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: 76 (1985)

Heft: 19

Artikel: Vorortung von Kabelmantelfehlern

Autor: Krüger, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904685

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: 10.12.2025

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

Vorortung von Kabelmantelfehlern

Für den Korrosionsschutz von Kabelschirmen werden vielfach PVC- und PE-Isolationsmäntel verwendet. Fehler in diesen Isolationsmänteln müssen möglichst rasch festgestellt, geortet und behoben werden, da insbesondere bei Aluminiumschirmen ein Durchkorrodieren in relativ kurzer Zeit erfolgen kann [1]. Ist dies der Fall, kann in die Hauptisolation des Kabels Feuchtigkeit eindringen und so zu einem Durchschlag führen. Werden die Isolationsmäntel jedoch regelmässig überprüft, ist in den meisten Fällen eine einfache Reparatur des Mantelfehlers in Form einer zusätzlichen Isoliermanschette möglich. Ausserdem kann durch eine solche regelmässige Kontrolle die Zahl der unvorhergesehenen Kabelausfälle drastisch reduziert werden. Die beschriebenen Messverfahren eignen sich auch für die Ortung von - auch hochohmigen - Erdschlussfehlern nicht geschirmter Niederspannungskabel, die in vielen Ländern mehr und mehr eingesetzt werden.

1. Spannungsabfallmethode

Zwischen Kabelschirm und Erde wird von beiden Kabelenden her eine einstellbare Gleichspannungsquelle U angeschlossen. Der über den Kabelschirm, den Fehlerwiderstand und das Erdreich fliessende Strom erzeugt am Kabelschirm einen Spannungsabfall proportional zur Länge L. Dieser kann mit einem mV-Meter gemessen werden. Für eine Ortung sind zwei Messungen notwendig (Fig. 1). Wird $I_1 = I_2$ eingestellt, kann die Distanz zur Fehlerstelle bestimmt werden:

$$L_1 = \frac{(L_1 + L_2)\, U_1}{U_1 + U_2} = \frac{L_{ges} \cdot U_1}{U_1 + U_2} \qquad (1)$$

Da die Ströme I_1 und I_2 die Spannungsabfälle U_1 und U_2 verursachen, muss darauf geachtet werden, dass sie bei beiden Messungen genau übereinstimmen.

Den Einfluss von Stromschwankungen zeigt folgendes Beispiel: Beträgt U_1 = 10 mV, U_2 = 50 mV und L_{ges} = 1000 m, so folgt L_1 = 166,7 m. Ist der Strom I_2 bei der Messung von U_2 um 10% geringer als I_1, so ist auch U_2 um 10% zu gering. Es ergibt sich dann L_1 = 181,8 m. Der relative Fehler beträgt etwa 9%.

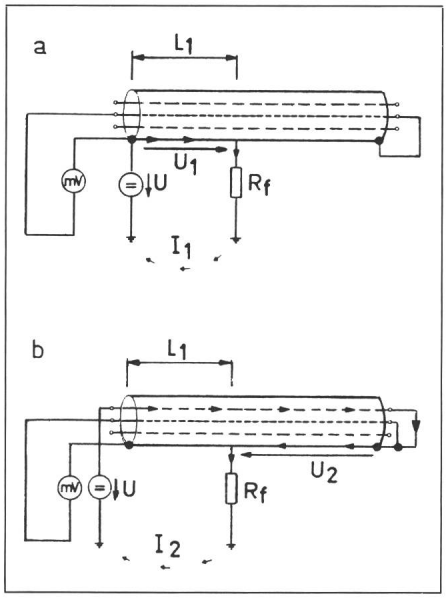


Fig. 1 Spannungsabfallmethode
a Ermittlung von U_1
b Ermittlung von U_2, wobei $I_1 = I_2$

2. Brückenmethode

Alle Brückenmessmethoden zur Fehlerortung an Kabeln, die mit Gleichstrom arbeiten, basieren im Grunde genommen auf abgeänderten Wheatstoneschaltungen (Fig. 2) [2]. Die Brücke ist dann abgeglichen, wenn

