Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise

Master Thesis

Gründe und Möglichkeiten für den Funktionserhalt historischer Haus-Elektroinstallationen

Studiengang	Master of Arts in Conservation-Restoration
Autor	Dipl.-Ing. (FH) André Lison, mt@lison.ch
Dozent	Diplomkonservator-Restaurator Jonas Roters/HKB KuR
Mitbetreuer	Prof. Dr. Silke Langenberg/ETH Zürich
Experte	Rudolf Acklin, eidg. Dipl Elektroinstallateur/ehem. Electrosuisse

Version 1.4.4, leicht überarbeitete Fassung der Originalarbeit vom 20. Mai 2025

- Konservierung und Restaurierung
- Hochschule der Künste Bern

Abstract

The first part of this document presents the history of the electric industry and domestic wiring in Switzerland between 1900 and 1980. It describes different types of installations, switches, sockets, cable types and accessories and their development, taking into account typical materials of the period. A particular focus is on the dating of existing installations. The timelines designed for this purpose help to determine the decades of origin.

The second part looks at the theory of electrical engineering and causes of fire due to faulty low voltage installations. Models for analytical assessment are developed and third-party studies on the topic are presented. Based on this, a hazard assessment is carried out for SELV low voltage installations.

A concept is developed to address the presented problems in the third part. It suggests the conversion of the electric lighting to 24 V-DC while preserving the historical technology. The only changes are the supply by an appropriate SELV power supply unit and the replacement of all light sources with low-voltage LEDs. It is shown that with this voltage and the reduced current, there is no risk of arc faults and the risk of dangerous heating due to faults compared to an average low-voltage installation is reduced significantly. The implementation is supported by the presentation of suitable measuring methods and a test concept.

In the final part, this concept is verified with two real objects: the Castello Trefogli in Torricella/TI and the Berghotel Schatzalp in Davos/GR. Both installations can be be converted as suggested. In the Berghotel Schatzalp, the conversion has already been successfully completed and the outdoor lighting has been put back into operation.

Kurzfassung

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit stellt die Geschichte der Elektrizitätswirtschaft und der Hausinstallation in der Schweiz zwischen 1900 und 1980 dar. Es werden verschiedene Installationsformen, Schalter, Steckdosen, Kabeltypen und Zubehör und ihre Entwicklung im Betrachtungszeitraum unter Beachtung zeittypischer Materialien aufgezeigt. Ein besonderer Fokus liegt auf der Datierung noch vorhandener Installationen. Die zu diesem Zweck entworfenen Zeitstrahlen unterstützen die Bestimmung der Ursprungs-Dekaden.

Der zweite Teil betrachtet die Theorie der Elektrotechnik und Brandursachen durch fehlerhafte Niederspannungsinstallationen. Es werden Modelle für die analytische Abschätzung entwickelt und Studien Dritter zum Thema vorgestellt. Darauf basierend erfolgt eine Gefahrenabschätzung für SELV-Kleinspannungsanlagen.

Für die dargelegten Problemstellungen wird im dritten Teil ein Konzept erarbeitet. Es sieht die Umstellung der Beleuchtung auf 24 V-Gleichspannung unter Beibehaltung der historischen Technik vor. Einzige Änderungen sind die Speisung durch ein entsprechendes SELV-Netzteil und der Ersatz aller Leuchtmittel durch LEDs für Kleinspannung. Es wird gezeigt, dass bei dieser Spannung und der reduzierten Stromstärke kein Risiko für Fehlerlichtbögen besteht und das Risiko eines gefährlichen Erhitzen auf Grund von Fehlstellen gegenüber einer durchschnittlichen Niederspannungsinstallation um Zehnerpotenzen kleiner ist. Die Umsetzung wird durch die Vorstellung geeigneter Messmethoden und eines Prüfkonzepts unterstützt.

Im letzten Teil wird dieses Konzept mit zwei realen Objekten verifiziert: dem Castello Trefogli in Torricella /TI und dem Berghotel Schatzalp in Davos/GR. Beide Installationen können wie vorgeschlagen umgestellt werden. Im Berghotel Schatzalp konnte die Umsetzung darüber hinaus bereits erfolgreich abgeschlossen und die Aussenbeleuchtung wieder in Betrieb genommen werden.

Inhaltsverzeichnis

Abstract **iii**

1 Thema der Arbeit **3**
1.1 Beispiele aus der Praxis 4
1.1.1 Kurtheater Baden 4
1.1.2 Privathaus Berner Oberland 5
1.1.3 Privathaus Flims 5
1.1.4 Cuort Ligia Grischa (Museum Sursilvan) 5
1.2 Thema 6
1.3 Abgrenzungen 7
1.4 Formale Anmerkungen 7

2 Diskussion des Funktionserhalts **9**

I Geschichte 13

3 Geschichte der Elektrizität in der Schweiz **15**
3.1 Elektroinstallation 21
3.2 Untersuchungszeitraum 23

4 Schalter und Steckdosen **27**
4.1 Hersteller 28
4.1.1 Amacher AG 29
4.1.2 Appareillage Gardy S.A. 29
4.1.3 Electro-Mica AG 29
4.1.4 Feller AG 29
4.1.5 J.J. Buser AG 30
4.1.6 Levy fils AG 30
4.1.7 Tschudin & Heid AG 30
4.1.8 XAMAX AG 31
4.2 Werkstoffe 32
4.2.1 Holz 32
4.2.2 Galalith 32
4.2.3 Fayence und Porzellan 32
4.2.4 Hartgummi 34

4.2.5 Steatit . . . 35
4.2.6 Diverse Metalle . . . 36
4.2.7 Glas . . . 37
4.2.8 Duroplaste . . . 37
4.2.9 Thermoplaste . . . 38
4.2.10 Vergleich Duro- und Thermoplaste . . . 40
4.3 Betätigungskonzepte Schalter . . . 40
4.3.1 Mechanik . . . 44
4.4 Steckdosen . . . 45
4.4.1 Bauformen Steckdosen . . . 46
4.4.2 Schutzkontakt . . . 49
4.5 Einbau . . . 49
4.5.1 Unterputz . . . 49
4.5.2 Aufputz . . . 50
4.5.3 Aufputz mit Sockel . . . 51
4.5.4 Halbunterputz . . . 51
4.5.5 Flansch mit Federbefestigung (FLF) . . . 53
4.6 Hersteller-Identifikation . . . 53

5 Leitungen und Kabel **59**
5.1 Hersteller . . . 59
5.2 Leiter . . . 61
5.3 Isolation . . . 62
5.3.1 Guttapercha . . . 62
5.3.2 Naturkautschuk . . . 62
5.3.3 Bleikabel und Eisenarmierung . . . 67
5.3.4 Kunststoffe . . . 69
5.4 Aderfarben . . . 73

6 Verlegung **79**
6.1 Offene Verlegung auf Isolatoren . . . 79
6.1.1 Klemmrollen . . . 80
6.1.2 Isolierrollen . . . 81
6.1.3 Isolierglocken . . . 83
6.1.4 Befestigung der Leitung . . . 83
6.1.5 Zeitraum der Verwendung . . . 84
6.2 Verlegung in Holzkanälen . . . 87
6.3 Verlegung in Rohren . . . 87
6.3.1 Hersteller . . . 88
6.3.2 Bergmannrohr . . . 88
6.3.3 Papierauskleidung . . . 89
6.3.4 Zubehör . . . 91
6.3.5 Biegsame Isolierrohre „Kopex“ . . . 91
6.3.6 Rohrdraht/Manteldraht . . . 93

