art besitzt ein lineares Verhalten (sensible Wärme), die zweite zeigt nichtlineares Verhalten (Phasenumwandlung).

Die in Tabelle I aufgeführten Kühlarten sollen untersucht werden. Zwangskühlung bedeutet hier, dass durch ein zusätzliches Kühlsystem eine Verlustleistung je Längenelement von 2 W/m jeder Kabelader entzogen wird.

Die Speicher für sensible Wärme besitzen eine spezifische Wärmekapazität von 500 kWs/(mK). Dies wären beispielsweise wassergefüllte Rohre mit einem Durchmesser von 400 mm.

Die Speicher mit einer Phasenumwandlung werden über die Kennlinie in Bild 4 beschrieben. Dabei wurde Wasserverdampfung bei erniedrigtem Druck ge-

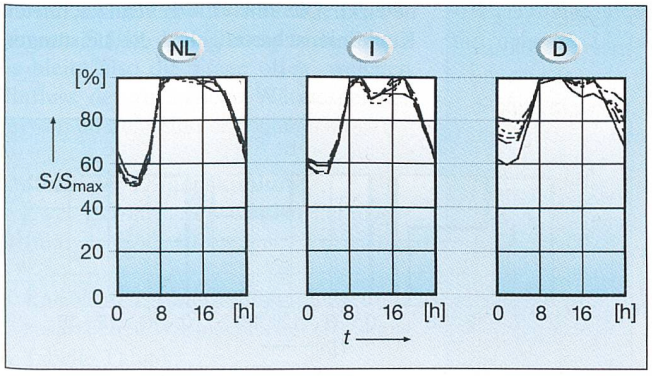


Bild 1 Tageslastganglinien aus den Niederlanden (NL), Italien (I) und Deutschland (D)

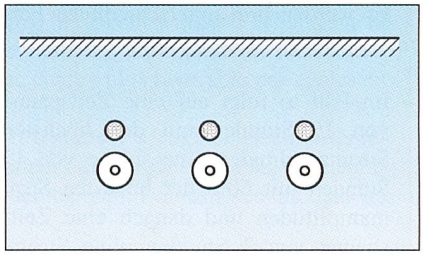


Bild 3 Anordnung der Kabeladern und der Speicher

Nr.	Kühlart
1	Kabel mit natürlicher Kühlung, ohne zusätzlichen Wärmespeicher
2	Kabel mit natürlicher Kühlung, mit zusätzlichem linearem Wärmespeicher
3	Kabel mit natürlicher Kühlung, mit zusätzlichem nichtlinearem Wärmespeicher
4	Kabel mit Zwangskühlung, ohne zusätzlichen Wärmespeicher
5	Kabel mit Zwangskühlung, mit zusätzlichem linearem Wärmespeicher
6	Kabel mit Zwangskühlung, mit zusätzlichem nichtlinearem Wärmespeicher
7	Kabel (thermisch isoliert) mit Zwangskühlung, ohne zusätzlichen Wärmespeicher
8	Kabel (thermisch isoliert) mit Zwangskühlung, mit zusätzlichem linearem Wärmespeicher
9	Kabel (thermisch isoliert) mit Zwangskühlung, mit zusätzlichem nichtlinearem Wärmespeicher

Tabelle I Untersuchte Kabelkühlarten, kombiniert mit den entsprechenden Wärmespeichern

	Bestimmend ist die Oberflächentemperatur				Bestimmend ist die Leitertemperatur			
Lastfaktor m	0,717	0,840	0,950	1,000	0,717	0,840	0,950	1,000
	Δs/s %	Δs/s %	Δs/s %	s MVA	Δs/s %	Δs/s %	Δs/s %	s MVA
1. Art: Natürliche Kühlung, ohne Wärmespeicher	13,5	10,0	7,1	140	11,3	10,0	7,5	240
3. Art: Natürliche Kühlung, mit nichtlinearem Wärmespeicher	25,1	18,7	12,9	140	19,6	18,3	13,7	240
6. Art: Zwangskühlung, mit nichtlinearem Wärmespeicher	24,7	20,6	12,1	247	11,3	9,6	7,2	363
9. Art: Zwangskühlung, mit therm. Isolierung und mit nichtlinearem Wärmespeicher	16,6	12,1	8,5	199	13,3	11,5	8,4	323