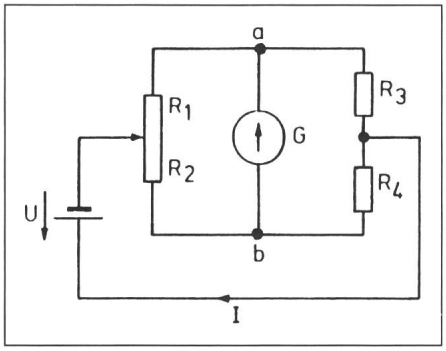


Fig. 2 Prinzip der Wheatstonebrücke

die Punkte a und b auf gleichem Potential liegen. Das Galvanometer zeigt dann null an. Dies ist der Fall, wenn

$$R_1/R_3 = R_2/R_4 \qquad (2)$$

Bei der Brückenmessung nach *Murray* [3] bilden die Widerstände der beiden Schirmabschnitte die Widerstände R_3 und R_4 (Fig. 3).

Die Fehlerentfernung beträgt

$$l_x = l \cdot \alpha/1000 \qquad (3)$$

mit α = 0...1000 Skalenteilen des Potentiometers R.

3. Empfindlichkeit der Messbrücke

Figur 4 zeigt das vollständige Ersatzschaltbild bei der Brückenmessung. Zur Berechnung der Messeempfindlichkeit wird angenommen:

$$R_F \gg R_1, R_2, R_3, R_4 \qquad (4)$$

Damit gilt

$$I \approx U/R_f \qquad (5)$$

Adresse des Autors
Dipl. Ing. *M. Krüger*, Baur Prüf- und Messtechnik AG, A-6832 Sulz.

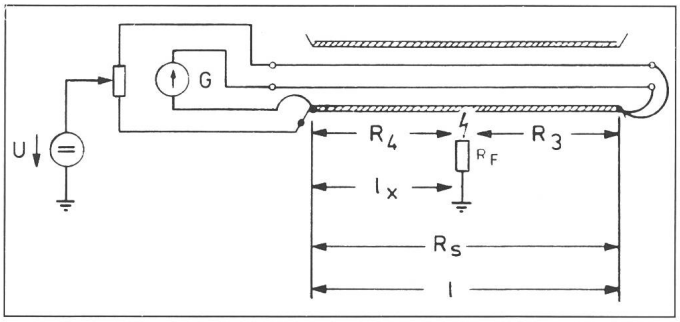


Fig. 3
Brückenmessung nach Murray

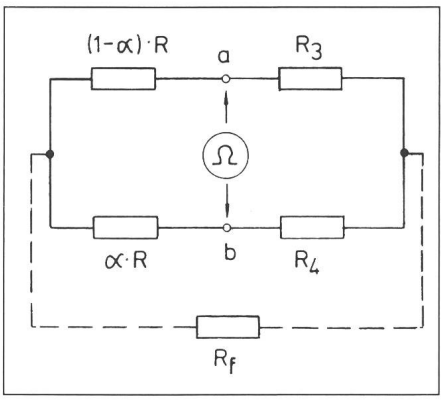


Fig. 6 Ersatzstromkreis für den Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle

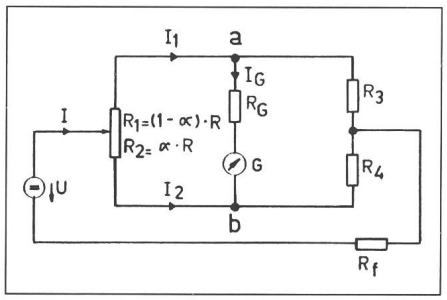


Fig. 4 Vollständiges Ersatzschaltbild bei der Brückenmessung

Zur Bestimmung der Messempfindlichkeit müssen die Leerlaufspannung und der Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle bezüglich der Punkte a, b in Figur 4 bestimmt werden (Fig. 5).

Im abgeglichenen Zustand erhält man für die beiden Ströme in Figur 4

$$I_1 \approx \frac{U}{R_f} \cdot \frac{1}{1 + \dfrac{(1-\alpha)\,R + R_3}{\alpha R + R_4}} \qquad (6)$$

$$I_2 \approx \frac{U}{R_f} \cdot \frac{1}{1 + \dfrac{\alpha R + R_4}{(1-\alpha)\,R + R_3}} \qquad (7)$$

$$U_0 = I_1 R_3 - I_2 R_4 \qquad (8)$$

$$U_0 = \frac{U}{R_f} \cdot \frac{R[\alpha R_3 - (1-\alpha) R_4]}{R + R_3 + R_4} \qquad (9)$$