6.3.7 Peschel-Rohr . . . 95
6.4 Neuere Verlegearten . . . 98
6.4.1 In Kanälen und Tablaren . . . 98
6.5 Dübel . . . 99

7 Chronologie - Zeitstrahl **107**

II Elektrotechnik 111

8 Gesetze, Vorschriften und Normen **113**
8.1 Bestandsschutz . . . 114

9 Elektrotechnik/Elektronik **117**
9.1 Strom und Spannung . . . 117
9.2 Leistung . . . 118
9.3 Widerstand und Ohmsches Gesetz . . . 119
9.3.1 Addition von Widerständen . . . 120
9.4 Kategorisierung elektrischer Energie . . . 120
9.4.1 Einteilung nach Spannung . . . 121
9.4.2 Einteilung nach Stromstärke und Einsatzgebiet . . . 121
9.4.3 Einteilung nach Verteilung: Ein- und Mehrphasiger Strom . . . 122
9.4.4 Einteilung nach Frequenz . . . 124

10 Brandentstehung in elektrischen Anlagen **127**
10.1 Energie zur Brandentstehung . . . 127
10.2 Elektrische Zündquellen . . . 128
10.2.1 Erwärmung durch lokal erhöhten Widerstand . . . 129
10.2.2 Gasentladung/Lichtbögen . . . 134
10.2.3 Kriechstrom . . . 135

11 Erwärmung eines Kabels **141**
11.1 Analytische Abschätzung der Erwärmung . . . 143
11.1.1 Wärmedurchgang durch eine ebene Wand . . . 144
11.1.2 Wärmedurchgang durch eine zylindrische Wand . . . 147
11.1.3 Temperaturabhängigkeit des Widerstands . . . 148
11.1.4 Instationärer Zustand . . . 149
11.2 Experimentelle Verifikation . . . 151
11.2.1 Korrektur des Emmissionswerts . . . 154
11.2.2 Ermittlung von τ . . . 155
11.2.3 Fehlerbetrachtung . . . 155
11.3 Fazit . . . 156

12 Lichtbögen **159**
12.1 Lichtbögen in der Hausinstallation . . . 159

12.2 Theoretische Grundlagen . . . 159
12.2.1 Lichtbogen-Phasen . . . 160
12.2.2 Bestimmung der Durchbruch-/Breakdown-Spannung U_B in Gasen . . . 160
12.2.3 Bestimmung der Arc-Spannung U_{arc} in Gasen . . . 162
12.2.4 IEEE . . . 163
12.3 Elektrische Festigkeit von festen Isolierstoffen . . . 164
12.4 Lichtbögen in einer 24 V-SELV-Installation . . . 165
12.5 Weitere Referenzen . . . 166
12.5.1 TÜV Rheinland . . . 166
12.5.2 Institut für Energie- und Mobilitätsforschung IEM/Photovoltaiksysteme, BFH Burgdorf . . . 166
12.5.3 Siemens . . . 167
12.6 Fazit . . . 167

13 Gefahrstoffe **171**
13.1 PCB . . . 171
13.2 PAK . . . 171
13.3 Asbest . . . 172
13.4 Ortho-Trikresylphosphat . . . 172
13.5 Schwermetalle . . . 173

14 Probleme historischer Elektroinstallationen **175**
14.1 Verlust der Normkonformität . . . 175
14.1.1 Netzform . . . 176
14.1.2 Steckdosen . . . 178
14.1.3 Leitungen . . . 178
14.1.4 Anderes Installationsmaterial . . . 180
14.2 Degradation . . . 180
14.2.1 Leitungen . . . 181
14.2.2 Schalter und Steckdosen . . . 184

III Konzept 189

15 Vorbetrachtung Konzepte **191**
15.1 Restaurierung . . . 191
15.2 Idee . . . 192
15.2.1 Ersatz der Leitungen . . . 192
15.2.2 Weiterbetrieb mit SELV-Kleinspannung . . . 193

16 Umstellung auf SELV **195**
16.0.1 Kenngrössen von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Kurzschluss . . . 196

16.1 Beurteilung der Brandgefahr . . . 197
16.1.1 Erwärmung eines Kabels . . . 197
16.1.2 Erwärmung durch lokal erhöhten Widerstand . . . 199
16.1.3 Gasentladung/Lichtbogen . . . 200
16.1.4 Kriechstrom . . . 200
16.1.5 Zusammenfassung Brandgefahr . . . 201
16.2 Kennzeichnung . . . 201
16.3 Prüfung . . . 201

17 Messmethoden **205**
17.1 Isolationsmessung . . . 205
17.2 Einzelader-Strommessung . . . 205
17.3 Spannungsabfallmessung . . . 207
17.4 Messung lokal erhöhter Widerstände . . . 208
17.5 Auffinden lokal erhöhter Widerstände mittels Thermografie . . . 210
17.6 TDR und FDR . . . 210
17.6.1 FDR - Frequency domain reflectometry . . . 211
17.6.2 Velocity Factor . . . 212
17.6.3 Scan-Auflösung FDR . . . 214
17.6.4 FDR Tests unter Laborbedingungen . . . 214

IV Case studies 219

18 Überblick Objekte **221**

19 Davos Berghotel Schatzalp **223**
19.1 Geschichte . . . 223
19.1.1 Gebäude . . . 223
19.1.2 Gebäudetechnik . . . 225
19.2 Bestand . . . 228
19.2.1 Elektrische „Bauphasen“ . . . 228
19.2.2 Bestand Aussenbeleuchtung . . . 230
19.3 Zustand Aussenbeleuchtung . . . 235
19.4 Konzept . . . 235
19.4.1 Spannungsabfall bei 24 V . . . 235
19.4.2 Installation . . . 237

20 Castello Trefogli **241**
20.1 Untersuchungsgegenstand . . . 241
20.2 Kunst- und kulturgeschichtlicher Kontext . . . 241
20.3 Bestandsaufnahme . . . 242
20.3.1 Stromkreise . . . 242
20.3.2 Physische Leitungsführung . . . 244

20.3.3 Schalter und Steckdosen 247
20.3.4 Lampen 251
20.3.5 Datierung 251
20.4 Zustand 252
20.4.1 Leitungen und Isolatoren 253
20.4.2 Schalter 254
20.5 Erhaltungskonzept 255
20.5.1 Variante 1: Erneuerung der Leitungen 255
20.5.2 Variante 2: Schutz durch Kleinspannung 255
20.5.3 Wahl der Variante 263
20.5.4 Weitere Arbeiten 263

Abbildungsverzeichnis **267**

Tabellenverzeichnis **275**

Listings **277**

Akronyme **279**

Appendices **281**
A Mail Prof. Dr. Christof Bucher 283
B Wanddurchführungen 283
C Schalter und Steckdosen 286
D Falstad input Castello Trefogli 292
E Falstad input Berghotel Schatzalp 295
F Berechnung Leitertemperatur 296
G Berechnung Kritischer Bereich 298
H Siemens PSU200M Datenblatt 300

Vorwort

Jetzt, da die fertige Arbeit vorliegt, werden mir die grossen Lücken erst richtig bewusst. Natürlich habe ich mit einer rigiden Abgrenzung versucht, das Thema scharf zu umreissen und nicht zu gross werden zu lassen. Aber es gibt trotzdem noch so viel mehr zu erzählen und zu recherchieren. Und schaue ich über den Tellerrand dieses Dokuments, kann ich das Ende nicht einmal erspähen.

