

Thomas Kroll



www.thomas-kroll.de
thomas-kroll@gmx.de

Elektrotechnik im Orgelbau

Ein „brandaktuelles“ Thema

Dipl.-Ing. Thomas Kroll

Sichere und normgerechte Ausführung elektrotechnischer Anlagen und Installationen im Orgelbau

Tagung von VOD und BDO
in Köln vom 10. bis 13. Juni 2014

Vortrag am 11.06.2014



Warum dieses Thema ?



Es funktioniert doch alles ... (meistens)

Elektrizität birgt Gefahren

Sicherer Umgang mit Gefahren



Vorschriften und Regeln
(Normen)

Was sind die Gefahren von Elektrizität ?

- ▶ Hohe Spannungen: Gefahr durch elektrischen Schlag → Lebensgefahr
- ▶ Hohe Ströme: Auswirkungen von Wärme → Brandgefahr

NORMEN

= Anerkannte Regeln der Technik

In der Elektrotechnik:

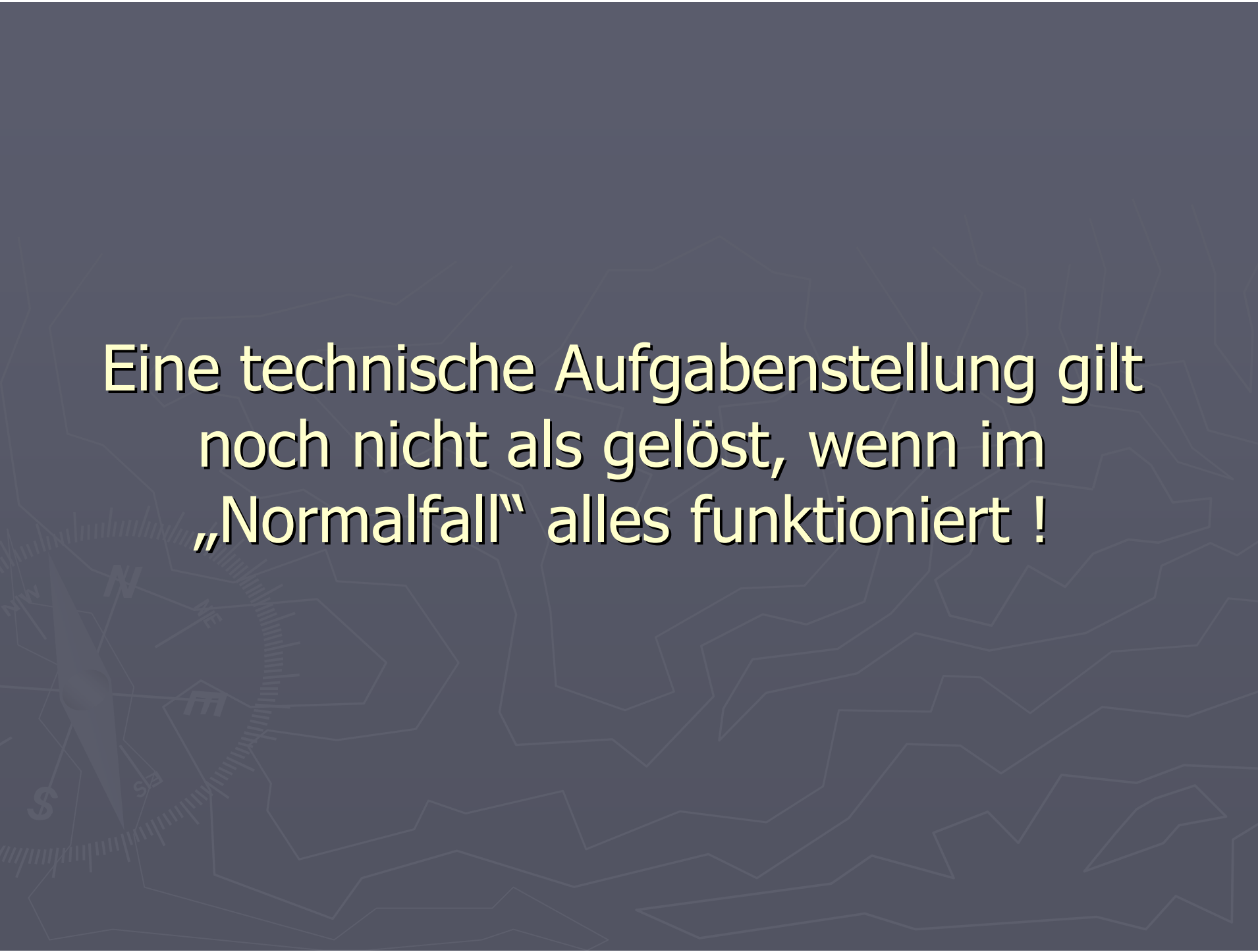
VDE-Vorschriften

VDE = Verband der Elektrotechnik, Elektronik
und Informationstechnik e.V.

Gegründet 1893

Haftung

- ▶ Man *muß* sich nicht an Normen halten
- ▶ Ein Handwerker oder Unternehmer ist juristisch für seine Arbeit haftbar
- ▶ Wer im Schadenfall nachweisen kann, sich an die in Frage kommenden Normen gehalten zu haben, hat vor Gericht immer „die besseren Karten“ !



Eine technische Aufgabenstellung gilt
noch nicht als gelöst, wenn im
„Normalfall“ alles funktioniert !

Gibt es Normen oder anderweitige (aktuelle)
Richtlinien speziell zum Thema
„Elektrotechnik im Orgelbau“ ?

N E I N !

Dieser Umstand hat zu *Verunsicherung* geführt.

Hier soll Abhilfe geschaffen werden !

1935

Evangelisches Konsistorium
der Rheinprovinz.
2943.

3. Juni 1935.

Düsseldorf, den
Schloß Jägerhof.
Postfach 549.

Hr.

Um Hingabe obiger Nummer bei der
Einreichung wird gebeten.

Postfachkonto der Konsistorialkasse Düsseldorf
Heil 251a Nr. 97347.
Girokonto bei der Reichsbank in Düsseldorf.
Kontonr. Nr. 37658/59.

Anliegende Leitsätze für Orgelwerke mit
elektrischen Trakturen, die uns vom Evangelischen
Oberkirchenrat in Berlin-Charlottenburg übermittelt
worden sind, übersenden wir zur Kenntnisnahme und
zur Beachtung bei Orgelprüfungen. Die Leitsätze sind
auf Anregung des Landeskirchenrats Hannover unter
Mitwirkung des Orgelbaumeisters Walcker-Ludwigsburg
und des Evangelischen Orgelbaukommissariats für das
badische Unterland aufgestellt worden.

In Vertretung:

Dfater

S.

An

Herrn Pfarrer Diederichs

in

Burg a.d. Wupper.

R. d. A.

Organisationsprüfung

1935

Abschrift.

Abschrift der Anlage zu K.K.IV 194.

Leitsätze

für Orgelwerke mit elektrischer Traktur.

I. Gültigkeit

Diese Leitsätze gelten vom ab (mit einer Übergangsfrist bis zum)

Sie erstrecken sich auf alle Orgeln mit ganz oder teilweise elektrisch ausgeführter Traktur einschließlich Signalanlagen.

Unmittelbar mit Ortsnetzen in Verbindung stehende Teile (Motoren, Anlaßgeräte, Starkstromleitungen und Lichtanlagen) unterliegen den "Vorschriften nebst Ausführungsbestimmungen für die Errichtung von Starkstromanlagen unter 1000 Volt."

II. Stromversorgung

1. Spannungen.

Als normale Betriebsspannung gilt eine Gleichspannung von 12 Volt (am Verbraucher bei Vollast gemessen)
Wo die Verhältnisse es erfordern, kann auch Gleichstrom mit einer Spannung bis zu 24 Volt verwendet werden.

2. Stromquellen

Zur Stromversorgung werden im Allgemeinen Gleichstrommaschinen verwendet, für deren Bau die R.E.M. 1928 gelten.
Daneben kommen Batterien in Frage, die getrennt, oder - bei geeigneter Größe - in Pufferschaltung mit der Maschine betrieben werden können.

III. Leitungen

1. Hauptleitungen

Als Hauptleitungen von der Stromquelle bis zur Verteilung sind NGÄ - Adern zu verwenden.
Sie sind vor mechanischen Beschädigungen zu schützen und evtl. in Rohr zu verlegen.

2. Steuerleitungen

Einzel- und Gruppenleitungen zu den Magneten etc. in der Orgel erhalten folgenden Aufbau:

Der emaillierte Kupferleiter von 0,6 mm aufwärts wird zweimal mit Baumwolle umspinnen, die obere Lage mit einer Kennfarbe und paraffiniert.

3. Rückleitungen

Die für mehrere Einzelleitungen gemeinsame Rückleitung erhält folgenden Aufbau:

Der blanke Kupferleiter von 2,5 qmm (1,8 mm aufwärts) erhält eine Gummihülle in der Stärke und Zusammensetzung von NGÄ-Adern. Die Gummilader wird mit Gummiband umlegt.

4. Kabel

Die erforderliche Anzahl Einzelleitungen wird zu Gruppen verseilt, jede Gruppe mit farbigem Baumwollzwirn umflochten und imprägniert.

Kabel, die im Freien oder im Erdboden verlegt werden, erhalten über der Lage Oelband einen Bleimantel mit Zinnzusatz, darüber folgt eine asphaltierte Papierlage, eine imprägnierte Juteumspinnung, eine Bandeisensbewehrung und schließlich eine zwischen

zwischen Asphalttschichten gebettete Juteschutzlage.

IV. Sicherungen

1. Hauptsicherungen

Maschinen und Batterien sind allpolig an der Stromquelle ordnungsgemäß abzusichern.

Die Nennstromstärke der Sicherung darf den maximalen Nennstrom der Stromquelle nicht überschreiten und muß auch den Querschnitt der Hauptleitung zur Orgel schützen.

2. Verteilungssicherungen

Beim Eintritt in die Orgel oder in den Spieltisch, wo sich die Hauptleitungen verzweigen, sind ordnungsgemäß montierte Verteilungssicherungen anzubringen.

Schließen sich an die erstmalige Verteilung sogleich die Orgelkabel an, so ist folgendermaßen zu sichern:

a) Die Einzelleitungen von 0,6 mm (oder stärker) bleiben ungesichert, falls die Rückleitung des Stromkreises über einen der stärkeren Rückleitungsdrähte erfolgt, andernfalls ist wie bei den stärkeren Rückleitungen abzusichern.

b) Die Einzelleitungen sollen im allgemeinen nicht schwächer als mit 0,6 mm ausgeführt werden. Die Absicherung der Rückleitungen ist an der Verteilungsstelle mit höchstens 4 Amp. vorzunehmen, damit eine unzulässige und fernergefährliche Erwärmung aller Leitungen sicher unterbunden wird.



Beglaubigt:

Hoffmann

Kons.-Kanzlei-Inspektor.

1936

ELLERHORST
—
HANDBUCH
DER
ORGELKUNDE



Abb. 1. Orgel im Dom zu Minden (1931).

Handbuch der Orgelkunde

Die mathematischen und akustischen
technischen und künstlerischen Grundlagen
sowie die Geschichte und Pflege
der modernen Orgel

Von Winfried Ellerhorst



1936

Verlagsanstalt Benziger & Co. A. G. / Einsiedeln, Schweiz

Welche Normen sind für das Thema
„Elektrotechnik im Orgelbau“ relevant ?