Tabelle II Relative Steigerung der Übertragungsleistung bei zyklischer Last

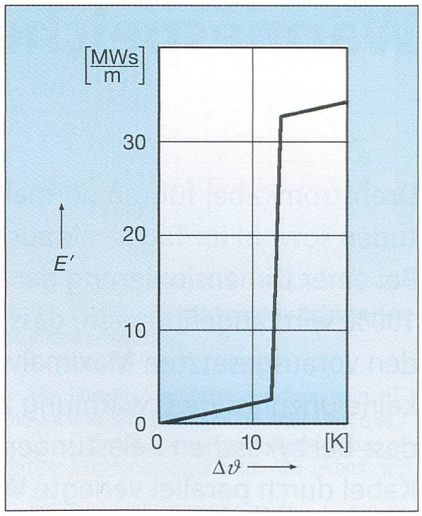


Bild 4 Wärmeaufnahmevermögen *E'* je Längenelement des nichtlinearen Wärmespeichers als Funktion der Temperaturanhebung Δϑ

wählt. Das angesetzte Wasservolumen würde ein Rohr mit 50 mm Durchmesser füllen.

Die oben angesprochenen Kabel sollen aus Vergleichsgründen einerseits mit Dauerlast und anderseits mit unterschiedlichen zyklischen Lasten betrieben werden. Die eingesetzten zyklischen Lasten werden im folgenden Abschnitt festgelegt.

Zyklische Lasten

Es werden drei unterschiedliche Formen zyklischer Last betrachtet (Bild 5):

- Im Fall a) folgt auf eine Zeitspanne von 10 Stunden mit den höchsten Stromamplituden eine solche von 12 Stunden mit 60% der höchsten Stromamplituden und danach eine Zeitspanne von 2 Stunden ohne Strom. Daraus ergibt sich ein Lastfaktor, d.h. ein zeitlicher Mittelwert des Stromes bezogen auf den Höchstwert, von $m = 0{,}717$. Dies ist ein Beispiel für extrem starke Lastschwankungen.
- Im Fall b) wird auf den UCTE-Bericht [1] zurückgegriffen. Aus den Lastschwankungen in den Ländern Deutschland, Italien und Niederlande an bestimmten Tagen im Winter 1996/97 wird ein repräsentativer Verlauf konstruiert. Auf 12 Stunden mit den höchsten Stromamplituden folgt eine Zeitspanne von 12 Stunden mit 68% der höchsten Stromamplituden. Dieser Verlauf entspricht einem Lastfaktor von $m = 0{,}84$.
- Im Fall c) werden sehr kleine Lastschwankungen angenommen. Auf 12 Stunden mit den höchsten Stromamplituden folgt eine Zeitspanne von 12 Stunden mit 90% der höchsten Stromamplituden. Dieser Verlauf entspricht einem Lastfaktor von $m = 0{,}95$.

Ausserdem wird vorausgesetzt, dass im Laufe jedes durchgeführten Berechnungsgangs, der sich über eine Betriebszeitspanne von acht Monaten erstreckt, weder der Zyklustyp noch der Höchstwert des Stromes verändert werden. Würde die Betriebszeitspanne kürzer gewählt, könnten grössere Leistungssteigerungen erzielt werden. Die Ergebnisse liegen somit auf der sicheren Seite.

Ergebnisse

Die in Bild 6 mit «O» gekennzeichneten Kennlinienscharen geben die Leistungen an, bei denen die Oberflächentemperatur der Kabeladern unter 35 °C bleibt, das Kabel also keine Bodenaustrocknung bewirkt. Die mit «L» gekennzeichneten Kennlinienscharen geben die Leistungen