Ich darf mich nicht beschweren, ich bin vor dem grossen Umfang gewarnt worden. Nicht nur einmal. Aber ich wollte eine Basis für die restauratorische und denkmalpflegerische Praxis schaffen, die zumindest das Feld absteckt. „More to come“ sozusagen.

Für die Arbeit zitiere ich aus 77 Büchern, 67 Artikeln, 51 Internetseiten und 20 anderen Quellen. Während der Recherche habe ich sicher doppelt so viele, mindestens partiell, gelesen. Für das Studium am Objekt habe ich mir rund 150 historische Steckdosen, Schalter, Leitungen und sonstiges Zubehör beschafft und meine Messequipment kräftig aufgestockt. Und ich habe 13’000 Fotos aufgenommen - allerdings nicht wenige mit Fokus-Bracketing, was die Zahl etwas relativiert. Dokumente und Daten verwalte ich in einer Datenbank.

Besonders wichtig waren die vielen UnterstützerInnen der Arbeit. Ohne die Gespräche, Tipps und das zur Verfügung gestellten Dokumente wäre ich sicher nicht so weit gekommen. Der Diskurs mit den technischen Experten hat zu einigen ungeplanten Kapiteln geführt, über die ich heute sehr froh bin.

Mir ist grosses Interesse, teilweise sogar Begeisterung für das Thema entgegengebracht worden, was mich sehr freut. Gleichzeitig betrübt mich der rapide Verlust an Originalsubstanz und historischen Dokumenten. Es erstaunt mich immer wieder aufs Neue, wie wenig Unternehmen Unterlagen aus ihrer Geschichte archivieren.

Ich bin daher für jeden Input zum Thema dankbar. Am liebsten nehme ich Kritik entgegen, freue mich aber auch über Kataloge, Bücher, sonstige Dokumente und Materialien sowie Hinweise zu spannenden Gebäuden usw.

Abschliessend möchte ich den UnterstützerInnen namentlich danken. Zuerst gilt mein ganz besonderer Dank meiner Familie, die mir in jeder erdenklichen Hinsicht den Rücken gestärkt hat und die sich nun auch für das Thema begeistert. Ich danke weiterhin meinem Referenten Dipl.-Restaurator Jonas Roters (BFH) und meiner Korreferentin Prof. Dr. Silke Langenberg (ETH) für die wertvollen Hinweise, Korrekturen und ihre Unterstützung. Der Bernischen Denkmalpflege-Stiftung gilt mein Dank für

ihren grosszügigen finanziellen Beitrag. Für die technisch/regulatorischen Themen war die Zusammenarbeit mit Rudolf Acklin und Marcel Schellenberg, ebenso wie mit dem restlichen Team von Electrosuisse ausserordentlich wertvoll. Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Cornelia Högger und Wolfgang Steinbeck von Feller, die mir jede Frage beantwortet und Zugang zum reichhaltigen Archiv gegeben haben. Die digitalisierten Kataloge waren eine unersetzliche Hilfe. Gleiches gilt für Ulrich Iten, der mir Zugang zu seiner Privatsammlung von historischen Objekten und Vorschriften gegeben hat. Die mit Prof. emeritus Arthur Ruh durchgeführte Wärmeberechung stellt eine Säule meiner elektrotechnischen Argumentation dar, wofür ich mich herzlich bedanke. Michele Trefogli (Castello Trefogli), Paulo Bernardo und Thomas Heldstab (Schatzalp) waren meinen Ideen gegenüber sehr offen und haben mich gewähren lassen. Nicht nur, dass dies die Case-Studies ermöglicht hat, es hatte auch spannende Rückwirkungen auf den Rest der Arbeit. Tausend Dank! Weiterhin möchte ich folgenden Personen und Organisationen danken (in alphabetischer Reihenfolge): Andreas Berz (Schweizerische Nationalbibliothek), Dr. Dorothee Bieske (Museum Eckernförde), Kerstin Brunner (Staatsarchiv Basel), Prof. Dr. Christof Bucher (BFH), Martin Hamann (Electro-Mica), Prof. Dr. Wolfgang Heckl (Deutsches Museum München), Tim Hellstern (Museum für Kommunikation), Martina Huggel (Museum Langmatt), Jonas Huggenberger (Museum Langmatt), Prof. Dr. Patrick Kupper (Universität Innsbruck), Georges Lipp (Feller), Prof. Dr. Nina Mekacher (BFH), Oof Oud (Digital Museum of Plugs and Sockets), Lisa Schmidt-Candinas (Trun Cultura), André Schwabe (Theater Winterthur), dem Team des PTT-Museums, dem Team von SBB Historic, Gundolf Tertel (Kalthoff GmbH), Marco Thurnherr (Theater Winterthur), Christian Schaniel (docuteam/ABB-Archiv), Prof. Dr. Stefan Wülfert (BFH), Jan Zornikau und Jurij von Aster (NEAA, St.Johanns-Vorstadt/BS).

Ebenfalls danke ich herzlich der Denkmalpflege diverser Kantone und Städte, deren Mitarbeitende mir auf meine Anfrage nach historischen Elektroinstallationen viele lohnende Objekte herausgesucht haben (in alphabetischer Reihenfolge): Olivier Burri (BE), Heiko Dobler (AG), Klemens Dudli (BS), Jean-Daniel Gross (Bern), Peter Hechelhammer (GR), Franziska Kaiser (ZG), Katrin Koyro (ZG), Stephan Kraus (BS), Stefanie Magel (ZH/Winterthur), Jasmin Riedener (LU), Jürg Schweizer (Bern), Raphael Sollberger (ZH) und Nicolas de Wurstemberger (BE).

Ich hoffe, dass ich in meiner Danksagung niemanden vergessen habe. Sollte dies doch der Fall sein, geschah es keinesfalls mit Absicht und ich bitte um Nachsicht.

André Lison
Baden im Januar 2025

1. Thema der Arbeit

Elektroinstallationen in Gebäuden verbreiten sich seit den 1880er Jahren und werden spätestens seit den 1920er Jahren bei Neubauten architektonisch eingeplant und verbaut. Nicht selten sind sie in das Gestaltungskonzept eingeflossen.

Trotz der Tatsache, dass Elektroinstallationen - ebenso wie die restliche Haustechnik - integraler Bestandteil eines Gebäudes sind, werden sie heute in der Denkmalpflege und Restaurierung untergeordnet behandelt. Gründe für den Rück- und Umbau von Elektroinstallationen sind hauptsächlich Sicherheits- und Komfortüberlegungen. Dadurch geht zum einen technisches Kulturgut verloren und es entstehen Schäden in der umgebenden Bausubstanz, aber auch die historische Optik und Haptik sowie oftmals das lichtabhängige Raumempfinden werden signifikant beeinträchtigt. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit ist dieses Vorgehen ebenfalls zu hinterfragen.

In der Regel kann man diese Strategien im Umgang mit Elektroinstallationen beobachten:

1. Weiterbetrieb ohne Modernisierung: Begrüssenswerter Erhalt der historischen Technik. Es werden jedoch die bestehenden Gefahren ignoriert und die Anlage unverändert weiter betrieben.
2. Vollständiger Austausch: Diese Modernisierung entfernt den historischen Bestand und ersetzt alle Bauteile durch moderne Technik (Beispiel Abb. 1.2 auf Seite 5).
3. Selten trifft man noch eine dritte Variante an: Die Kombination aus den beiden vorgenannten Varianten. Die historische Installation bleibt in Betrieb und parallel dazu wird eine moderne aufgebaut. Positiv zu bewerten ist der Erhalt der historischen Substanz, allerdings bleiben die sicherheitstechnischen Probleme bestehen und gestalterisch ist diese Lösung häufig unbefriedigend (u.a. Villa Flora, Wald/ZH, ohne Abbildung).