*Das Rad soll nicht neu erfunden werden;
stattdessen soll aus dem umfangreichen
Normen-Fundus geschöpft werden und die
für die Elektrotechnik im Orgelbau
relevanten Vorschriften „herausgepickt“
werden.*

Für den Orgelbau relevante Normen und Vorschriften

VDE 0100-xxx

(zahlreiche Teile)

Errichten von Niederspannungsanlagen

VDE 0105-1

Betrieb von elektrischen
Anlagen

BGV A3

Unfallverhütungsvorschrift
Elektrische Anlagen und
Betriebsmittel

VDE 0113-1

Sicherheit von Maschinen -
Elektrische Ausrüstung von Maschinen

VDE 0298-4

Leitungsquerschnitte
("Starkstrom")

VdS 2005
Leuchten

VdS 2025
Elektrische
Leitungsanlagen

VdS 2023
El. Anlagen /
brennbare Baustoffe

VdS 2046
Sicherheitsvorschriften
El. Anlagen 1000 V

VDE 0891-1

Leitungsquerschnitte
("Fernmelde- und
Informationstechnik")



The End

???

NEIN !

Quintessenz / Leitlinien-Entwurf

Version: 2.0 • Datum: 12.01.2014 • Seite 1 von 5 • © 2013 Dipl.-Ing. Thomas Kroll • www.thomas-kroll.de

Die Ausführung elektrotechnischer Anlagen im Orgelbau (Entwurf)

Detaillierte Leitlinien befinden sich z. Zt. in Arbeit. Bis zu deren Publikation sollten folgende Grundprinzipien berücksichtigt werden, die auf den gültigen Regeln der Technik beruhen.

Mit dem Erscheinen einer neuen Version verlieren alle älteren Versionen ihre Gültigkeit. Die aktuelle Version ist unter www.thomas-kroll.de verfügbar.

A. Für die Niederspannungsseite (230 V Wechselspannung / 400 V Drehspannung) gilt:

- A.1 Eine eigene, ausschließlich der Orgel zugeordnete Unterverteilung in der Nähe der Orgel ist anzustreben.
- A.2 Der elektrischen Anlage der Orgel sollte ein RCD (FI-Schutzschalter) mit einem Bemessungsfehlerstrom von 0,03 A vorgeschaltet sein. Dieser kann Bestandteil der Gebäude-Elektroinstallation sein, sofern er auch für die elektrische Anlage der Orgel wirksam ist.
- A.3 Stromkreise für Drehspannungsverbraucher sind in Haupt- und Unterverteilung(en) über allpolig schaltende Leitungsschutzschalter abzusichern.
- A.4 Es ist ein abschließbarer Hauptschalter an gut zugänglicher Stelle zu installieren, der die elektrische Anlage der Orgel allpolig vom Netz trennt. Die Beleuchtungsanlage ist hiervon auszunehmen.
- A.5 Es sind Schaltpläne und Kabelpläne (unter Vergabe von Bauteilkennzeichnungen) zu erstellen, die die gesamte Elektroinstallation abbilden und nachvollziehbar dokumentieren. Die Spezifikationen, die Aderzahlen und die Querschnitte der verwendeten Kabel und Leitungen sind anzugeben. Ein Exemplar der Schalt- und Kabelpläne muß an gut zugänglicher Stelle in der Orgel verbleiben.
- A.6 Die Installation hat mit den in der Gebäudeinstallationstechnik üblichen Kabel- und Leitungsmaterialien (z.B. NYM-Leitung o.ä.) zu erfolgen. Die Leitungsquerschnitte sind ihrer Belastung unter ungestörten Betriebsbedingungen, der Verlegeart und der im Kurzschlußfall zu erwartenden Ströme entsprechend auszuwählen und abzusichern. Bei erhöhten Anforderungen im Brandfall ist die Installation mit entsprechenden (z.B. halogenfreien) Materialien auszuführen.
- A.7 Alle Kabel sind in geeignetem und dauerhaft auf dem Untergrund befestigtem Elektro-Installationsrohr oder Elektro-Installationskanal zu führen. Der Füllgrad von Installationskanälen sollte 80% nicht überschreiten. Der Gebrauch von Nagelschellen ist statthaft, wird aber nicht empfohlen.
Die Verlegung von Kabeln auf dem Fußboden ist zu vermeiden. Wo dies nicht möglich ist, sind die Kabel unbedingt in Installationskanälen (bevorzugt aus Stahlblech) zu verlegen und zur Verringerung der Stolpergefahr mit schwarz-gelbem Warmmarkierband auffällig zu kennzeichnen.
- A.8 Minimal zulässige Biegeradien von Kabeln sind einzuhalten (z.B. 4x Außendurchmesser bei NYM-Leitung).
- A.9 Alle Leitungsverbindungen sind mittels Klemmen auszuführen, die das Berühren netzspannungsführender Teile verhindern. Lüsterklemmen sind zu vermeiden.
- A.10 Klemmen, die Netzspannung führen oder führen können, müssen entweder aufgrund ihrer Bauart fingersicher sein oder durch Abdeckungen, die nur mit Werkzeug zu entfernen sind, gegen Berühren geschützt werden. Typische Beispiele: Start-/Stop-Taster und Kontrollleuchten im Spieltisch.

Version: 2.0 • Datum: 12.01.2014 • Seite 2 von 5 • © 2013 Dipl.-Ing. Thomas Kroll • www.thomas-kroll.de

Taster im Spieltisch, die ein der gesamten Orgel zugeordnetes Netzschutz in Selbsthaltung ein- und ausschalten, erreicht werden. Der Start-/Stop-Taster-Kombination gleichwertig ist ein Schlüsselschalter mit Impulskontakt, dessen Schlüssel nur in der 0-Stellung abziehbar ist.

- A.19 Jede Gebläseanlage ist über einen eigenen 3-poligen Motorschutzschalter (der außerhalb evtl. vorhandener Schallschutzboxen angebracht ist) gegen Überstrom zu schützen. Der Motorschutzschalter ist auf den Motor-nennstrom einzustellen.
Bei frequenzgeregelten Antrieben ist auf eine EMV-gerechte Installation zu achten.
- A.20 Die Beleuchtungsanlage soll so bemessen sein, daß eine gute Ausleuchtung der Orgel gewährleistet ist. Zur Vermeidung von Gefahren, sind die Leuchtmittel durch Schutzabdeckungen gegen Zersplittern zu schützen. Direkt auf Holz montierte Leuchten müssen über MM-Prüfzeichen verfügen, anderenfalls sind Zwischenlagen aus Isolierstoff (Geeignete Materialien: s. VdS 2005) einzufügen. Dies gilt auch für die Notenpult- und Pedalbeleuchtung, unabhängig von der Spannung, mit der sie betrieben werden.
- A.21 Es wird die Verwendung vorkonfigurierter Orgel-Anschlußeinheiten oder die Installation eines modernen Orgel-Sicherheitssystems empfohlen. Auskunft hierzu geben die Orgelteile-Zulieferbetriebe und OSVen.

B. Für die Kleinspannungsseite gilt:

- B.1 Die Steuerspannung und die Bemessungsspannung der Aktoren (z.B. Tonventil-, Register- und Koppelmagnete) in der Orgel beträgt max. 30 Volt Gleichspannung (DC) oder 48 Volt (Effektivwert) Wechsel- bzw. Drehspannung.
- B.2 Die Gleichspannung ist einer oder mehreren Transformator-/Gleichrichter-Kombination(en) bzw. einem oder mehreren Schaltnetzteil(en) zu entnehmen. Eine Parallelschaltung von Netzteilen oder Transformator/Gleichrichter-Kombinationen sollte nur dann vorgenommen werden, wenn sie zwingend notwendig ist. In diesem Fall ist eine Herstellerfreigabe einzuholen und zu dokumentieren.
Drehspannung ist einem Transformator mit getrennten Wicklungen zu entnehmen. Dieser kann Bestandteil einer Transformator-/Gleichrichter-Kombination sein (Verbundgerät).
- B.3 Neuanlagen sind durchgängig für eine Nennspannung von 24 V DC auszulegen und zu betreiben. Ausnahmen für einzelne Baugruppen (z.B. optoelektronische Tastenkontakte, 5 V DC) sind möglich, wenn diese aus eigenen Netzteilen oder DC/DC-Wandlern versorgt werden.
- B.4 Die Anpassung von Bauelementen mit einer niedrigeren Bemessungsspannung an eine höhere Betriebsspannung mittels Vorwiderständen sollte vermieden werden. Nur in Ausnahmefällen kann hiervon abgewichen werden, wenn die Art der Ausführung derart ist, daß keine Brandgefahr, keine Gefahr des Berührens heißer Oberflächen und keine Gefahr der Schädigung benachbarter Kabel und Leitungen besteht. Dies ist vom OSV und einer Elektrofachkraft zu bestätigen.
- B.5 Die Verkabelung hat mit gängigen Kabeln und Leitungen der industriellen Meß-, Steuerungs- und Automatisierungstechnik oder solchen der Fernmelde- und Datenverarbeitungstechnik zu erfolgen. Das im Orgelbau weit verbreitete und nicht näher spezifizierte „Orgelkabel“ ist an Fernmeldekabel der Spezifikation J-NORM 2000 anzuschließen.

Aktuelle Version abrufbar unter: www.thomas-kroll.de

Spannungsebenen

PRIMÄRSEITE

Niederspannung:

bis 1000 V AC

bis 1500 V DC

Irreführende Bezeichnung
„Starkstrom“

Elektrotechnische Fachkräfte
→ Elektroinstallateur

SEKUNDÄRSEITE

Kleinspannung:

Bis 50 V AC

[3~ 42 V]

Bis 120 V DC

[12 ... 30 V]

Irreführende Bezeichnungen
„Niedervolt“
„Schwachstrom“

Elektrotechnische Laien (gem.
BGV A3)
→ Orgelbauer

$$\text{Leistung} = \text{Spannung} \cdot \text{Strom}$$

Beispiel: **1000 Watt**

PRIMÄRSEITE

1~ 230 V

→ 4,35 A

GROSSE Spannung

kleiner Strom

SEKUNDÄRSEITE

14 V =

→ 71,4 A

kleine Spannung

GROSSER STROM

Ausgewählte Themen

1. Kabel und Leitungen
2. Kurzschlußschutz
3. „Strom“ und Holz / Sammelleiter
4. Funkenlöschung
5. Forschung
6. Haarsträubendes