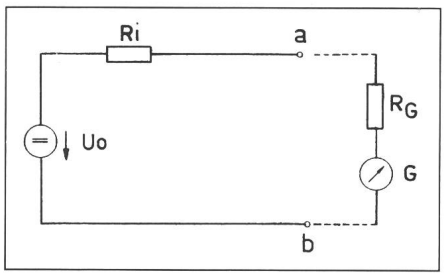


Fig. 5 Ersatzspannungsquelle U_0 zur Bestimmung der Messempfindlichkeit

Berücksichtigt man die Ungleichung (4), so gilt nach Figur 6 für den Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle U_0

$$Ri \approx \frac{R(R_3 + R_4)}{R + R_3 + R_4} = \frac{R \cdot R_s}{R + R_s} \qquad (10)$$

wobei $R_s = R_3 + R_4$

Nach Figur 7 lässt sich für den Galvanometerstrom I_G schreiben:

$$I_G = \frac{U_0}{R_i + R_G} = \frac{U}{R_f} \cdot \frac{\alpha R_3 - (1-\alpha) \cdot R_4}{R_G \cdot (1 + R_s/R) + R_s} \qquad (11)$$

$$\text{Mit } R_4 = \beta \cdot R_s,\ R_3 = (1-\beta) R_s \qquad (12)$$

kann für I_G geschrieben werden:

$$I_G = \frac{U}{R_f} \cdot \frac{\alpha - \beta}{R_G/R_s + R_G/R + 1} \qquad (13)$$

In Gleichung (13) ist $(\alpha - \beta)$ ein Mass für die Brückenverstimmung bzw. für den Messfehler. Löst man diese Gleichung nach $(\alpha - \beta)$ auf, so erhält man den Messfehler

$$(\alpha - \beta) = \frac{I_G}{U} \cdot R_f (R_G/R_s + R_G/R + 1) \qquad (14)$$

Hinzu kommt noch der Linearitätsfehler F des Messpotentiometers. Die Werte für eine handelsübliche Hochspannungsmessbrücke sind in Figur 8 angegeben. Die mit einer solchen Messbrücke erzielten Messfehler sind in Figur 9 für verschiedene Schleifenwiderstände R_s, abhängig vom Fehlerstrom I, dargestellt.

Durch unzulässig hohe Übergangswiderstände an Klemmverbindungen, vagabundierende Gleichströme, nicht konstante Leitungsquerschnitte und andere Störeinflüsse kann der Fehler jedoch auch höher liegen.

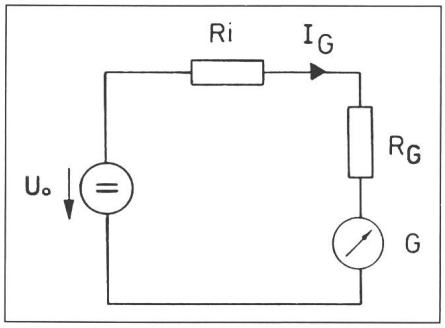


Fig. 7 Ersatzstromkreis des Galvanometers

4. Vergleich zwischen Spannungsabfallmethode und Brückenmessung

1. Beispiel: Mantelfehler

Ein Kunststoffkabel N2XSY mit einem Kupferschirm (25 mm² Querschnitt) hat in der Mitte einen Isolationsfehler des äusseren Kunststoffmantels. Die Gesamtlänge beträgt 1000 m.

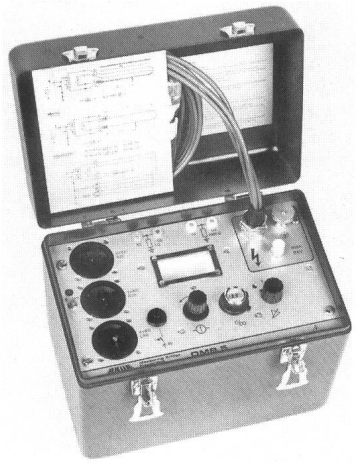


Fig. 8 Hochspannungsmessbrücke Baur DMB 5

I_G Galvanometerstrom für minimal ablesbaren Zeigerausschlag = 100 pA
R_G Innenwiderstand des Galvanometerverstärkers = 20 kOhm
R Widerstand des Messpotentiometers = 100 Ohm
F Linearitätsfehler des Messpotentiometers = 0,15%

