

Die Ausführung elektrotechnischer Anlagen im Orgelbau (E n t w u r f)

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 Warnmarkierband 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 Kontrolleuchten im Spieltisch.
- A.11** Leitungsenden sind grundsätzlich gegen Berühren zu schützen, unabhängig davon, ob sie abisoliert oder lediglich abgekniffen sind. Dies gilt auch für die Enden nicht benutzter Leitungen und von Leitungen, deren Funktion unklar ist.
- A.12** Eine „verbrauchte“ Elektroinstallation ist zu erneuern. Deren Beurteilung obliegt einer Elektrofachkraft.
- A.13** Gehäuse, die elektrotechnische Komponenten mit einer Betriebsspannung größer als 50 V Wechselspannung oder größer als 120 V Gleichspannung beinhalten, sind von außen mit dem Warnsymbol „Blitzpfeil“ gemäß DIN 4844-2

gut sichtbar zu kennzeichnen.

- A.14** Überall dort, wo die Gefahr eines versehentlichen Herausreißen von Leitungen besteht, ist eine wirksame Zugentlastung vorzusehen. Das Einführen mehrerer Kabel oder Leitungen in *eine* Kabelverschraubung ist nur bei Verwendung dafür geeigneter Kabelverschraubungen zulässig.
- A.15** Gehäuseöffnungen (z.B. zum Zweck der Be- und Entlüftung) dürfen nur so groß sein, daß die Schutzart IP2X (Schutz gegen den Zugang mit einem Finger, $\varnothing$ 12,5 mm) erfüllt ist.
- A.16** Alle metallischen Gehäuseteile sind mit dem Schutzleiter-Potential zu verbinden.
- A.17** Nicht verwendete Öffnungen und Bohrungen in Gehäusen sind zu verschließen.
- A.18** Nach Netzspannungsausfall und –wiederkehr ist ein selbsttätiges Wiedereinschalten aller der Orgel zugehöriger elektrischer Baugruppen und Aggregate zu verhindern. Dies kann z.B. über einen Start- und einen Stop-Taster im Spieltisch, die ein der gesamten Orgel zugeordnetes Netzschütz in Selbsthalteschaltung 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 Elektro-fachkraft 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-Y(ST)Y...0,6 angelehnt und kann verwendet werden.

Kabel- und Leitungsanlagen werden üblicherweise für eine Gebrauchsdauer von max. 50 Jahren errichtet. Danach kann von deren Lebensdauerende ausgegangen werden. Kabel und Leitungen mit textiler Isolation (z.B. Baumwolle, Seide) sind nach Ablauf dieser Zeit grundsätzlich auszutauschen.

B.6 Werden Kabel unterschiedlicher Spannungsebenen in demselben Installationskanal geführt, so muß die Isolation aller Kabel für die höchste vorkommende Spannung tauglich sein.

Es ist auf elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) zu achten und eine gegenseitige Beeinflussung von Kabeln zu vermeiden.

B.7 Kabel und Leitungen sollten nur so lang wie notwendig sein. Zu lang abgeschnittene Kabel und Leitungen sind zu kürzen und sollten nicht zu „Leitungsringeln“ und „Kabelnestern“ aufgewickelt werden.

B.8 Sofern Ein-Ader-Leitungen außerhalb von Gehäusen verlegt werden, sind diese in Elektro-Installationsrohr oder Elektro-Installationskanal zu führen.

B.9 Es ist ein durchgängiges Sicherungskonzept zu entwickeln, zu dokumentieren und umzusetzen, das einen Schutz aller Kabel und Leitungen gegen Überlast- und Kurzschlußströme bietet. Hierauf ist insbesondere bei Querschnittsverjüngungen zu achten.

Sicherungen sind so auszuwählen, daß ihr Bemessungsstrom nicht über dem Bemessungsstrom der zu schützenden Leitung liegt, ihr Kurzschlußausschaltvermögen mindestens so hoch ist wie der zu erwartende Kurzschlußstrom und ihre Abschaltzeit im Kurzschlußfall 5 Sek. nicht überschreitet. Insbesondere bei *langen* Leitungen ist hierauf besonderes Augenmerk zu legen. Als guter Richtwert gilt eine Absicherung mit 2A von Leitungen mit einem Querschnitt von 0,28 mm² und eine Absicherung mit 1A von Leitungen mit einem Querschnitt von 0,14 mm². In der Praxis hat sich die Verwendung von ATO-Sicherungen nach ISO 8820 bewährt. Für die Absicherung großer Leitungsquerschnitte (> 2,5 mm², z.B. am Ausgang von Transformator-Gleichrichter-Kombinationen) sind D01-, D02- oder NH-Sicherungen der Betriebsklasse gG zu bevorzugen.