Erschwerend kommt hinzu, dass bei der Verlegung neuer Elektroinstallationen (Punkte 2 und 3) nicht auf bestehende Strukturen (z.B. Kabelkanäle) zurückgegriffen werden kann, weshalb oft historische Substanz beschädigt wird. Wird versucht, die neuen Installationen dem historischen Stil anzupassen, werden häufig neue Komponenten verwendet, welchen den historischen Stil nur näherungsweise nachbilden und damit ein falsches historisches Bild vermitteln.

1.1. Beispiele aus der Praxis

Die nachfolgenden Beispiele illustrieren die vorangegangenen Beobachtungen:

1.1.1. Kurtheater Baden

Das erste Beispiel ist das unter kantonalem Schutz stehenden Kurtheater Baden (Bj. 1952, [1]). Auf Abb. 1.1a ist links unterhalb der Treppe eine Steckdose und vermutlich eine Schalter und eine weitere Steckdose in einem spiegelnden Rahmen zu erkennen. Es handelt sich dabei sehr wahrscheinlich um einen Messingrahmen im Stil der Zeit vergleichbar mit dem Schalter auf Abb. 19.9 auf Seite 228. Der Messingrahmen korrespondiert mit vielen anderen messingfarbenen Architekturelementen des Theaters, zum Beispiel dem Treppengeländer direkt oberhalb.

In den Jahren 2018 bis 2020 wurde das Theater aufwendig saniert. Für Schalter und Steckdosen wurden schwarze Kunststoffrahmen verwendet (Abb. 1.1b), was mit der ursprünglichen Gestaltung bricht.

(a) Baden, Kurtheater, Foyer, 1952, Foto: Historisches Museum Baden, Foto Werner Nefflen, Q.01.7180D, CC BY-SA 4.0

(b) Baden, Kurtheater, Foyer, Innenansicht, 2020, Status nach Sanierung,Foto: Badener Tagblatt, Sandra Ardizzone

1.1.2. Privathaus Berner Oberland

In dem auf Abb. 1.2 abgebildeten Privathaus im Berner Oberland wurde die Elektroinstallation vollständig durch eine moderne Leitungsführung mit ebenfalls modernen Schaltern und Steckdosen ersetzt. Sie steht in einem starken Kontrast zur ansonsten gut erhaltenen, historischen Substanz und beeinträchtigt durch ihr farblich und stilistisch Erscheinungsbild den Gesamteindruck. Gleichzeitig ist der Verlust der sicher spannenden Elektrifizierung anzumerken.

Abbildung 1.2.: Moderne Installation in denkmalgeschütztem Privathaus, Berner Oberland, Foto: André Lison 2022

1.1.3. Privathaus Flims

In einem Flimser Privathaus ist die Aufnahme (Abb. 1.3) eines Kabelkanals entstanden, der in historisches - mutmasslich mittelalterliches - Täfer gefräst wurden. Möglicherweise hätte der Verlust der Originalsubstanz durch ein angepasstes Installationskonzept vermieden werden können.

Abbildung 1.3.: Kabelkanal in historischen, mutmasslich mittelalterlichen Täfer gefräst, 2020, Foto: André Lison 2020

1.1.4. Cuort Ligia Grischa (Museum Sursilvan)

Wie auf Abb. 1.4 auf der nächsten Seite ersichtlich, wurden Steckdosen im historischen Täfer verbaut - einhergehend mit dem Verlust originaler Substanz und Störung des Gesamteindrucks.

1.2. Thema

Es darf angenommen werden, dass die mangelnde Verfügbarkeit von Spezialisten, Literatur und Beispielen aus der Praxis, welche fächerübergreifend Elektroinstallation und Restaurierung verbinden, den nicht denkmalgerechten Umgang mit dem elektrischen Kulturgut befördern. Gleichzeitig scheint es, dass die für historische Bauten notwendige Sensibilisierung aller Beteiligten noch verbessert werden kann. So existiert zum Beispiel keine Ausbildung zum „Handwerker in der Denkmalpflege“ oder „Restaurator im Handwerk“ mit der Spezialisierung auf die Elektrik oder sonstige Haustechnik.

In der Masterarbeit soll dieser Missstand aufgegriffen und zum Erhalt elektrischer Hausinstallationen zwischen 1900 und 1980 mit Schwerpunkt auf die Funktion beigetragen werden. Restauratorischer Ethik folgend, ist das Ziel, die bestehende Installation soweit wie möglich unverändert zu belassen und trotzdem sicherheitstechnisch auf den aktuellen Stand zu bringen.

Es sollen für wichtige Bauteilgruppen (Schalter, Steckdosen, Leitungen etc.) häufige Schadensphänomene und mit heutigen Sicherheitsvorschriften nicht zu vereinbarende Bauarten aufgeführt und Lösungen zum Erhalt im Betrieb oder sogar zur Wiederinbetriebnahme gezeigt und zur Verfügung gestellt werden. Zielpublikum sind DenkmalpflegerInnen, RestauratorInnen, ArchitektInnen, ElektroplanerInnen und ElektrikerInnen, sowie BesitzerInnen und BetreiberInnen historischer Gebäude.

Die erarbeitete Lösung soll an Objekt(en) exemplarisch umgesetzt werden.

Abbildung 1.4.: Moderne Steckdose in historischem Täfer verbaut, Cuort Ligia Grischa, 2016, Foto: André Lison 2016

Eingeleitet wird die Arbeit durch eine ethische Argumentation zum Wert und Erhalt von Elektroinstallationen, der eine chronologische Einordnung von Bauteilen folgt. Nur mit diesem Wissen ist eine Altersbestimmung und „Wertbeurteilung“ vorgefundener Technik überhaupt erst möglich.

1.3. Abgrenzungen

Es werden einzig ortsfest verbaute, einphasige Niederspannungsstromkreise in einfacher Ausführung ab dem Sicherungskasten betrachtet. Nicht behandelt werden Kleinspannungskreise und Sonnerie, Brand- und Einbruchsmeldeanlagen, Telefon, Treppenlichtsteuerungen, Aufzüge, Verschattungsanlagen etc. Ebenfalls ausgeschlossen werden Endgeräte und Lampen, auch wenn diese fest installiert sind.

Ethik und geschichtlicher Überblick werden nur soweit ausgeführt, wie für die Datierung oder das Verständnis der Erhaltungstechniken notwendig scheint. Technisch wird die Arbeit dahingehend eingegrenzt, dass nur Installationen in der Schweiz ab 1900 bis 1980 (siehe auch Abschnitt 3.2 auf Seite 23) und dort nur Niederspannungsinstallationen in Wohnhäusern ab dem Verteilerkasten (ugs. „Sicherungskasten“) betrachtet werden, weil diese die vergleichsweise niedrigsten Anforderungen an Technik und Sicherheit stellen.

Trotz der genannten Einschränkungen ist der Autor zuversichtlich, dass die gesammelten Erkenntnisse darüber hinaus (z.B. in musealen Gebäuden und Kirchen und im Ausland) nützlich sein werden.