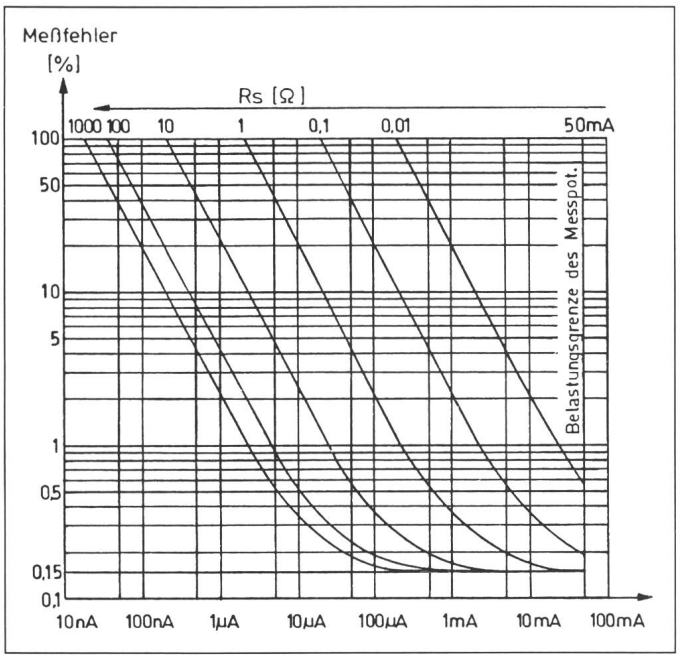


Fig. 9
Messfehler in Abhängigkeit des Fehlerstromes I und des Schleifenwiderstandes R_s
Der Fehlerstrom I ist der über die Fehlerstelle fliessende Strom bzw. der von der Spannungsquelle bei der Messung aufzubringende Strom.

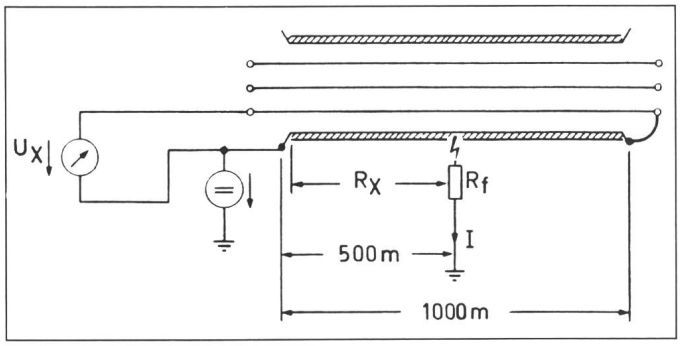


Fig. 10
Anordnung zur Messung mit Spannungsabfallmethode

Spannungsabfallmethode

Die Anordnung ist in Figur 10 ersichtlich. R_x beträgt 0,35 Ω. Zum Messen von U_x wird ein 60-mV-Drehspulmesswerk der Klasse 1,5 benutzt. Um einen Zeigerausschlag von 50% zu erzielen, ist ein Messstrom von 30 mV/ 0,35 Ω = 0,85 A erforderlich. Bei einer Versorgungsspannung von höchstens 6 kV darf der Fehlerwiderstand R_f nicht grösser als 70 kΩ sein. Der Messfehler kann hierbei ±0,015 · 60 mV = ±0,9 mV ≙ 3% betragen. Die Spannungsquelle muss eine Leistung von 516 W aufbringen.

Hochspannungsmessbrücke

In der Anordnung der Figur 3 ist R_s = 0,7 Ω. Für eine Messsicherheit von 1% kann aus Figur 9 für dieses R_s ein minimaler Messstrom von $I \approx$ 500 µA entnommen werden.

Der Fehlerwiderstand kann also maximal 12 MΩ betragen. Die erforderliche Leistung der Spannungsquelle beträgt 3 W.

2. Beispiel: Erdschlussfehler eines nicht geschirmten Niederspannungskabels

Noch deutlicher wird der Vorteil des Brückenmessprinzips bei der Ortung von Erdfehlern an nicht geschirmten Niederspannungskabeln mit grossem Querschnitt. Anstelle des defekten Kabelmantels tritt hier eine defekte Einzelader aus Kupfer mit einem Querschnitt von beispielsweise 150 mm². Rs ist dann 0,117 Ω und R_x = 0,0583 Ω.