1. Kabel und Leitungen



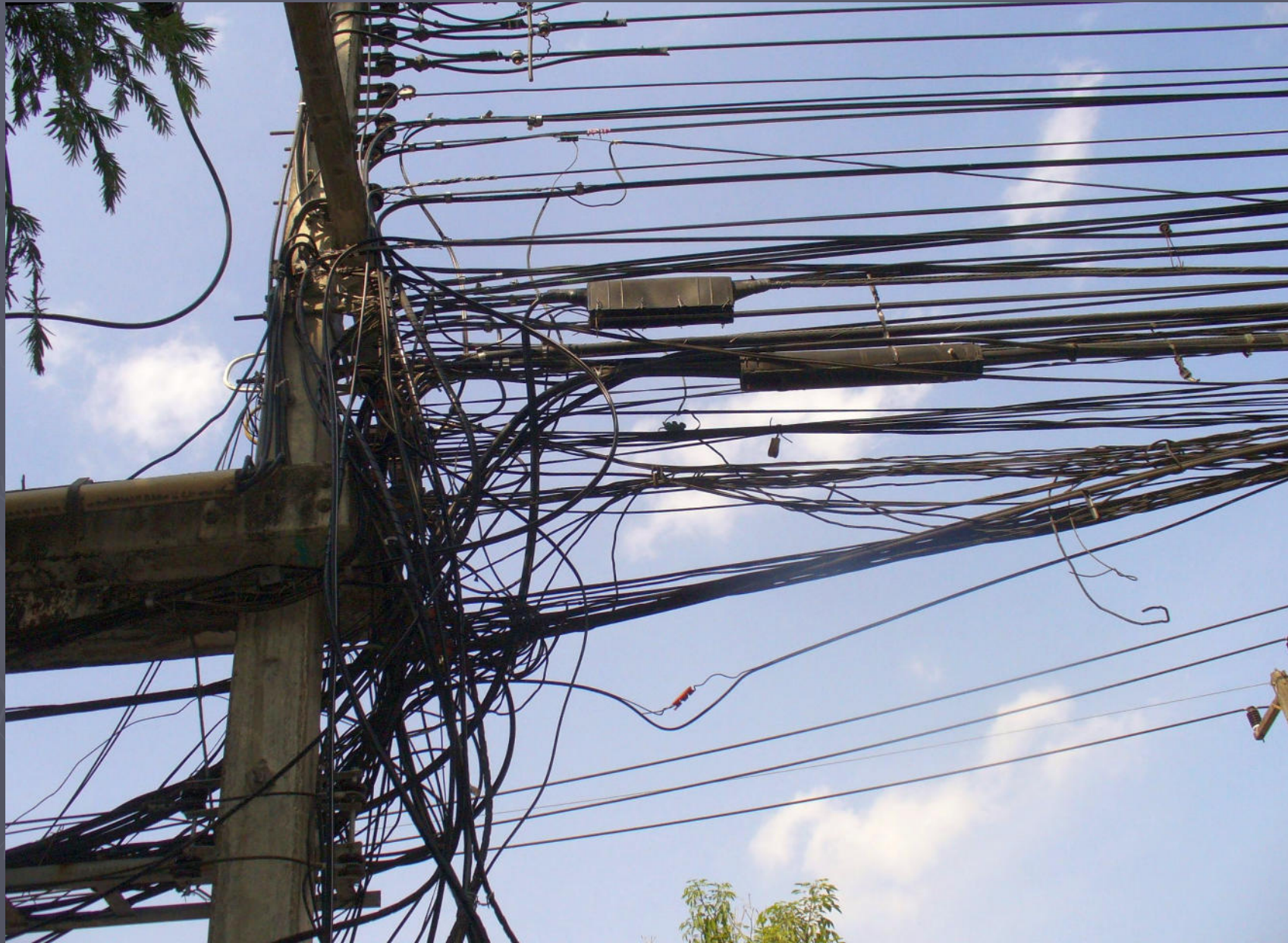
Philippinen, Cebu, 29.04.2013



Nepal, Kathmandu, 24.10.2010



Thailand, Chiang Mai, 07.01.2013



Kabel und Leitungen im Orgelbau

- ▶ Schaltlitze (1 x 0,14 mm²) LiY
- ▶ Orgelkabel (20, 40, 65, 80 x 0,28 mm²)
Nicht näher spezifiziert. Angelehnt an
Fernmeldekabel J-Y(ST)Y...0,6
- ▶ Ein-Ader-Leitung 0,5 – 16 mm² (H07V-K)
- ▶ Litzenkabel LiYY
- ▶ Datenleitung, Netzwerkkabel

Minimal zulässige Biegeradien beachten !

GANZ WICHTIG:

Richtige Dimensionierung von Leiterquerschnitten !
Abhängig von:

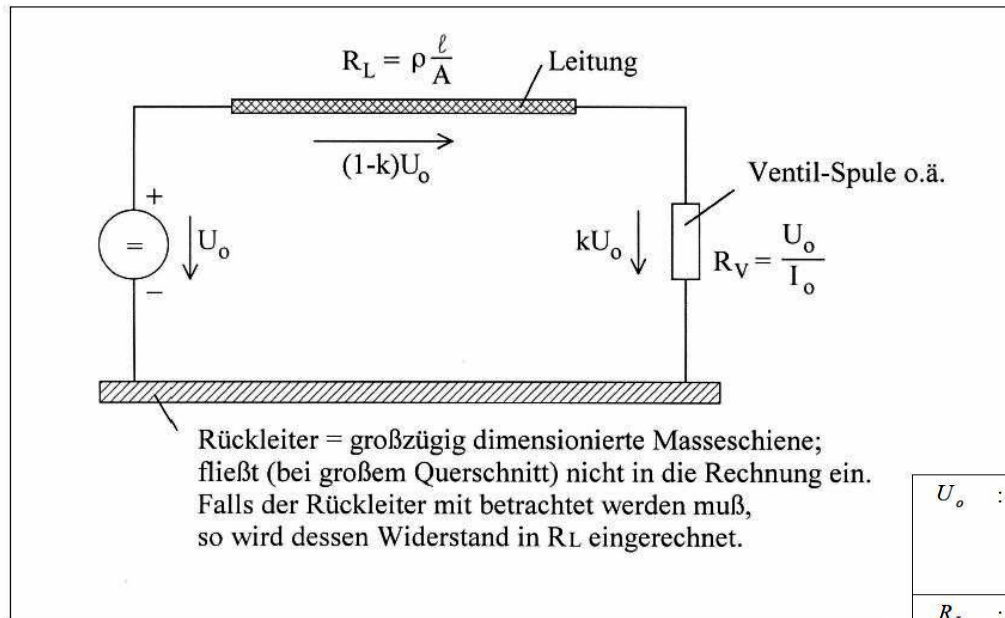
- ▶ Strombelastung (VDE 0298-4 u. 0891-1)
- ▶ Leitungslänge (Rechnen)
- ▶ Bündelung (VDE 0298-4 u. 0891-1)
- ▶ Verlegeart (VDE 0298-4)
- ▶ Isoliermaterialien und zulässiger Erwärmung

Ein konkretes Beispiel ...

VORWEG die "Risiken und Nebenwirkungen":

- ▶ Die Elektrotechnik ist ein Teilgebiet der Physik
- ▶ Die Physik bedient sich zur quantitativen Beschreibung von Zusammenhängen der Mathematik
- ▶ Jetzt wird es 5 Minuten lang mathematisch
... 😊

Bestimmung des erforderlichen Leitungsquerschnitts bei bekannter Stromaufnahme des Verbrauchers und bekanntem tolerierbarem Spannungsabfall auf der Leitung:



U_o	: Ausgangsspannung der Spannungsquelle (Netzteil). Bei stabilisierten Netzteilen ist die Ausgangsspannung im Bereich der zulässigen Belastung nahezu konstant. Einheit: Volt (V)
R_L	: Widerstand der Leitung (Draht) Einheit: Ohm (Ω)
ρ	: Spezifischer elektrischer Widerstand des Leitungsmaterials. Für Kupfer ist $\rho = 0,01786 \frac{\Omega mm^2}{m}$
l	: Leitungslänge. Einheit: Meter (m)
A	: Erforderlicher (Mindest-)Leitungsquerschnitt als Ergebnis der Rechnung. Einheit: mm^2
R_v	: Ohm'scher Widerstand des Verbrauchers (z.B. Ventil-Spule) Einheit: Ohm (Ω)
I_o	: Stromaufnahme des Verbrauchers R_v bei direktem Anschluß an die Spannungsquelle U_o OHNE Leitung. (Messen!) Einheit: Ampère (A)
k	: Faktor < 1 , der angibt, welche Spannung am Verbraucher mindestens anliegen muß, um eine ordnungsgemäße Funktion zu ermöglichen. Z.B. $k = 0,95$ bedeutet: 95% von U_o müssen beim Verbraucher „ankommen“ und 5% dürfen auf der Leitung „verloren gehen“. k muß experimentell bestimmt werden. Üblicherweise ist $k \geq 0,9$.

Berechnung (siehe Schaltbild oben)

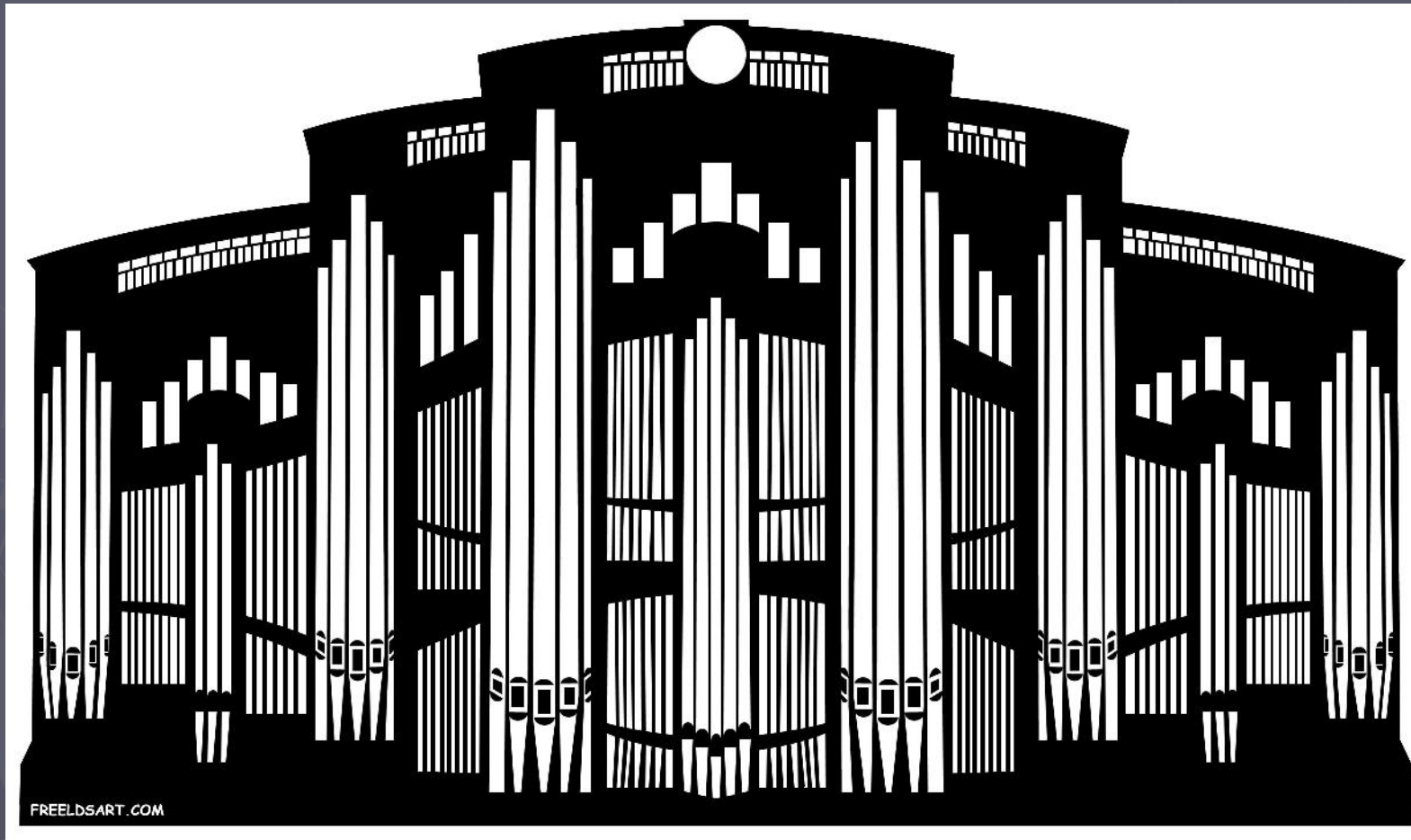
Spannungsteiler-Regel $\rightarrow$

$$\frac{R_L}{R_v} = \frac{(1-k) \cdot U_o}{k \cdot U_o} = \frac{\frac{\rho \cdot l}{A}}{\frac{U_o}{I_o}}$$