1.4. Formale Anmerkungen

Abweichend von der Vorgabe der HKB, nach APA zu zitieren, habe ich mich zur Nutzung des Zitierstils nach „Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)“ entschieden. Die Gründe dafür sind zum einen, dass von vielen nachfolgend zitierten Dokumenten der Autor und häufig auch das Publikationsjahr nicht bekannt sind und daher eine Verwendung von APA zu wenig aussagefähigen, schwer lesbaren oder sehr langen Verweisen führt[1]. Zum anderen ist einer der Schwerpunkte der Arbeit die Elektrotechnik, in welcher der IEEE-Stil standardmässig Verwendung findet.

Literatur

[1] «DSI-BAD070 Parkstrasse 20, Kurtheater, 1952 (Dossier (Denkmalschutzinventar)),» Online-Inventar der Kantonalen Denkmalpflege Aargau. (2012), Adresse: `http : / / www . ag . ch / denkmalpflege / suche/` (besucht am 03. 12. 2023) (siehe S. 4).

[1] Wenn der Autor eine Firma oder Verein ist

2. Diskussion des Funktionserhalts

> *Umgekehrt ist freilich auch jedes historische Denkmal ein Kunstdenkmal, denn selbst ein so untergeordnetes Schriftdenkmal wie etwa ein abgerissener Papierzettel mit einer kurzen belanglosen Notiz enthält nebst seinem historischen Werte für die Entwicklung der Papierfabrikation, der Schrift, der Schreibmaterialien u.s.w. eine ganze Reihe von künstlerischen Elementen: die äußere Gestalt des Zettels, die Form der Buchstaben und die Art ihrer Zusammenstellung.*
>
> „Der moderne Denkmalkultus“ 1903 [1, S. 3]

Es dürfte unter RestauratorInnen, DenkmalpflegerInnen und ihnen nahestehenden Professionen unstrittig sein, dass die Hauselektrik so selbstverständlich zum gewachsenen Bestand und damit zur Historie des Objekts gehört, wie die anderen Teile eines Bauwerks. Spätestens seit der Charta von Venedig ist der Erhalt und die Weitergabe der Denkmäler «im ganzen Reichtum ihrer Authentizität»[2] die oberste Maxime der Denkmalpflege. Der Denkmalbegriff bezieht sich dabei «nicht nur auf große künstlerische Schöpfungen, sondern auch auf bescheidene Werke, die im Lauf der Zeit eine kulturelle Bedeutung bekommen haben.»[2]

Nun zielt diese Arbeit nicht nur auf den reinen materiellen Erhalt ab, sondern hat sich den Funktionserhalt prominent in den Titel geschrieben. Warum?

Zum Funktionserhalt äussert sich die Charta von Venedig zurückhaltend und vage: «Die Erhaltung der Denkmäler wird immer begünstigt durch eine der Gesellschaft nützliche Funktion. Ein solcher Gebrauch ist daher wünschenswert, […]»[2]. Diese Aussage zielt auf den Riegl’schen Gebrauchswert ab[1, S. 41]. Selbstverständlich ist ein Gebäude mit funktionierender Elektrik mehr wert, als eins ohne. Aber diese Funktion kann auch durch neue Installationen zur Verfügung gestellt werden, häufig sogar besser und sicherer. Der Gebrauchswert ist also ein schwaches Argument.

Mehr Argumente für den Funktionserhalt liefert die Vermittlung von Kultur- und Technikgeschichte. Eine Installation, die noch dort ist, wo sie vor 100 Jahren errichtet wurde, noch dieselbe Funktion hat, bei der man den Porzellangriff eines Schalters anfassen, ihn drehen, den Druckpunkt fühlen und das ”Klack” oder ”Klong” vernehmen kann, während im selben Moment die Lampe erleuchtet, macht historische Technik in einem einzigartigen Masse erlebbar.

Ein anderer Weg, sich der Frage des Funktionserhalts zu nähern, führt über den indirekten Beweis. Die Frage ist dann nicht mehr „Warum ist Funktionserhalt wichtig?“,

sondern „Was folgt, wenn der Funktionserhalt unwichtig ist?“. Das Gedankenexperiment startet mit der Prämisse, dass Elektrik im Gebäude und den Räumen benötigt wird und nicht anders, als durch eine Elektroinstallation zur Verfügung gestellt werden kann. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die existierende, historische Installation materiell bewahrt werden soll.
Die ursprüngliche Installation würde also im Gebäude verbleiben, zwar konserviert und eventuell restauriert werden, aber ihrer Funktion beraubt sein. Eine parallele Installation müsste aufgebaut werden. Das bedingt mehr oder weniger aufwendige Bauarbeiten, unweigerlich einhergehend mit einem Verlust an historischer Substanz. Schlussendlich existiert eine neue Installation, die - mutmasslich optisch-stilistisch störend - die nächsten Jahrzehnte ihren Dienst tut. Aber auch diese Installation wird altern - nicht nur im materiellen Sinne. Sie gewinnt an Alterswert und bezeugt ein Stück der Baugeschichte. Wenn ihre Lebensdauer überschritten ist, stellt sich wieder die Frage: ”Funktionserhalt oder Ersatz?”. Erkennt man in der zweiten Hausinstallation ebenfalls einen historischen Wert, würde nun eine dritte parallele Installation aufgebaut. Es ist einleuchtend, dass, so lange keine revolutionär andere Technik eine Installation vollständig unnötig macht[1], dies kein gangbarer Weg ist.

Darüber hinaus ist fraglich, ob mit einer funktionslosen Installation gleich sorgsam, wie mit einer funktionierenden umgegangen wird. Die gewollte oder in Kauf genommene oder durch Nachlässigkeit bei der Pflege hervorgerufene Zerstörung einer funktionslosen Leitung hat keine praktischen Auswirkungen. Aus der Zerstörung einer in Betrieb befindlichen Leitung folgt unweigerlich ein Verlust an Funktionsumfang. Damit liegt die Hürde ungleich höher. Der Funktionsverlust gefährdet die Installation also durch den Wegfall der drohenden negativen, praktischen Konsequenzen.

Ein überaus wichtiges Argument für den Erhalt der Funktion ist die Ökologie. Es ist einleuchtend, dass der Erhalt das grosses Potential hat, Ressourcen und Energie einzusparen.

Schlussendlich kann man fragen, ob eine Elektroinstallation noch authentisch ist, wenn sie ausser Betrieb genommen wurde. Um dieses zu beantworten, bedarf es einer Definition von Authentizität. Janis führt aus, dass sie «kultur- bzw. zivilisationsabhängig»[3, S. 133] ist. So wird der Authentizität teils der (schwer fassbare) «Geist, Inhalt bzw. die Idee des Kulturguts zugeordnet»[3, S. 133], im Gegensatz zur Originalität, die sich auf das Material bezieht. Die Konferenz von Nara im Jahr 1994 thematisierte die Definition von Authentizität und bringt als Ergebnis das „Nara Document on Authenticity“ hervor. Nach diesem ist die Bewertung der Authentizität eines Denkmals «an eine Vielzahl von Informationsquellen gebunden. Diese umfassen Konzeption und Form, Materialien und Substanz, Gebrauch und Funktion, Tradition und Techniken, Ort und Anlage sowie Geist und Wirkung, [...]»[3, S. 134]. „Gebrauch“, „Funktion“, „Geist“ und „Idee“ einer Elektroinstallation sind eng mit

[1] zum Beispiel durch drahtlose Energieübertragung über grössere Strecken oder durch eine Life-Time-Batterie in der Lampe

ihrer Bestimmung und Arbeitsweise verbunden. Eine Trennung von Funktion und Materie berührt offensichtlich ihre Authentizität.