B.10 Zur Bemessung von Leitungsquerschnitten bis 0,5 mm² ist VDE 0891-1 (Bild 14 und 15) und ab 0,5 mm² VDE 0298-4 heranzuziehen. Neben der Strombelastung im ungestörten Betrieb sind unbedingt Verlegeart und Häufung zu berücksichtigen. Die maximal tolerierbare Leitungserwärmung sollte 35 K (35°C) nicht überschreiten. (K=Kelvin, Teilung der Kelvinskala wie Celsius-Skala. 35 K = Differenz zwischen Umgebungstemperatur und der maximalen Oberflächentemperatur auf dem Leiter).

Beispiel: Umgebungstemperatur = 25°C → Maximale Oberflächentemperatur = 25°C + 35°C = 60°C.

B.11 Eine separate Absicherung von Leitungen kann entfallen, wenn Verstärkerplatinen mit querschnittsgerechter (z. B. platinenseitiger) Einzelabsicherung jedes Ausgangs verwendet werden. Ebenso können speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt werden, die über strombegrenzte Ausgänge verfügen, sofern der maximal lieferbare Strom eines jeden Ausgangs nicht höher ist als der maximal zulässige Strom der angeschlossenen Leitung und überdies jedes Ausgangsmodul mit einer vom Hersteller spezifizierten Schmelzsicherung abgesichert ist.

B.12 Beim Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) wird eine windladenspezifische (dezentrale) Steuerung und der Einsatz mehrerer kleiner Netzteile in unmittelbarer Nähe der zu versorgenden Verbraucher empfohlen.

B.13 Alle Komponenten, die der elektrischen Steuerung und Potentialverzweigung dienen, sind in geeigneten Gehäusen zu kapseln. Bevorzugt sind Gehäuse aus Stahlblech zu verwenden, deren sämtliche, leitfähige Flächen mit dem Schutzleiterpotential zu verbinden sind. Hierzu zählen insbesondere Türen und Montageplatten. Speziell bei Verwendung speicherprogrammierbarer Steuerungen ist dem Thema „Elektromagnetische Verträglichkeit“ (EMV) besondere Beachtung zu schenken und dafür Sorge zu tragen, daß externe Störquellen die Anlagenzuverlässigkeit nicht beeinträchtigen.

Einzeladerleitungen innerhalb von Gehäusen sind vorzugsweise in Verdrahtungskanal zu verlegen.

Auf eine wirksame Abfuhr von Verlustwärme ist stets zu achten. Die vom Hersteller hierfür vorgesehenen Maßnahmen dürfen nicht außer Kraft gesetzt werden.