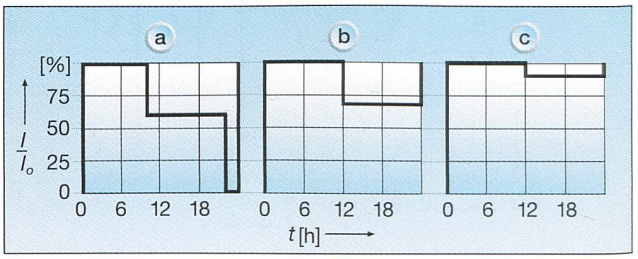


Bild 5 Verteilung des Stroms über 24 Stunden (nicht Tageszeit)

a) Lastfaktor = 0,717
b) Lastfaktor = 0,84
c) Lastfaktor = 0,95

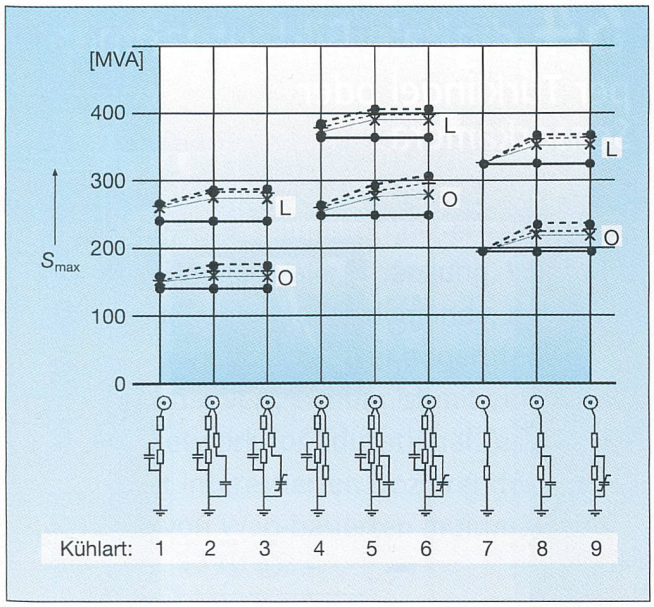


Bild 6 Maximale Übertragungsleistung S_{max} der untersuchten Betriebsarten

O: Oberflächentemperatur ist bestimmend
L: Leitertemperatur ist bestimmend (thermisch stabilisierter Graben)
--- Lastfaktor = 71,7%
----- Lastfaktor = 84,0%
— Lastfaktor = 95,0%
— Lastfaktor = 100,0%
Die Kühlarten werden über ihre Nummer aus Tabelle I charakterisiert.

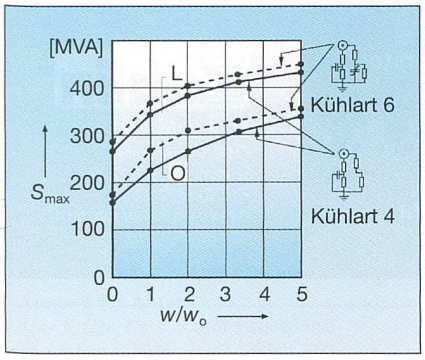


Bild 7 Maximale Übertragungsleistung S_{max} in Abhängigkeit von der bezogenen Strömungsgeschwindigkeit w/w_o der Kühlflüssigkeit

— ohne zusätzliche Wärmespeicher
---- mit zusätzlichen Wärmespeichern
O Oberflächentemperatur von 35 °C
L Leitertemperatur von 90 °C

an, bei denen die Leitertemperatur des Kabels 90 °C erreicht, aber nicht übersteigt.

Schon die Speicherkapazitäten des Erdreichs liefern eine spürbare Leistungssteigerung. Die angenommenen zusätzlichen Wärmespeicher erhöhen das Leistungsvermögen der Kabel nochmals beträchtlich (Tabelle II).

Bei den Kabeln mit Zwangskühlung wurde für alle Betriebsarten eine bestimmte Stärke der Kühlung beibehalten. Es bleibt also die Frage offen, welchen Einfluss der zusätzliche Wärmespeicher bei veränderten Kühlbedingungen hat.

Einfluss der Zwangskühlung

Zwei Betriebsarten werden herausgegriffen:

- Kabel mit Zwangskühlung, aber ohne zusätzlichen Wärmespeicher (Nr. 4 aus Tabelle 1) und
- Kabel mit Zwangskühlung, aber mit zusätzlichem (nichtlinearem) Wärmespeicher (Nr. 6 aus Tabelle 1)

Der Grad der Zwangskühlung wird durch die Grösse der Kühlmittelströmungsgeschwindigkeit w beeinflusst, da sich die Leistungsabfuhr proportional zu dieser verhält. Die Strömungsgeschwindigkeit w_0 entspricht der weiter oben angegebenen Leistungsabfuhr von 2 W/m.