Natürlich hat der Funktionserhalt auch Nachteile. Alle Bauteile unterliegen bei Gebrauch einem Verschleiss. Zudem ist eine optimale Konservierung unter kontrollierten klimatischen Bedingungen meist nicht möglich. Auch Sicherheitsbedenken verhindern häufig den Weiterbetrieb. Dieses Thema wird in den restlichen Kapiteln adressiert.

Literatur

[1] A. Riegl, *Der moderne Denkmalkultus*. Wien und Leipzig: W. Braunmüller, 1903 (siehe S. 9).

[2] ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), *Charta von Venedig: Internationale Charta für die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles*, Verabschiedet auf dem II. Internationalen Kongress der Architekten und Techniker der historischen Denkmäler, Venedig, 31. Mai 1964 (siehe S. 9).

[3] K. Janis, *Restaurierungsethik im Kontext von Wissenschaft und Praxis* (Forum Denkmal und Restaurierung 1), ger. München: M Press, 2005, ISBN: 3899755138 (siehe S. 10).

Teil I.

Geschichte

3. Geschichte der Elektrizität in der Schweiz

> *Die Beleuchtung übertraf jede Vorstellung. Das grösste Aufsehen machte eine Glühlampe von Edison, die man mit einem Schalter anzünden und auslöschen konnte. An dieser standen die Menschen zu Hunderten an, um selbst den Schalter drehen zu können.*
>
> Zitat von Oskar Miller 1881 aus „Allmächtige Zauberin unserer Zeit: zur Geschichte der elektrischen Energie in der Schweiz“ 1994 [15, S. 104f]

Für die private Nutzung der Elektroenergie im Haus sind die bedeutendsten Ereignisse im 19. Jh. die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips[1] um 1867, die Präsentation der ersten, praktisch einsetzbaren Glühlampe durch Thomas Alva Edison 1879 und die erste Fernübertragung von elektrischer Energie im Jahr 1891[2].

Die Möglichkeit, elektrische Energie über grössere Distanzen verlustarm transportieren zu können, war für die Schweiz von grosser Wichtigkeit. Wasserkraft stand vor allem zentrumsfern zu Verfügung. Strom aus Kohle war keine Alternative, da sie durch die stark gestiegenen Steinkohlepreise zu teuer war. Zudem wäre eine verbrauchernahe Erzeugung in kleineren, konsumentennahen Blockkraftwerken unrentabel gewesen und gleichzeitig den Bestrebungen zur Auslagerung industrieller Betriebe etc. an den Stadtrand zuwider gelaufen, wie Gugerli ausführt[16, S. 122f]. Die Schweizer Industrie war in diese erste Fernübertragung massgeblich involviert. Mit der Errichtung des Kraftwerks und der Übertragungsstrecke waren die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft (AEG) und die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) beauftragt und Brown, Boveri & Cie. (BBC) entwickelte die Transformatorenanlage und den Generator.

Ganz unproblematisch war der Bau von Fernleitungen trotzdem nicht. Gemeinden und Grundeigentümer verhinderten teils den Bau von Leitungen, sodass die Trassenführung sehr unvorteilhaft gestaltet werden musste. «Vor allem die Notwendigkeit, mit jedem Grundeigentümer einzeln in langwierige Verhandlungen eintreten zu müssen und dabei wertvolle Zeit beim Leitungsbau zu verlieren, bereitete den Elektrizitätsgesellschaften grossen Kummer»[16, S. 186f]. «Dies führte um die Jahrhundertwende zu einem dringenden legislativen Handlungsbedarf, wollte man nicht Gefahr laufen, das elektrizitätswirtschaftliche Wachstum zu bremsen oder gar zu verunmöglichen»[16, S. 191].

[1] Erste wissenschaftliche Darstellung durch Werner von Siemens 1867[1]

[2] https://www.vde.com/de/geschichte/karte/baden-wuerttemberg/drehstromuebertragung-lauffen-frankfurt

Gleichzeitig wurden sicherheitstechnische Fragen im Umgang mit der Elektrizität immer drängender. Am 2. April 1898 kam es zum «grössten elektrotechnische Desaster in der Schweiz des ausgehenden 19. Jahrhunderts»[16, S. 192]. In Zürich rissen durch Schneelast Telegrafendrähte und fielen auf die darunter verlaufenden, 600 V führenden Drähte einer Tram. Die nun auf den Telefonleitungen liegende hohe Spannung setzte die Telefonzentrale in Brand (siehe Abb. 3.1), welche völlig zerstört wurde, wodurch mehrere tausend Abonennten nicht mehr erreichbar waren[25].

Diesen Problemen war man sich in der Elektrizitätswirtschaft durchaus bewusst. Zur Lösung war verstärkte Zusammenarbeit gefragt, was zur Gründung des Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV) im Jahr 1889 führte. Seit 1895 wurde er vom Verband schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) unterstützt und 1896[24] wurde das Sicherheitsinspektorat gegründet, dem alle Mitglieder unterstanden[16, S. 198]. Es nahm seine Arbeit am 18. April 1898 auf - wenige Tage nach dem verheerenden Brand in der Zürcher Telefonzentrale[10, S. 543].

Weiter angetrieben wurden die Bemühungen durch das Bewusstsein über das Schick-

Abbildung 3.1.: Brand in der Telefonzentrale, Zürich 02.04.1898, Foto: Hugo Huth Baugeschichtliches Archiv Zürich (BAZ) [2]

sal der Schweizerischen privatrechtlichen Bahnen, die basierend auf der Volksabstimmung vom Februar 1898 Anfang des 20. Jahrhunderts verstaatlicht wurden. Ähnliches wollte man unter allen Umständen für die Elektrizitätswirtschaft verhindern.[16, S. 250]

Als Meilenstein darf daher die Erlassung des Gesetzes über die Schwach- und Starkstromanlagen vom 24. Juni 1902 („Elektrizitätsgesetz"[4]) gelten[10, S. 576], welches die Oberaufsicht des Bundes über Stark- und Schwachstromanlagen festlegte und unter anderem den Elektrizitätsunternehmen «ein Expropriationsrecht zum Ausbau der Leitungen und Verteilanlagen einräumte»[22, S. 45]. Im Rahmen des Gesetzes wurde auch das Technische Inspektorat des SEV zum Eidgenössisches Starkstrominspektorat (ESTI) aufgewertet[22, S. 45]. Das Kalkül, mit der Gründung des Inspektorats die Unterstellung unter ein Bundes-Inspektorat[16, S. 199] zu verhindern, ging schlussendlich auf.