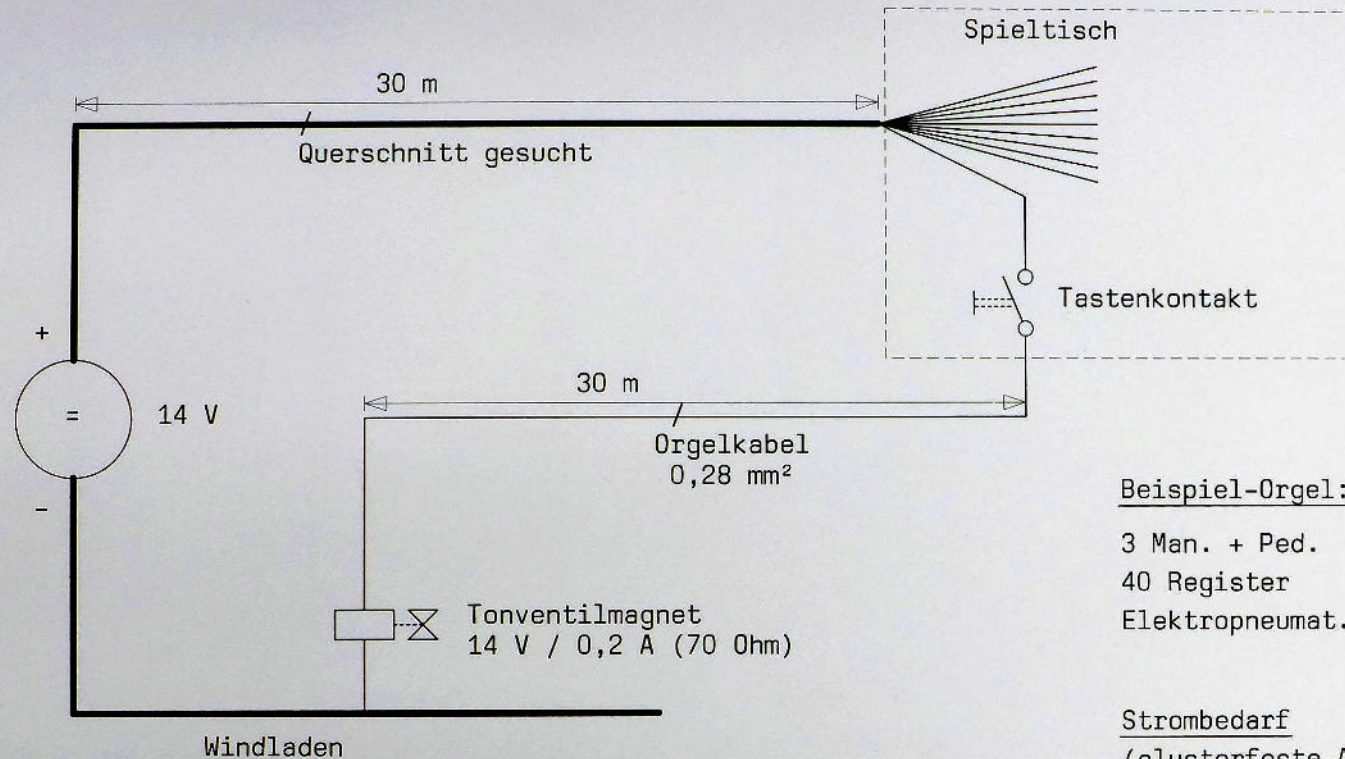
$$\rightarrow \frac{1-k}{k} = \frac{\rho \cdot l \cdot I_o}{A \cdot U_o}$$

$$\rightarrow A = \frac{\rho \cdot l \cdot I_o}{U_o} \cdot \frac{k}{1-k} \quad (1)$$

Beispiel-Orgel ...



Berechnung des Strombedarfs



Beispiel-Orgel:

3 Man. + Ped.
40 Register
Elektropneumat. Kegellade

Strombedarf

(clusterfeste Auslegung)

Man. 3 x 56)
Ped. 4) 172 x 0,2 A = 34,4 A

+ Koppelapparate / Tutti etc. = ca. 4 A

+ Register: 40 x 0,2 A = 8 A

46,4 A

=====

Berechnung des erforderlichen Leiterquerschnitts

$$A = \frac{\rho \cdot l \cdot I_0}{U_0} \cdot \frac{k}{1-k}$$

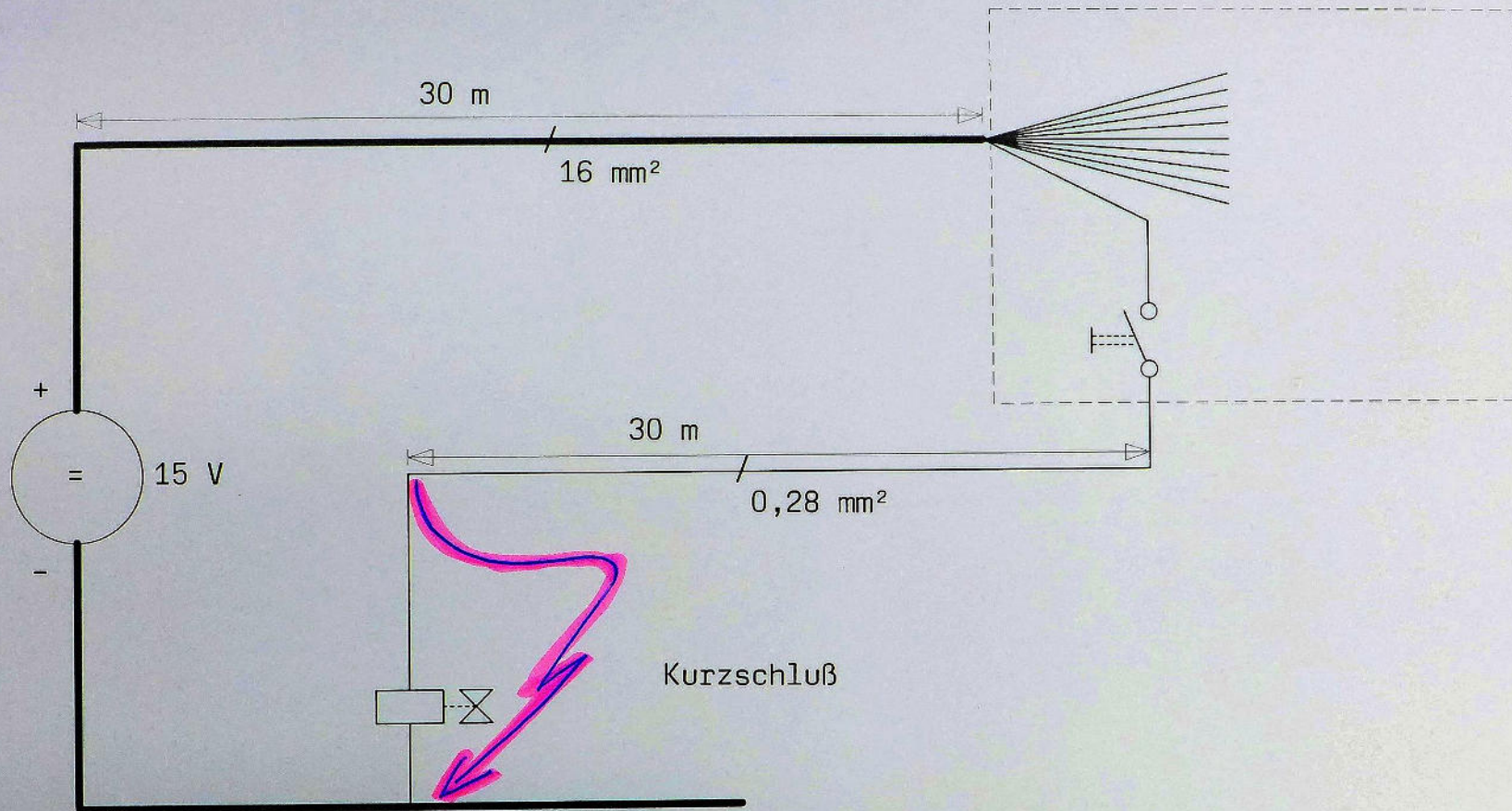
Werte einsetzen:

$$A = \frac{0,01786 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 30 \text{m} \cdot 46,6 \text{ A}}{14 \text{ V}} \cdot \frac{0,9}{1-0,9}$$

$$A = 15,98 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet: } 16 \text{ mm}^2$$

Wert ist plausibel und verträglich mit VDE 0298-4

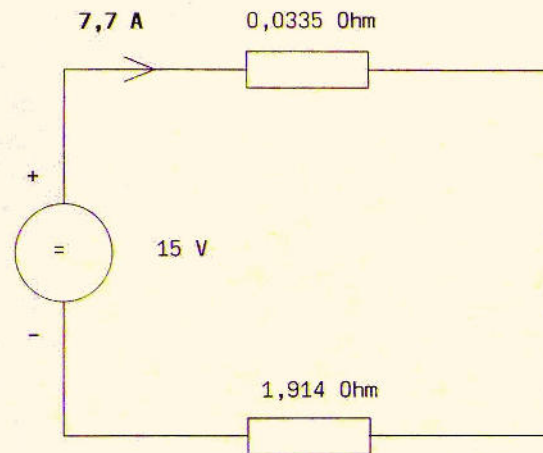
Kurzschluß an einem Tonventilmagneten



$$R (16 \text{ mm}^2, 30 \text{ m}) = 0,0335 \text{ Ohm}$$

$$R (0,28 \text{ mm}^2, 30 \text{ m}) = 1,914 \text{ Ohm}$$

Kurzschlußstrom

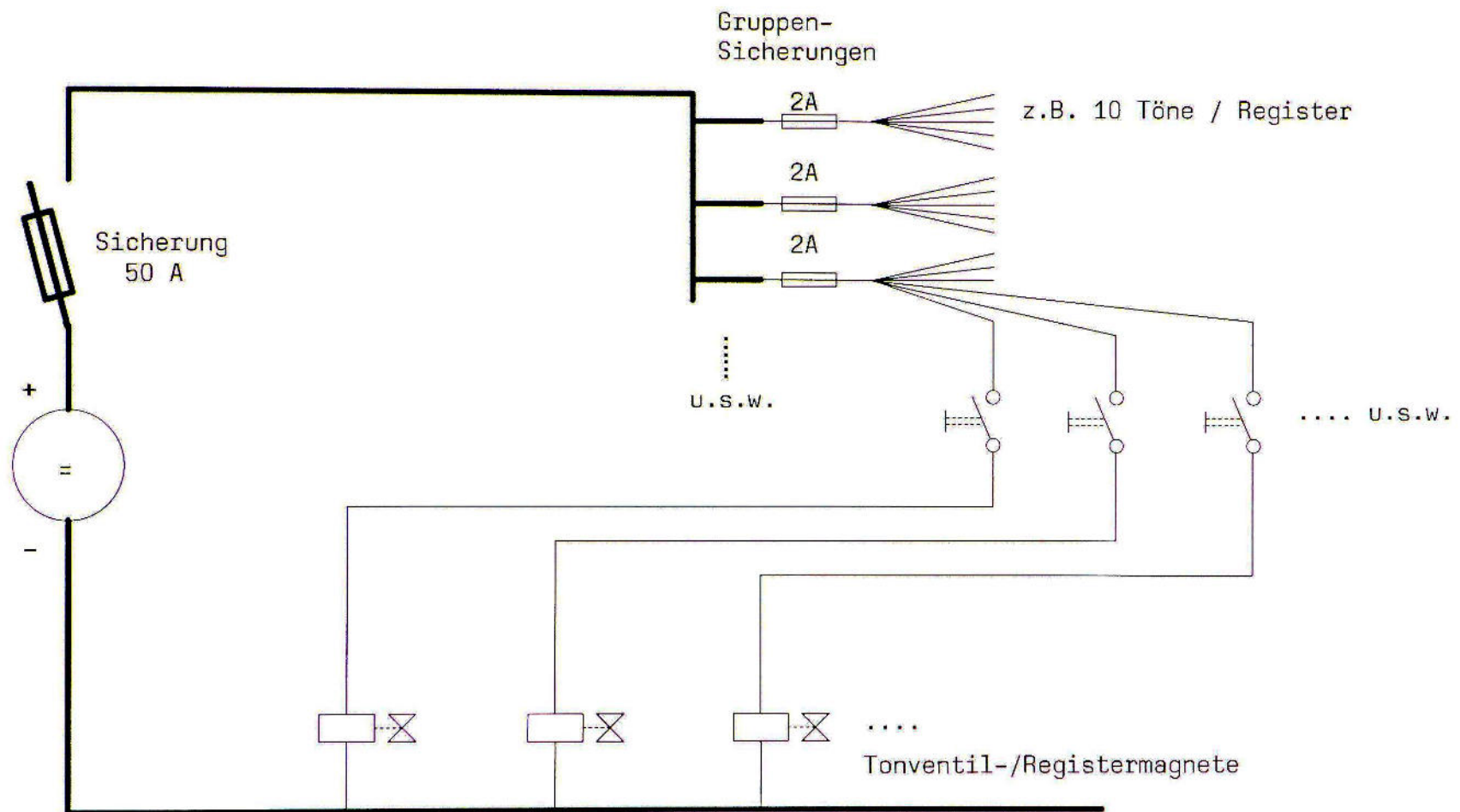


$$I = \frac{15V}{1,914 \Omega + 0,0335 \Omega} = \frac{15V}{1,9475 \Omega} = 7,7 A$$

7,7 A Kurzschlußstrom auf Orgelkabel ...