Aus den Berechnungsergebnissen (Bild 7) kann gefolgert werden, dass ein zusätzlicher Wärmespeicher durchaus eine Steigerung der maximalen Übertragungsleistung eines Kabels mit Zwangskühlung bewirken kann (gestrichelte Kennlinien). Allerdings ist diese Steigerung nur bei schwächeren Zwangskühlungen ausgeprägt. Bei sehr starken Zwangskühlungen muss der Einfluss von zusätzlichen Wärmespeichern vollständig verschwinden.

Folgerungen

Die Wärmekapazitäten des Erdbodens bewirken bei zyklischen Lasten eine höhere Belastbarkeit der Kabel als bei Dauerlast. Dies wird durch die vorgestellten Berechnungsergebnisse bestätigt.

Ein zum Kabel parallel verlegter Wärmespeicher steigert die Belastbarkeit nochmals spürbar über die Grössen hinaus, die durch die Wärmekapazitäten der Kabel und des Erdbodens bestimmt werden.

Sollte die Nachfrage nach elektrischer Energie auch weiterhin so langsam wie in den letzten Jahren ansteigen, könnten nachträglich verlegte Wärmespeicher die Investition eines leistungsstärkeren Kabels merklich hinauszögern.

Literatur

[1] UCTE-Sekretariat: UCPTE I-1997, Halbjahresbericht, Wien.

[2] CEI/IEC 287-1-11994: Electric Cables – Calculation of the rating – Part I.

[3] *H. Brakelmann:* Erwärmung zyklisch belasteter Energiekabel. etz-Archiv (1984) S. 317–324.

[4] *H. Brakelmann:* Current rating calculations in Germany, Proc. of the Workshop «Current rating of buried cables in relation to thermal properties of soil». KEMA (1985) S. 192–197.

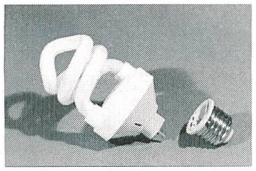
[5] *H. Brakelmann:* Kabelbelastbarkeit bei Berücksichtigung von Tages- und Wochenlastzyklen. Elektrizitätswirtschaft (1995) S. 368–372.

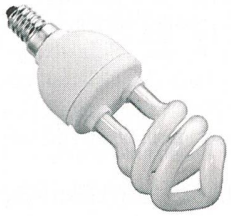
Les accumulateurs thermiques déchargent les câbles d'énergie

Les câbles triphasés transportent généralement des courants d'amplitude variable suivant l'heure de la journée et la saison. En dimensionnant les câbles pour un facteur de charge de 100%, on suppose que la charge est constante et ne dépassera pas la valeur maximale prévue. Ainsi, il ne peut y avoir d'échauffement inadmissible. Les calculs montrent qu'en installant des accumulateurs thermiques parallèlement aux câbles, on peut obtenir une charge plus favorable des câbles en charge cyclique.

Si la demande d'énergie électrique devait continuer à augmenter aussi lentement que ces dernières années, des accumulateurs thermiques installés ultérieurement pourraient permettre de retarder considérablement l'investissement dans un câble plus largement dimensionné.

Eclairez, ces votre affaire, avec la lampe ALADIN





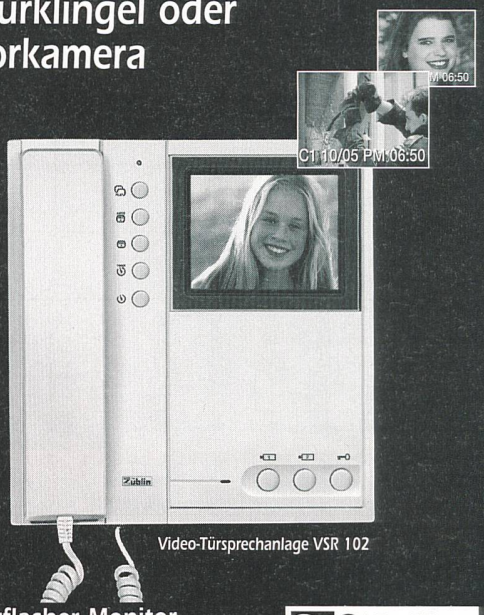
- jusqu'à 80% d'économies avec la même quantité de lumière
- dans le monde entier la seule lampe avec la touche de protection complet par VDE 0616
- petit comme une ampoule, mais avec une grande éclairage