Bei der Spannungsabfallmethode wird für einen Spannungsabfall von 30 mV ein Messstrom von I = 0,515 A benötigt. Bei 6 kV beträgt R_{fmax} 11,6 kΩ. Die Spannungsquelle muss eine Leistung von 3 kVA aufbringen.

Bei der Brückenmethode kann für eine Messgenauigkeit von 1% aus Figur 9 für R_s = 0,117 Ω ein minimaler Messstrom von I = 2 mA entnommen werden. Der Fehlerwiderstand kann maximal 3 MΩ betragen. Die erforderliche Leistung der Spannungsquelle beträgt 12 W.

5. Zusammenfassung

Niederohmige Fehler von Kunststoff-Kabelmänteln und nicht geschirmten Niederspannungskabeln können mit einem Millivoltmeter und einer Hochspannungsquelle nach der Spannungsabfallmethode geortet werden, wenn keine besonders hohen Ansprüche an die Messgenauigkeit gestellt werden.

Bei hohen Fehlerwiderständen (z.B. bei trockenem Erdreich) und grossen Leiterquerschnitten ist die Spannungsabfallmethode unbrauchbar. Diese Fehler können nur nach der Brückenmethode eingemessen werden. Bei extrem hochohmigen Fehlerwiderständen sind für die Speisung der Messbrücke Spannungen von mehreren Kilovolt notwendig. Aus diesem Grund sind Hochspannungsmessbrücken für diese Fehler besonders gut geeignet.

Literatur

[1] *H. Sondermann* und *J. Baur:* Diagnostik und Fehlerortung von PVC-Schutzmänteln an Hoch- und Niederspannungskabeln. ÖZE 31(1978)5, S. 161...164.

[2] *H. Wüger:* Sir Charles Wheatstone. Bull. SEV/VSE 67(1976)4, S. 181.

[3] *M. Krüger:* Programm zur Berechnung der Messempfindlichkeit einer Fehlerortungs-Messbrücke nach Murray. Technischer Bericht Nr. 8509. Sulz/Vorarlberg, Baur, Prüf- und Messtechnik KG., 1985.

[4] *E. Widl:* Fehlerortungen. Ihre Messverfahren in Fernmelde- und Starkstromkabeln. Heidelberg, Dr.-Alfred-Hüthig-Verlag, 1962.

50 Jahre Meili! Spezialisten für

Hebezeuge

mit Lagerservice. Sicher und zuverlässig.

Rätschenzüge «Puller»

◀◀ Der «Allrounder» mit unverwüstlichem Pressstahlgehäuse und Handrad für rasche Vorspannung. Sehr preiswertes Hebewerkzeug.

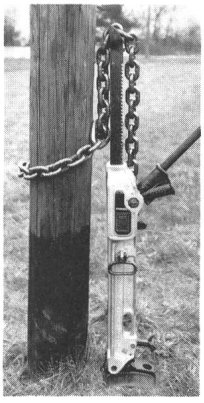
◀ Der «Spezialist» mit Leichtmetallgehäuse und rostgeschütztem Mechanismus, wahlweise mit Überlastwarnhebel. Seit 35 Jahren bewährt.

Hand-Flaschenzüge

und Laufkatzen. Kompakte Bauart für niedrige Einsatzräume. Cyclone mit Überlastsicherung.

Elektro-Kettenzüge

Alle Ausführungen, bis 5 t ebenfalls ab Lager.



Immer wieder aktuell die unverwüstlichen

Simplex-

Mastenwinde A 1538. Kabeltrommelwinden. Mech. Präzisionshebeböcke

Verlangen Sie Unterlagen, Katalog oder Beratung!