... ohne Sicherungen $\Rightarrow$ BRAND !

BESSER:



2. Kurzschlußschutz



Kurzschlußströme in Abhängigkeit von Leitungsquerschnitt und (einfacher) Leitungslänge

[illegible]



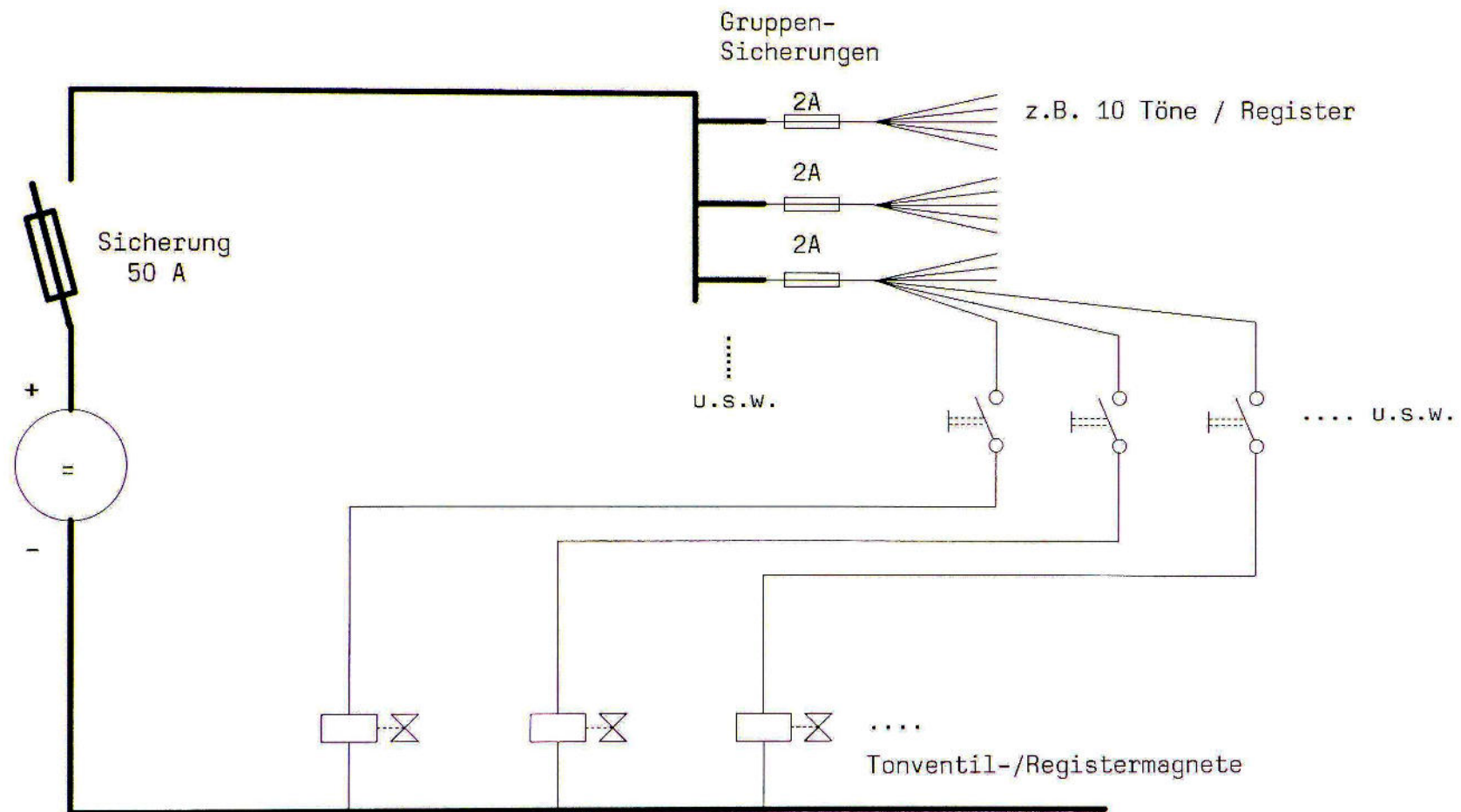
Kabelbrand

Die grundlegenden Forderungen lauten:

- Eine Sicherung (Nennstrom) ist stets so zu dimensionieren, daß sie den kleinsten Leiterquerschnitt, der im zu schützenden Stromkreis existiert, absichert.
- Eine Sicherung muß ein Kurzschluß-Ausschaltvermögen besitzen, das größer als der maximal zu erwartende unbeeinflusste (prospektive) Kurzschlußstrom ist.
- Eine Sicherung muß eine Auslösecharakteristik besitzen, die im Kurzschlußfall hinreichend schnell anspricht. Insbesondere bei langen und dünnen Leitungen (großer Schleifenwiderstand) besteht die Gefahr, daß die Sicherung im Kurzschlußfall nicht oder nicht schnell genug abschaltet. Dem kann nur durch eine genügend flinke Auslösecharakteristik (ggf. im Zusammenspiel mit einem hinreichend niedrigen Auslösestrom) oder eine Vergrößerung von Leitungsquerschnitten begegnet werden. Die Bedingung $\int I^2 \cdot dt \leq k^2 S^2$ muß erfüllt sein. ($\int I^2 \cdot dt$ = Schmelzintegral der Sicherung, k = Materialkonstante des Isolationswerkstoffs z.B. $k = 115$ für PVC, S = Leiterquerschnitt)
- Sicherungen müssen an richtiger Stelle plziert werden. Existiert die erste Sicherung beispielsweise erst einige Meter Leitungslänge *nach* der Spannungsquelle, so ist die Leitung zwischen Spannungsquelle und Sicherung nicht gegen Kurzschluß geschützt. Das kann fatal sein!

Dem Sicherungskonzept kommt größte Bedeutung zu und es muß daher sorgsam durchdacht werden.

Nochmal :



Kurzschlußschutz-Konzepte

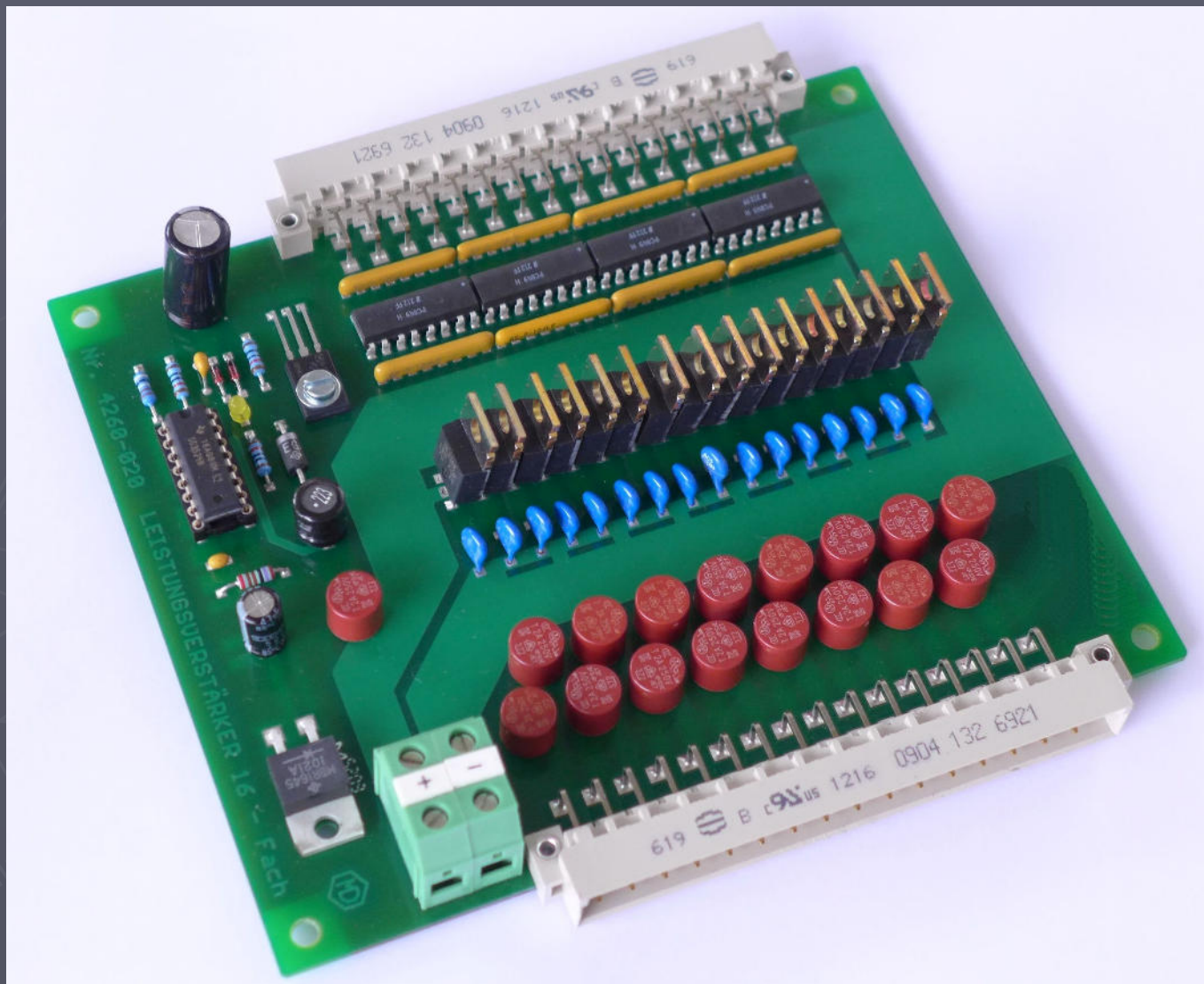
Klassisch:

- ▶ Schmelzsicherungen
- ▶ Leitungsschutzschalter (Sicherungsautomaten)