- B.14** Zur Potentialverzweigung und -vervielfachung sind industrielle Reihenklemmen mit den vom jeweiligen Hersteller angebotenen Brücken (Strombelastbarkeit beachten!) zu verwenden. Generell sind Federzugklemmen anderen Systemen gegenüber zu bevorzugen. Ausreichend dimensionierte Sammelschienen aus Kupfer können ebenso akzeptiert werden.
- B.15** Sammelleiter (Masseschienen, gemeinsame Rückleiter) müssen hinsichtlich ihres Querschnitts großzügig bemessen sein, so daß ein im ungünstigsten Fall zu erwartender Strom zu keiner nennenswerten Erwärmung führt. Als Material ist ausschließlich Kupfer (oder Kupfer mit einer Beschichtung aus Zinn) zu verwenden. Messing ist aufgrund seiner schlechten elektrischen Leitfähigkeit ungeeignet. Sammelleiter sind nicht direkt auf Holzoberflächen zu führen. Zwischen Sammelleitern und Holz ist entweder eine geeignete Isolierstofflage einzufügen oder ein „Luftabstand“ von mind. 8 mm einzuhalten. Sammelleiter sind mit isolierter einadriger Kupferleitung zu kontaktieren, deren Querschnitt mindestens so groß ist, daß ein im ungünstigsten Fall zu erwartender Summenstrom sicher abgeführt wird.
Sammelleiter werden im Idealfall *mittig* kontaktiert.
- B.16** Sammelleiter aus Messing können in *Ausnahmefällen* in Altanlagen akzeptiert werden, wenn eine maximale Stromdichte von $1,5 \text{ A/mm}^2$ nicht überschritten wird. Dies ist bei hinreichend großen Leiterquerschnitten der Fall oder kann durch Segmentierung und die Schaffung einer Vielzahl von Kontaktierungsstellen erreicht werden.
- B.17** Unisolierte Bauteile und Bestandteile der elektrischen Anlage sind insbesondere und überall dort zu schützen, wo durch versehentlich herabfallende Teile (z.B. Werkzeuge oder leitfähige Utensilien) eine erhöhte Gefahr des Kurzschlusses besteht.
- B.18** Ein direkter Kontakt von unisolierten Leitern mit Holzoberflächen sollte zwar vermieden werden, wird nach derzeitigem Forschungsstand aber nicht generell abgelehnt, sofern das Holz trocken ist, die „Berührstrecke“ kurz ist ($< 5 \text{ cm}$), die Stromdichte im (Kupfer-)Leiter nicht größer als 3 A/mm^2 ist und alle Hinleiter einen wirksamen Kurzschlußschutz aufweisen.
- B.19** Das Verzinnen von Aderenden und die nachfolgende Klemmung unter Schraubklemmen ist nicht zulässig. Das Anlöten verzinnter Aderenden an Lötösen ist bei Querschnitten bis zu $1,5 \text{ mm}^2$ akzeptabel.
Als Einzel-Aderabschluß oder als Bündelung mehrerer Adern kleinen Querschnitts zu einem gemeinsamen Leiter ist eine gasdichte Verdringung mit dafür geeigneten Aderendhülsen, Kabelschuhen oder Ringösen unter Einsatz geeigneten Werkzeugs vorzunehmen.
Einzelne abgemantelte Adern dürfen auch ohne Aderendhülse in „Fahrstuhl-“ und Federzugklemmen eingeführt werden. Hierbei ist stets darauf zu achten, daß alle feindrähtigen „Bestandteile“ in Gänze geklemmt werden und nicht aus der Klemmstelle herausragen.
- B.20** Alle induktiven Bauelemente (Spulen) sind mit Funkenlöscheinrichtungen auszustatten. Ob dazu Varistoren, Dioden, Widerstände, Kondensatoren oder Kombinationen hiervon verwendet werden, hängt vom Einsatzfall (z.B. geforderte Repetierfrequenz) ab. Generell müssen solche Elemente ein genügend hohes Energieabsorptionsvermögen (bei Varistoren angegeben in Joule), eine hinreichend hohe Spannungsfestigkeit (angegeben in Volt) und eine hinreichende Stromfestigkeit (angegeben in Ampère) aufweisen.
- B.21** Die Themen „Schaltplan, Kabelplan, Erdung, Zugentlastung, IP-Schutzart, Verlegung von Leitungen“ etc. wurden unter Rubrik A bereits behandelt und es gelten die dort dargelegten Grundsätze.

C. Grundsätzliches

- C.1** Die Sicherheit einer elektrotechnischen Anlage darf nur von einer elektrotechnischen Fachkraft beurteilt und attestiert werden. Die verwendeten Meßgeräte sind zu benennen und müssen aktuellem Kalibrierungsstand entsprechen.
- C.2** Eine elektrotechnische Anlage ist in *regelmäßigen* Abständen von einer Fachkraft auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen. Die verwendeten Meßgeräte sind zu benennen und müssen aktuellem Kalibrierungsstand entsprechen.

- C.3** Der Betreiber einer elektrotechnischen Anlage ist für deren ordnungsgemäßen Zustand verantwortlich und haftbar.
- C.4** In Altanlagen – insbesondere solchen, die einen bereits bestehenden oder zu erwartenden Denkmalwert aufweisen – gelten u.U. besondere Prinzipien, die mit dem zuständigen OSV und einem orgelhistorisch erfahrenen Elektroingenieur festzulegen sind.
- C.5** In allen Grenz- und Zweifelsfällen, die nicht von diesen Leitlinien abgedeckt werden, sind ein OSV und ein orgelbaulich erfahrener Elektroingenieur zur Beratung hinzuzuziehen.

Die vorstehenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf folgenden Normen und Vorschriften:

Norm / Vorschrift	Titel
VDE 0100-100	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe
VDE 0100-410	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag
VDE 0100-420	Errichten elektrischer Niederspannungsanlagen Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen
VDE 0100-430	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4-43: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Überstrom
VDE 0100-510	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 5-51: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Allgemeine Bestimmungen
VDE 0100-520	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 5-52: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kabel- und Leitungsanlagen
VDE 0100-530	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte
VDE 0113-1 (DIN EN 60204-1)	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil 1: Allgemeine Anforderungen
VDE 0298-4	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen
VDE 0891-1	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen – Allgemeine Bestimmungen
BGV A3	Unfallverhütungsvorschrift Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
VdS 2046	Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen bis 1000 Volt
VdS 2025	Elektrische Leitungsanlagen
VdS 2023	Elektrische Anlagen in baulichen Anlagen mit vorwiegend brennbaren Baustoffen
VdS 2005	Leuchten

Alle Angaben wurden mit größter Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit verfaßt.

Dennoch schließt der Verfasser jegliche Haftungs- und Gewährleistungsansprüche gegen ihn aus, insbesondere, wenn aus der Anwendung dieser - als Entwurf zu verstehenden - Prinzipien Schäden, gleich welcher Art, resultieren sollten.