☎ (01) 570 330

MEILI

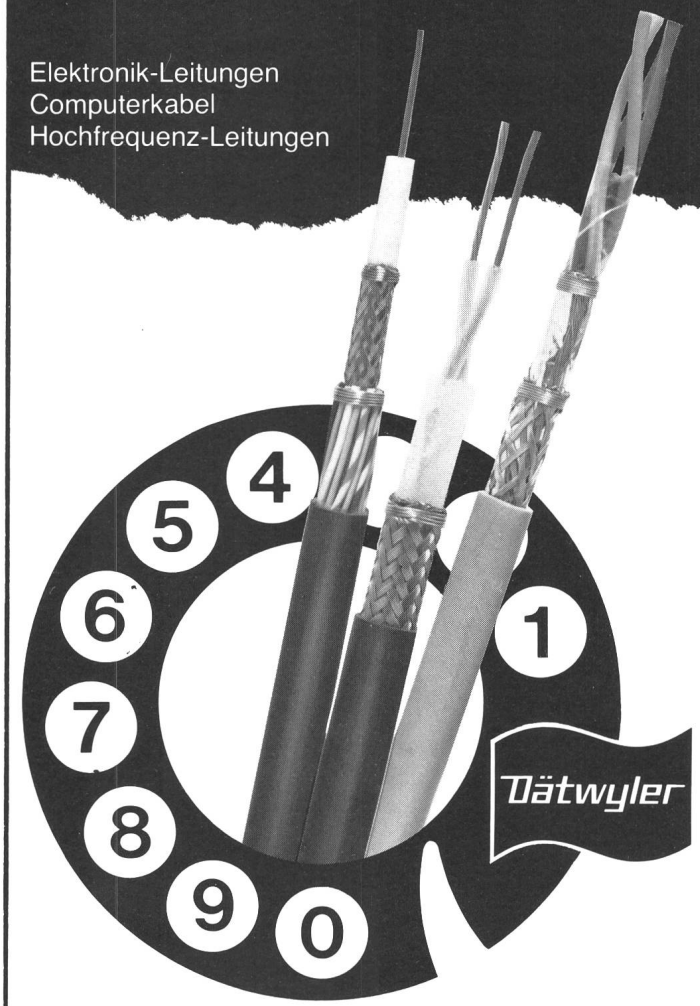
8046 Zürich, Zehntenhausstrasse 63

Ein Telefonanruf löst auch Ihre Probleme:
Altdorf: 044 - 4 11 22
Zürich: 01 - 491 55 81

Dätwyler

STEUERN...
REGELN...
ÜBERWACHEN...
MESSEN...
ÜBERTRAGEN...

Elektronik-Leitungen
Computerkabel
Hochfrequenz-Leitungen



Detaillierte Unterlagen
und fachkundige Beratung durch:

Dätwyler AG
Gotthardstrasse 31
6460 Altdorf
Telefon 044 - 4 11 22
Telex 866 364 dag ch

Ernst Rütschi AG
Badenerstrasse 338
8040 Zürich
Telefon 01 - 491 55 81
Telex 822 464

UNIVERSELL!

Bauart JK für alle Brüstungskanäle

Zum Beispiel:

2fach-Steckdosen Typ 13

3fach-Steckdosen Typ 13

T+T 83-Steck- und Anschlussdosen

Signallampen

2fach-Steckdosen Typ 12

Druckschalter

T+T-Steckdosen 4polig

lassen sich in alle handelsüblichen Brüstungskanäle einbauen.

JK-Apparate finden Sie im Feller-Katalog auf den Seiten 207–265!

Feller AG
CH-8810 Horgen
Tel. 01 725 65 65

Feller
Elektrotechnik
Informatik

Die Reka nützt auch Ihnen!

Verlangen Sie Informationen über die vielfältigen Reka-Dienstleistungen.

reka

Coupon ausfüllen, ausschneiden und einsenden.
So einfach ist das.

Ich interessiere mich für:
☐ Reka-Checks ☐ Reka-Ferienwohnungen ☐ Reka-Mitgliedschaft

Name _____ Vorname _____

Strasse _____

PLZ/Ort _____

Bitte einsenden an:
Reka, Postfach 2247, 3001 Bern

27

CAD-System
für den
Elektroplaner!

Rechnerunterstütztes Zeichnen leicht gemacht – mit dem ELEKTRO-CAD von Romos

Vollständige Symbolbibliothek nach VSEI-Empfehlung

20-Zoll-Farbmonitor. Auflösung 1024 x 1024. Als Einplatzsystem mit IBM- oder TeleVideo-XT/AT, als Mehrplatzsystem mit TeleVideo PM/4T

Spezielle Programme auch für Leiterplatten-entwicklung und -produktion.

Romos

Vertretung und Servicezentrum
Romos Elektronik AG, Gewerbestrasse 10, 4450 Sissach
Tel. 061-98 22 54, Geschäftsstelle Zürich 01-491 82 77