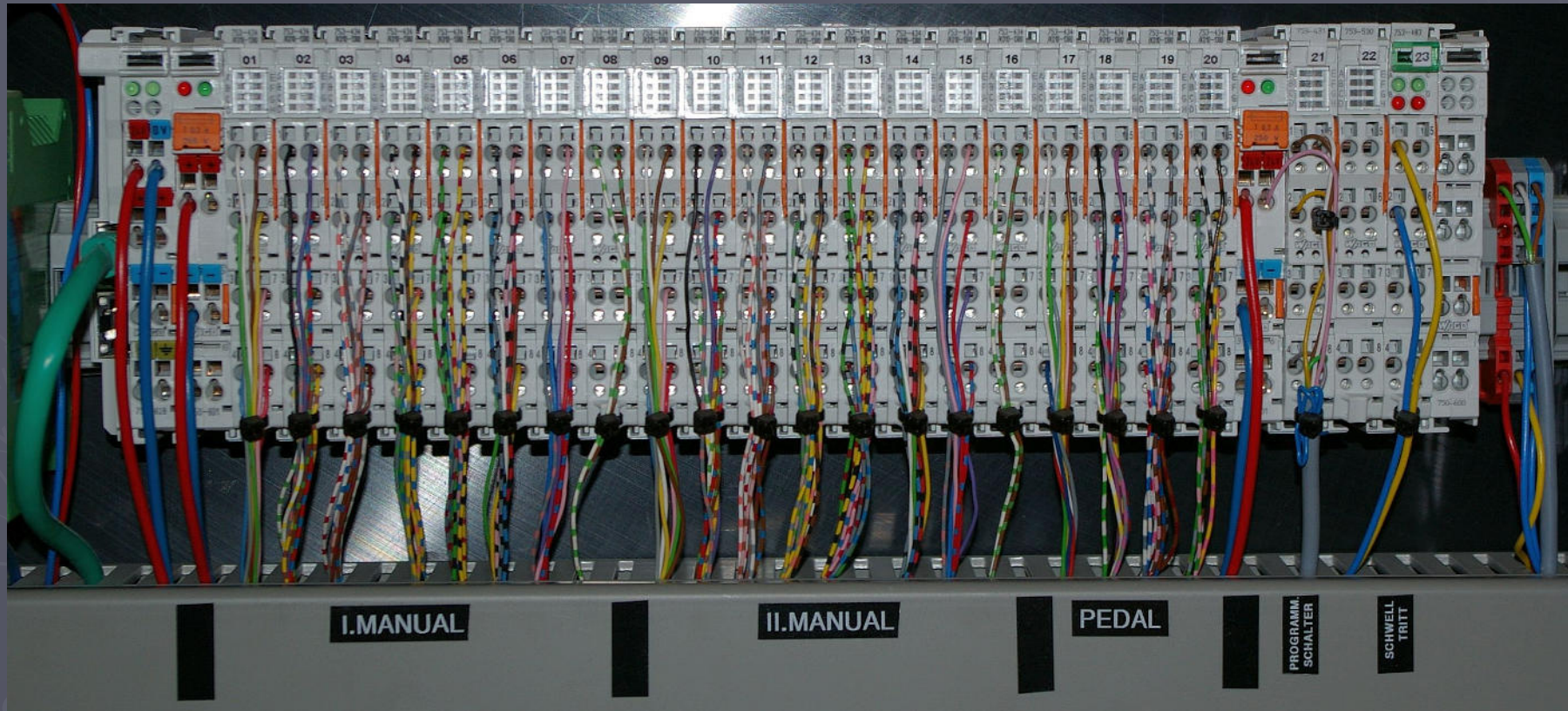
Modern:

- ▶ Verstärkerplatinen mit on-board Sicherungen
- ▶ Speicherprogrammierbare Steuerungen mit strombegrenzten Ausgängen

Verstärkerplatine mit on-board Sicherungen



SPS mit strombegrenzten Ausgängen



3. "Strom" und Holz

Die Verlegung von Kabeln und Leitungen unmittelbar auf Holzoberflächen ist nicht verboten.

Voraussetzung:

- ▶ Korrekte Dimensionierung der Leitungen
- ▶ Korrekte Dimensionierung der Kurzschlußschutzeinrichtungen

"Nackte Leitungen"

- ▶ Die Verlegung unisolierter Kupferleiter auf Holz sollte vermieden werden
- ▶ Isolierstoffzwischenlagen einfügen (VDE 0381-1) oder Luftabstand
- ▶ Bei modernen Orgeln: Völliger Verzicht auf Holzkontakt möglich
- ▶ Bei alten Orgeln: oftmals nicht möglich → Kurzschlußschutzkonzept !

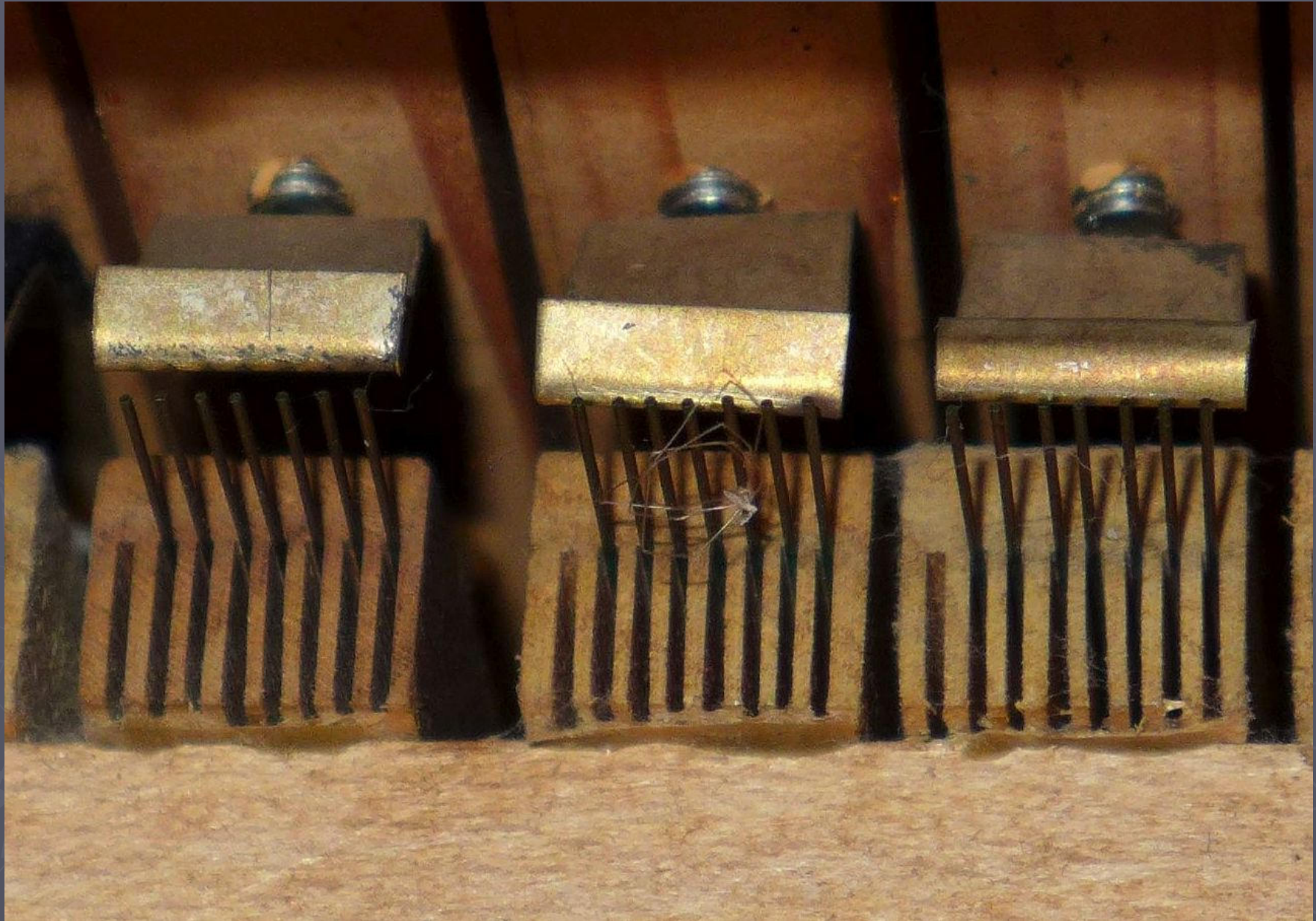
Selbstbau-Lötstützpunkte ... Ändern:



Koppelapparate ... Belassen:



Nadel- (Bürsten-) Kontakte: belassen



Sammelleiter

- ▶ Im Spieltisch: Registerschalter, Tastenkontakte
- ▶ Windlade: Gemeinsamer Rückleiter der Tonventilmagnete

Sammelleiter

- ▶ Werkstoff: KUPFER !!!
- ▶ Querschnitt: großzügig dimensionieren, so daß ein im ungünstigsten Fall fließender Strom zu keiner nennenswerten Erwärmung führt
- ▶ Abstand zum Holz oder Isolierstoff-zwischenlage
- ▶ Mittig kontaktieren oder beidseitig an den Enden

Messing

- Messing besitzt eine gegenüber Kupfer um den Faktor 3,7 schlechtere Leitfähigkeit und ist deshalb als Werkstoff völlig ungeeignet !

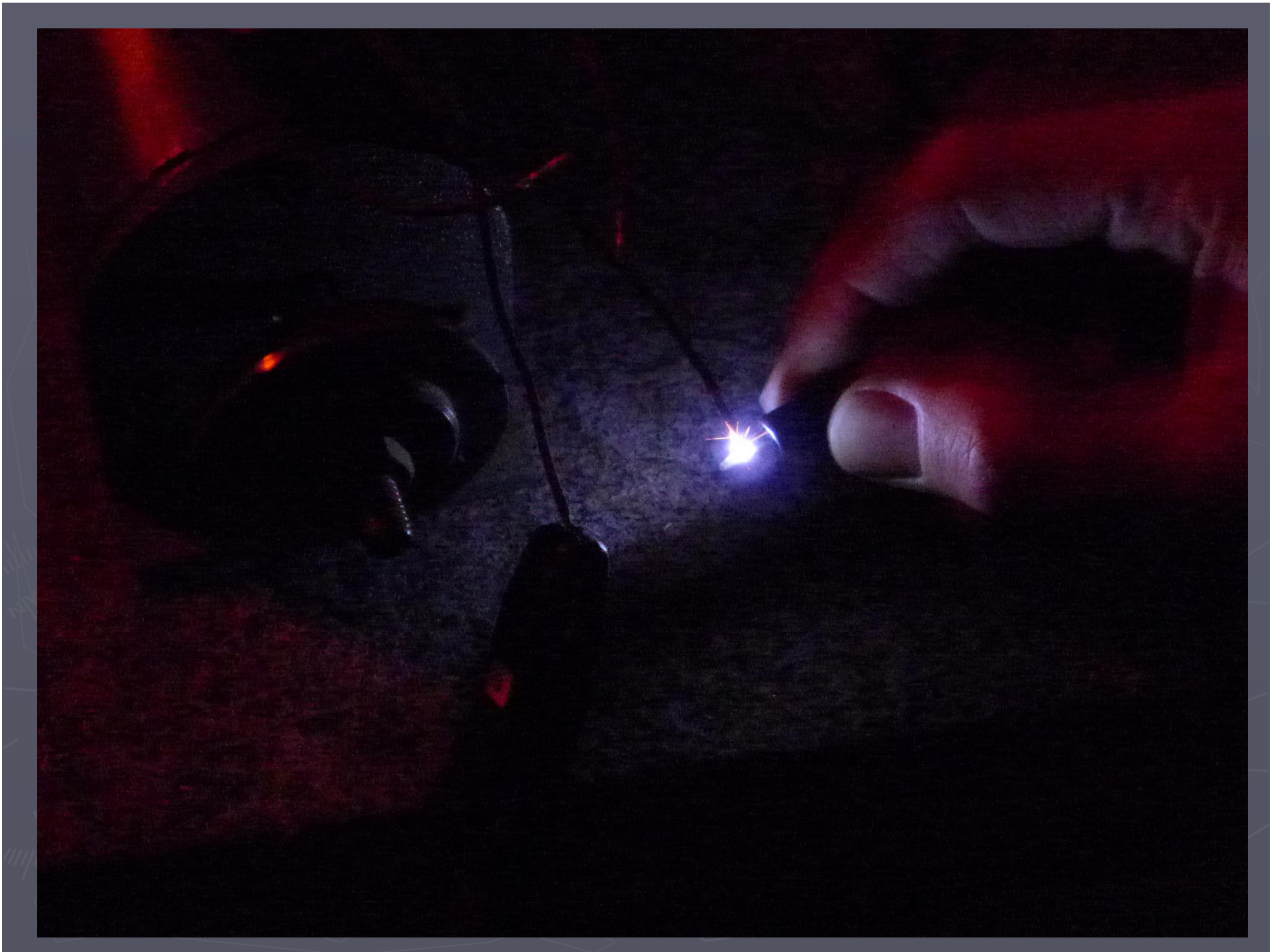




4. Funkenlöschung

- ▶ Induktive Bauelemente (Spulen), wie z.B. Tonventilmagnete, Schleifenzugmagnete oder Betätigungsmagnete von Registerschaltern erzeugen beim Ausschalten Gegeninduktionsspannungen von bis zu einigen tausend Volt:

$$U_{ind} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$



Zur Vermeidung von Schäden an Kontakten und elektronischen Bauelementen ist eine wirksame Funkenlöschung notwendig