«Es war die vom Verbandsdiskurs aufgebaute und in den Sicherheitsvorschriften bzw. im Technischen Inspektorat abgesicherte technische Definitionsmacht, die unter der „Federführung" der Verbände ins Bundesgesetz von 1902 eingeschrieben worden war – in ein Bundesgesetz, welches die technische Definitionsmacht der Verbände seinerseits durch die Zuweisung staatlicher Kontroll- und Überwachungsaufgaben ausdehnte.»[16, S. 204]

Nach der überwundenen, tiefen Wirtschaftskrise um die Jahrhundertwende[15, S. 13] war die Elektrizitätswirtschaft gut aufgestellt. Legislativ war ihr der Weg geebnet, unterstützt durch das im Jahr 1916 eingeführte Wasserrechtsgesetz[5], welches die Wasserkraft - in der Schweiz aufgrund der Rohstoffarmut von grosser Bedeutung - der Oberaufsicht des Bundes unterstellte. Das Eidgenössiche Polytechnikum hatte schon 1881 erste, fakultative Kurse über Elektrotechnik veranstaltet und die inländische Elektroindustrie konnte bis Ende des 19. Jahrhunderts praktisch die gesamte, benötigte Technik liefern. Nach vielen Jahren des Imports meist aus Deutschland (Voigt & Haeffner, Siemens & Halske, AEG usw.) begannen auch die ersten «schweizerischen Spezialfabriken» selbst Installationszubehör herzustellen (C. Staub, Zug, Zellweger und Gardy, Genf)[11, S. 130].

Schon im Sommer 1894 bezeichnete der nordamerikanische Technikjournalist Frederick Bathurst die Schweiz als «the present electrical centre of Europe»[16, S. 7]. Auch wenn Gugerli diese Aussage im Nachhinein relativiert, so lässt er sie für die Prokopf-Energieerzeugung gelten: um die Jahrhundertwende wurde in der Schweiz pro Einwohner etwa das Dreifache des zweitplatzierten Deutschlands erzeugt[3]. Das Wachstum der erzeugten elektrischen Leistung ist eindrucksvoll, wie in Abb. 3.2 auf der nächsten Seite zu sehen ist.

Zur Finanzierung grosser Kraftwerksprojekte wurden ab 1895 Finanzierungsgesellschaften gegründet - namentlich die Elektrobank (1895), Motor (1895), Indelec

[3] 53 kW h pro Einwohner und Jahr[16, S. 10]

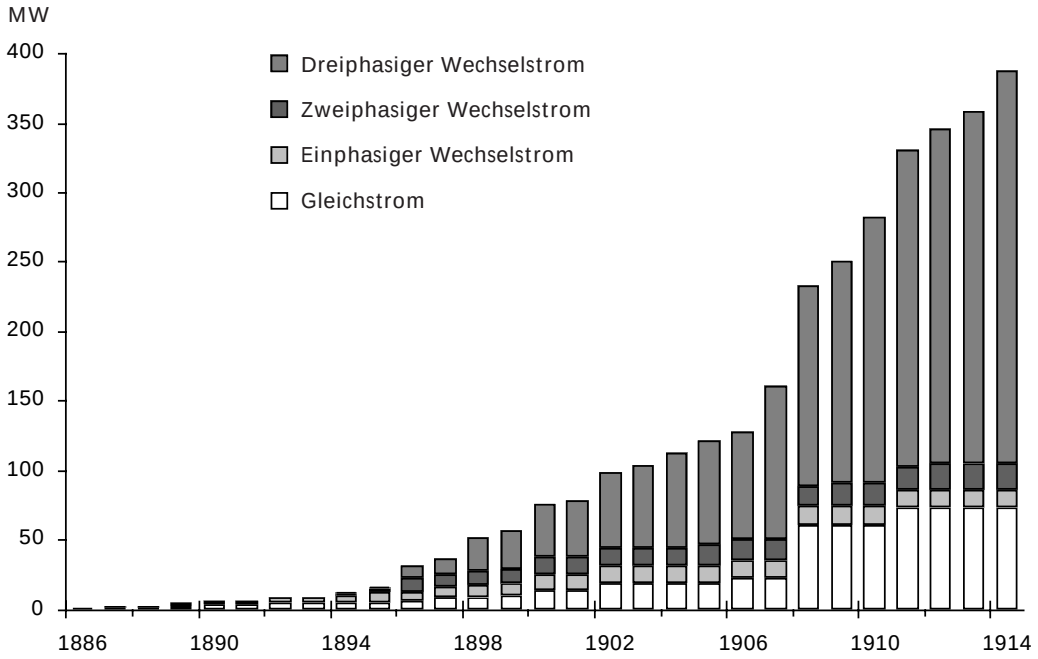


Abbildung 3.2.: Kumulierte Kapazitäten schweizerischer Kraftwerke nach System, Quelle: „Zur Elektrifizierung der Schweiz 1880–1914“ 1996 [16] aus [11]

Abbildung 3.3.: Briefkopf des Kander-Elektrizitätswerks im Besitz der „Motor“-AG 1900, PTT-Archiv Bern, Foto: André Lison 2024

(1896), Columbus (1913)[4] - von denen sich allerdings nur Motor nennenswert in der Schweiz betätigte: «Es handelte sich um die von der BBC, der Allgemeinen Deutschen Kreditanstalt in Leipzig, der Bank Leu & Cie. sowie einigen kleineren Schweizer Banken 1895 gegründete Motor AG für elektrische Unternehmungen in Baden»[16, S. 241] (Abb. 3.3).

Dem Starkstromgesetz folgten Anfang des 20. Jahrhunderts kantonale Elektrizitätsgesetze, welche u.a. die Gründung kantonaler Elektrizitätswerke zum Gegenstand hatten: Zürich und Schaffhausen 1908, St. Gallen und Bern 1909, Thurgau 1911, Aargau 1913, Freiburg 1915 und Nidwalden 1934, um nur einige zu nennen[10, S. 576ff]. «Die Pflicht des Staates zur Stromversorgung, von welcher die Schweizerische Bauzeitung 1904 gesprochen hatte, begann sich nun in das implizite Recht

[4] https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/041847/2009-01-08/

Abbildung 3.4.: Beleuchtung anlässlich der Lichtwoche 1932, Zürich, Foto: Gallas Wilhelm, BAZ[8]

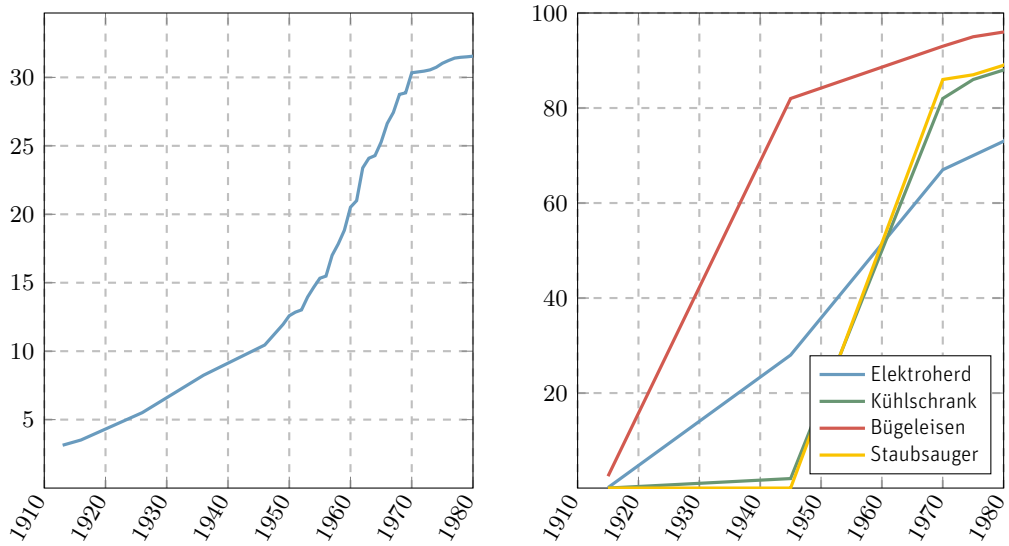
eines jeden Bürgers auf Strom zu wandeln»[16, S. 279].