Plus des informations vous recevez par:

CC CardiCommerce
Chemin des cordiers 9
2503 Biel-Bienne
tél./fax: +41(0)32 361 10 26/27
e-mail: cardicom@bluewin.ch

Roesch Electric AG
Bahnhofstr. 46, Postfach 19
5322 Koblenz
tél.: +41(0)56 246 11 33
fax: +41(0)56 246 13 18
e-mail: info@roesch-electric.ch

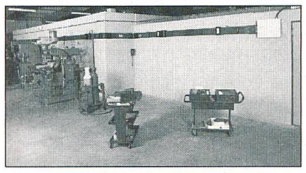
64 digitale Bildaufnahmen per Türklingel oder Sensorkamera

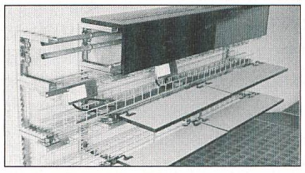


Video-Türsprechanlage VSR 102

- Superflacher Monitor
- 2-Draht-Technik
- Superflache Aussenstation
- Richtbare Kamera

Züblin
M. Züblin AG
CH-8304 Wallisellen
Telefon: 01/878 22 22
Fax: 01/878 22 33
Homepage: www.zublin.ch





Fabrikbauten und Nachinstallationen mit LANZ Qualitätsprodukten:

- **LANZ Stromschienen** 25–8'000 A IP 20, IP 54 und IP 68 1–245 kV EN/IEC-Norm
- **LANZ Weitspann-Kabelpritschen** 6 m Länge **NEU**
- **LANZ Multibahnen** – **eine** Bahn für alle **Kabel,** auch farbig oder aus Stahl inox. SN SEV 1000/3 und CE-konform
- **G-Kanäle** und **Alu-Kabelschutzrohre** für (kleine) Kabelinstallationen an Decken und Wänden
- **LANZ Brüstungskanäle** 150 x 200 – 250 x 250 mm und **2-Stromkreis-Brüstungskanal-Stromschienen kb-System** 230 V/63 A und 400 V/63 A für Werkstätten, Labors und Büros
- **Boden-Anschlussdosen** und Anschlussdosen für den Einbau in Doppelbodenplatten. – Kabelauslässe 8- und 16-fach
- **MULTIFIX Schienenmontagesystem** und **Rohrschellen** für die **koordinierte Installation** aller Elektro-, Sanitär- und HLK-Leitungen **NEU**

Fortschrittlichste Technik. Rasch montiert. Erweiter- und ausbaubar. Fragen Sie LANZ für Beratung, Offerte und preisgünstige Lieferung

lanz oensingen ag Tel. 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24

☐ Mich interessieren . . . . . Bitte senden Sie Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name/Adresse/Tel. _____

AL 02

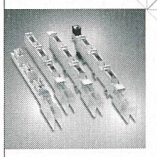
lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen • Telefon ++41/62 388 21 21

WEBER

Produkte Innovation ist für uns eine Herausforderung – zu Ihrem Vorteil

WEBER AG
Elektrotechnik
Sedelstrasse 2
CH-6021 Emmenbrücke
Schweiz/Switzerland
Tel. +41 41-269 90 00
Fax +41 41 269 92 97
Internet: www.weber.ch
Email: contact@weber.ch

Und unsere ganzheitlichen Dienstleistungen von der technischen Beratung bis zu den ausführlichen Dokumentationen sind zugeschnitten auf die Bedürfnisse unserer Kunden.



VERTIGROUP 160 A bis 2000 A

Das **VERTIGROUP** NH-Sicherungs-Lastschaltleisten Sortiment ist nun komplett. Mit der Grösse DIN 00, 185 mm und deren herausragenden Eigenschaften wie 1- und 3-polig schaltbar, grosse Montagefreundlichkeit dank Direktmontage, Stromwandlereinbaumöglichkeit sowie hohem Sicherheits- und Servicekomfort wurde das Sortiment DIN Gr. 1 bis 3 sinnvoll erweitert.