- ▶ Kondensatoren
- ▶ Dioden
- ▶ Varistoren
- ▶ Kombinationen

Die im Magnetfeld gespeicherte Energie (Joule) muß wirksam „vernichtet“ werden

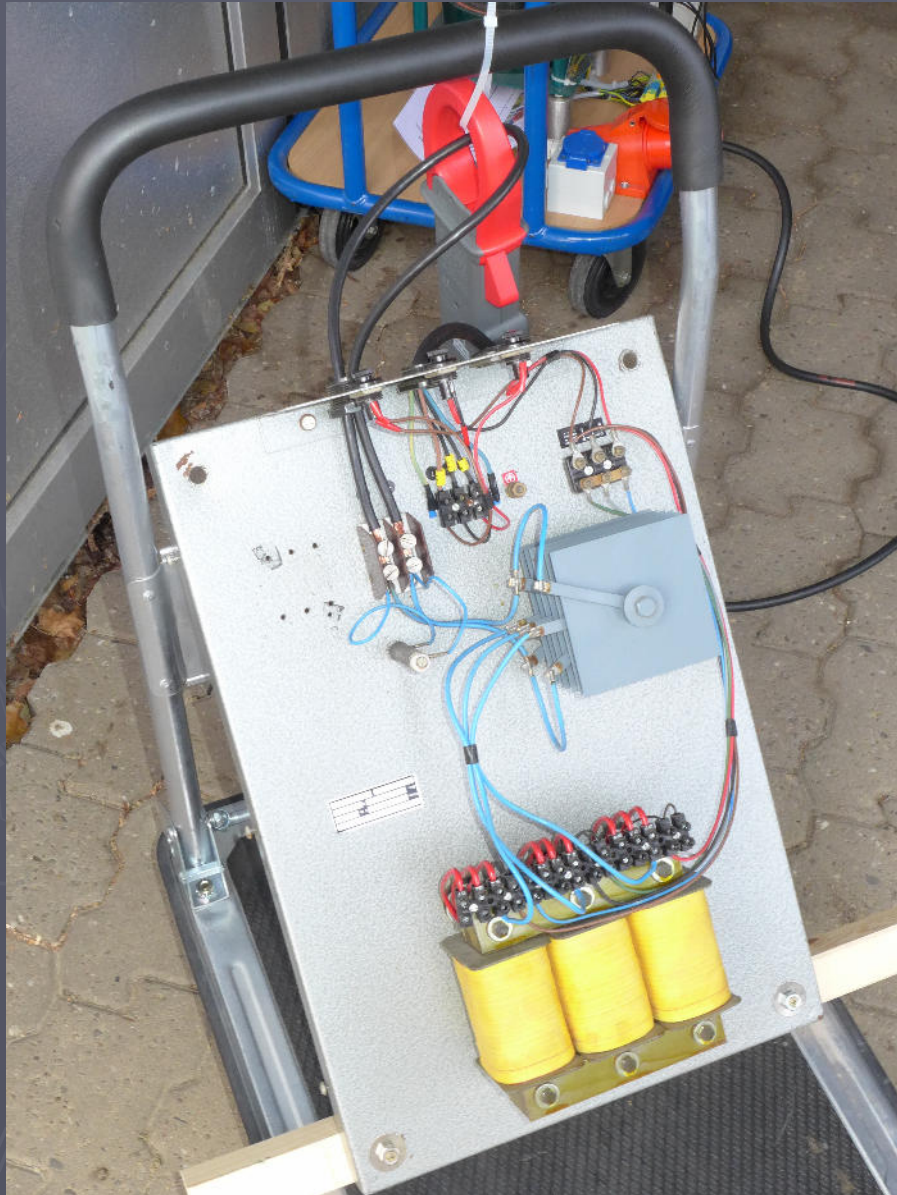
5. FORSCHUNG

Was nicht bekannt ist, muß
„erforscht“ werden ...





Kurzschlußversuch

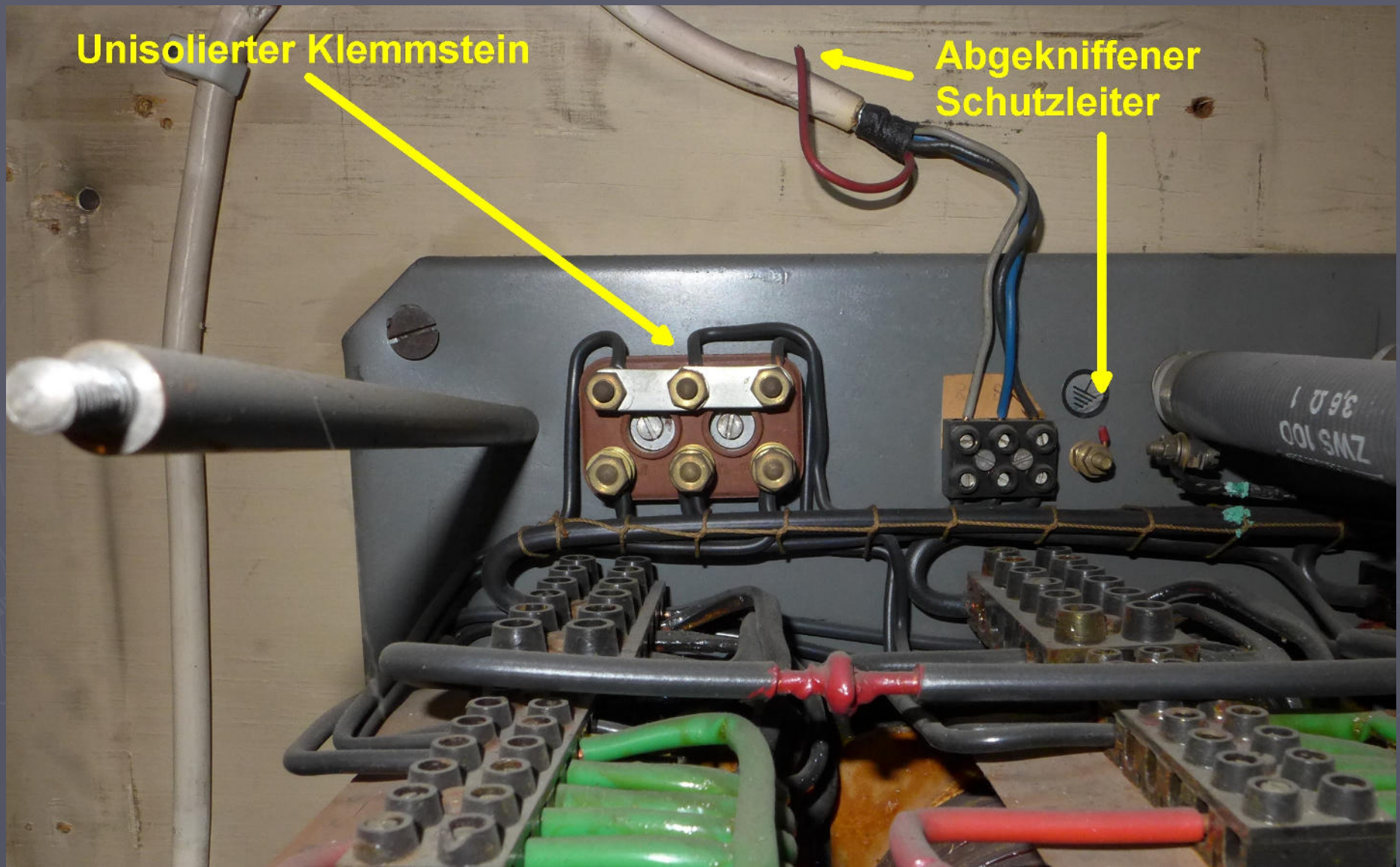


6. Haarsträubendes

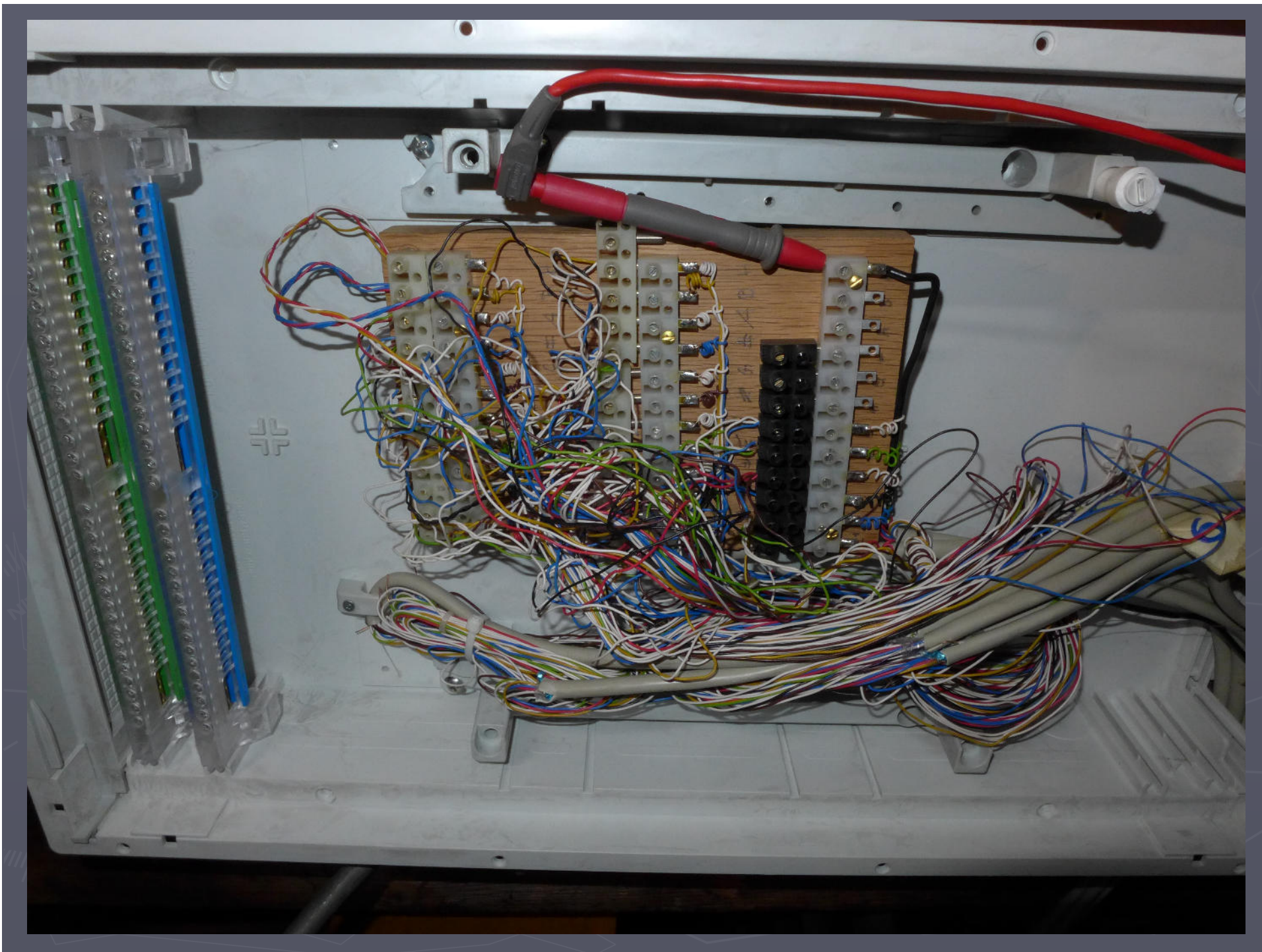


Unisolierter Klemmstein

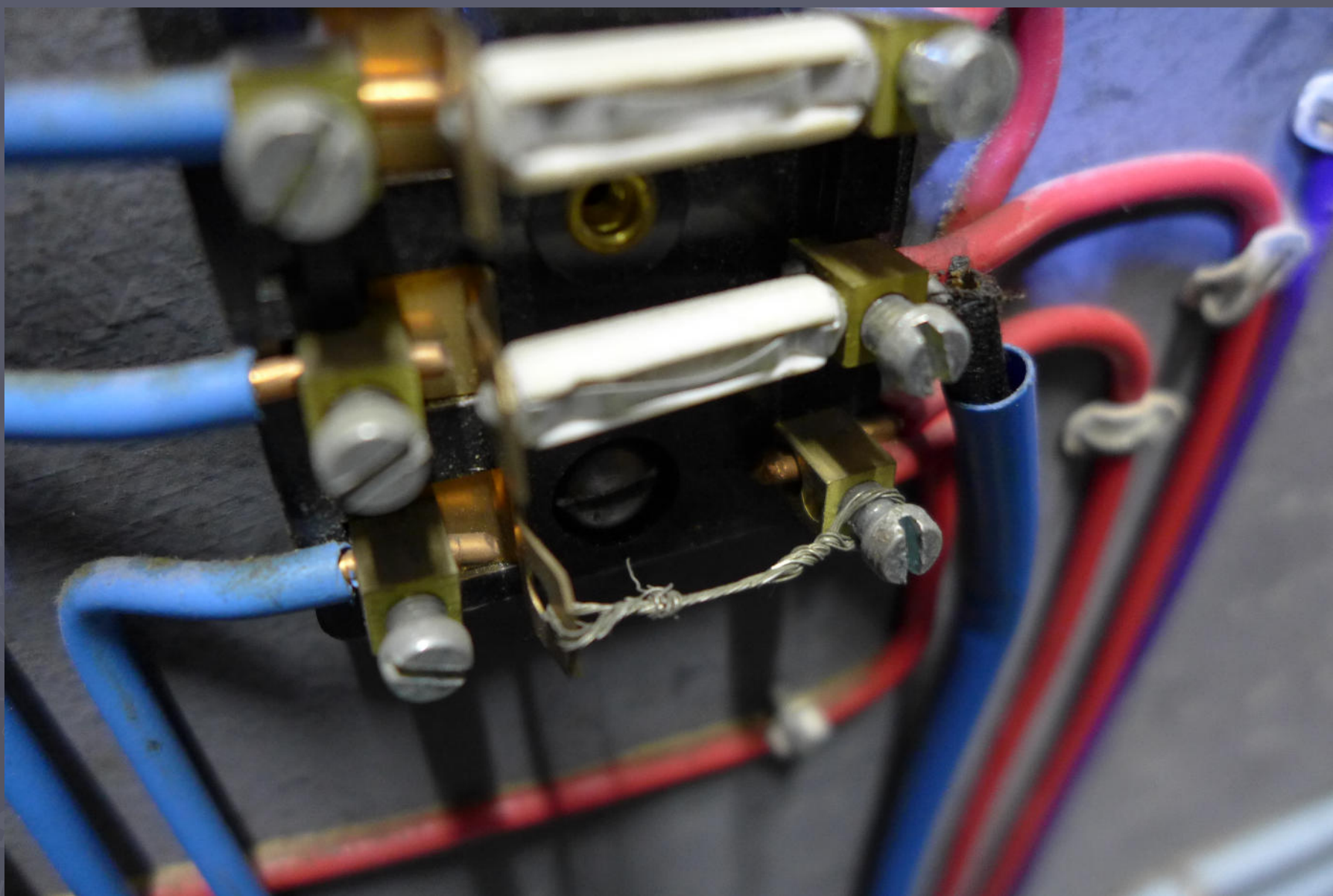
Abgekniffener
Schutzleiter



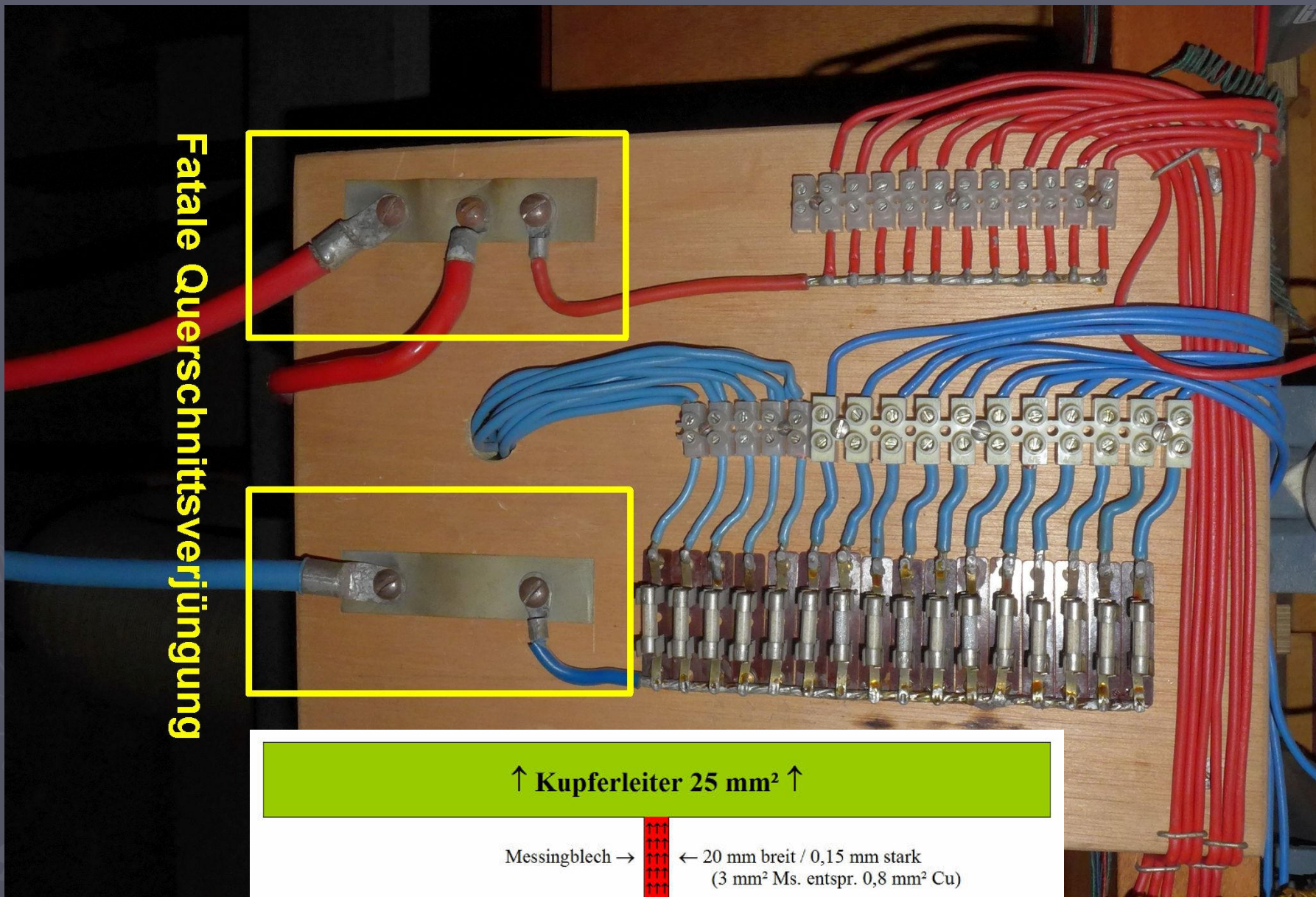








Fatale Querschnittsverjüngung



↑ Kupferleiter 25 mm² ↑

Messingblech →

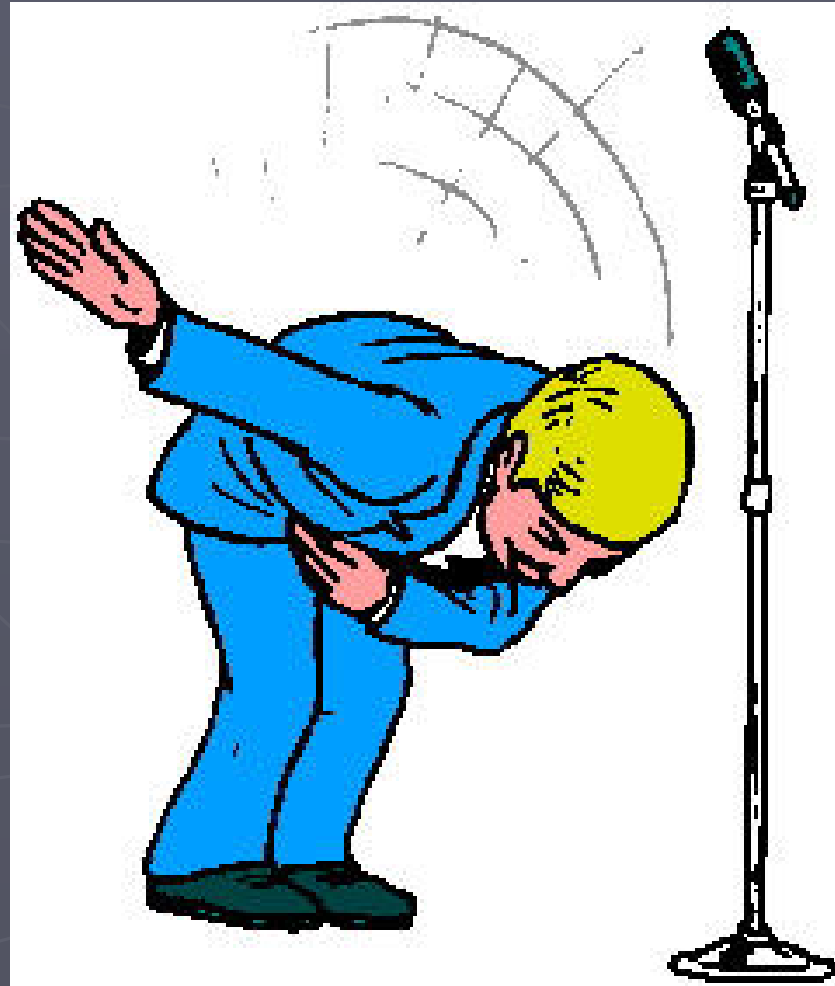


← 20 mm breit / 0,15 mm stark
(3 mm² Ms. entspr. 0,8 mm² Cu)

↑ Kupferleiter 25 mm² ↑



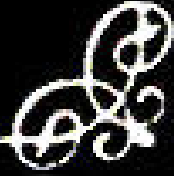
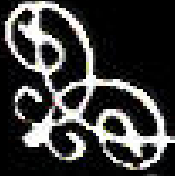
Vielen Dank fürs Zuhören !



Diskussion

&

??? Fragen ???



The End