Haupthinderungsgrund für die Verbreitung der elektrischen Energie in den Haushalten abseits der „Luxusinstallationen“ waren nicht zuletzt die Kosten. So betrug im Jahr 1910 der Preis für 1 kWh ungefähr so viel wie für 3 L Milch[17, S. 13]. Zum Vergleich, bei einem heutigen durchschnittlichen Verbrauch von ∼5000 kWh pro Jahr und Haushalt[21], würde dies zu einer Jahresrechnung von 30 kCHF führen[5]. Es leuchtet ein, dass ein derart hoher Preis die breite Verwendung der Elektrizität im Haushalt stark einschränken würde, was fraglos auch auf die Zeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts zutraf.

Abhilfe versuchte zum Beispiel das Elektrizitätswerk Basel (EWB) durch die «Vergrösserung des Absatzgebietes[...], die Verdichtung der Anschlüsse[...] und Vermehrung der Anwendungsmöglichkeiten»[17, S. 12] zu erreichen, was die Rentabilität des Kraftwerkes vergrössern sollte. Diese Massnahmen und gleichzeitige Preissenkungen brachten jedoch nicht nur beim EWB nicht den erhofften Erfolg, weshalb schweizweit bis in die 1930er Jahre Werbeaktionen mit Elektroausstellungen und Lichtwochen durchgeführt wurden (Abb. 3.4).

Einen grossen Aufschwung in der Nutzung der Elektrizität war während der beiden Weltkriege zu beobachten. Durch die Rationierung von Kohle und dem daraus gewonnen Gases fand eine Substitution mit Strom statt. Die Infrastruktur musste da-

[5] angenommener aktueller Milchpreis rund 2 CHF



(a) Mittlere Produktionserwartung in GW pro Jahr, Quelle: [23]

(b) Verbreitung elektrischer Haushaltsgeräte in Prozent, Quelle: [19]

Abbildung 3.5.: Entwicklung der Produktion elektrischer Energie und Verbreitung elektrischer Endgeräte in den Jahren 1910-1980

für auch beim Kunden ausgebaut werden: «Für die Elektrizitätswirtschaft und die Elektroinstallationsbranche brach ab 1915/16 die Zeit einer „nie dagewesenen gesteigerten Installationstätigkeit“ (so schrieb der Stadtrat von Zürich) [...] an»[18, S. 20]

Auch Endgeräte wurden verstärkt nachgefragt: «Im Oktober [1940, Anm. d. Verf.] folgte die starke Einschränkung der Raumheizung mit Brennstoffen; damit begann der Run auf elektrische Oefen [...] Der Kohlenmangel erreichte dieses Frühjahr den Höhepunkt, und fast von einem Tag auf den andern[sic] wurde die Gasabgabe auf ein äusserstes Minimum gedrosselt, was einen panikartigen Sturm auf die elektrischen Kochgeräte auslöste. In wenigen Tagen waren alle Lager an elektrischen Herden und Kochgeräten geleert - man kochte sogar auf Bügeleisen»[10, S. 551]

Nach dem 2. Weltkrieg setzte eine Hochkonjunktur ein, die bis Anfang der 1970er Jahre anhalten sollte. Die Wasserkraft expandierte bis Ende der 1960er Jahre stark[20, S. 44] und wird später durch Kernkraftwerke komplementiert. In Betrieb gehen zwischen 1969 und 1972 als erstes Beznau I und II (Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK)) und Mühleberg (Bernische Kraftwerke AG (BKW))[20, S. 84].

In den Haushalten werden verstärkt Elektrogeräte eingesetzt (Abb. 3.5b), was den Energieverbrauch weiter steigen lässt und sich im Ausbau der Wasserkraftwerkskapazität widerspiegelt (Abb. 3.5a). Vor allem der Zeitraum zwischen 1950 und 1970 ist von einem rasanten Anstieg der Anwendung der Elektrizität im Privaten geprägt.

Im politischen Bereich ist in der Nachkriegszeit besonders die verstärkte Zusam-

menarbeit auf europäischer Ebene erwähnenswert. Die Schweiz war Mitglied in der CENELCOM und CENEL und ist ab 1973 Mitglied in der Nachfolgeorganisation Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC).

Im Jahr 2002 nennt sich der SEV in „Electrosuisse“ um.

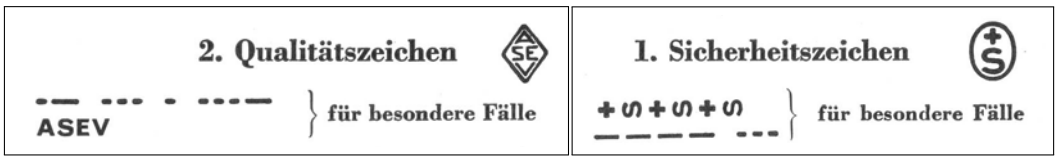
3.1. Elektroinstallation

In der letzten Dekade des 19. Jahrhunderts erhielten Elektrizitätswerke das Recht, Elektroinstallationen selbst auszuführen und private Firmen durch Konzessionsvergabe ganz oder teilweise darin zu beschränken[18, S. 13]. «Die Motor AG [siehe Kapitel 3 auf Seite 17], die nach 1900 einen bedeutenden Teil des Kantons Zürich durch ihre Anlagen in Dietikon, an der Sihl, in Beznau und in Löntsch mit Energie speiste, setzte ihr Installationsmonopol uneingeschränkt durch»[18, S. 13], ebenso wie zahlreiche andere. So führten die Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) um 1915 rund die Hälfte der Installationen selbst aus. Dies führte zu hitzigen Debatten und grossen Differenzen zwischen den Elektroinstallationsfirmen und den Elektrizitätswerken, die ihre Stellung zu nutzen wussten. Bis in die 1940er Jahren blieb das Thema auf dem Tapet. Freiburg war 1949 der letzte Kanton, in dem das Monopol fiel[18, S. 26f] und das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) verzichtete ab ca. 1950 auf «grössere Installationsarbeiten»[18, S. 64]

Ob eine Installation normgerecht ausgeführt wurde, war bis mindestens in die 1930er Jahre «Sache der Elektrizitätswerke, die sich gegenüber dem Starkstrominspektorat über die Durchführung dieser Kontrolle ausweisen müssen.»[7, S. 4]

Die Sicherheitsvorschriften des SEV für Starkstromanlagen 1896 enthielten bereits Bestimmungen für die Hausinstallation[7]. Als eigenständige „Vorschriften über Haus-Installation“[3], auch Hausinstallationsvorschriften (HV) genannt, wurden sie erstmals 1900 verfasst und erhielten durch das Elektrizitätsgesetz von 1902 (siehe Kapitel 3 auf Seite 17) Gesetzescharakter. In den Vorschriften sind am Anfang recht grundlegende, später sehr detaillierte Regelungen zur Installationstechnik, zum Installationsmaterial und Prüfung der Anlagen enthalten.

Die ebenfalls vom SEV entwickelten Normalien definieren die Anforderungen an das Installationsmaterial. In den eigens gegründeten technischen Prüfanstalten des SEV können Firmen ihr Material auf die Einhaltung dieser Normen prüfen lassen. Dafür



(a) Qualitätszeichen ab 1927 (b) Sicherheitszeichen ab 1958

Abbildung 3.6.: Sicherheits- und Qualitätszeichen 1960, verliehen vom SEV [14]

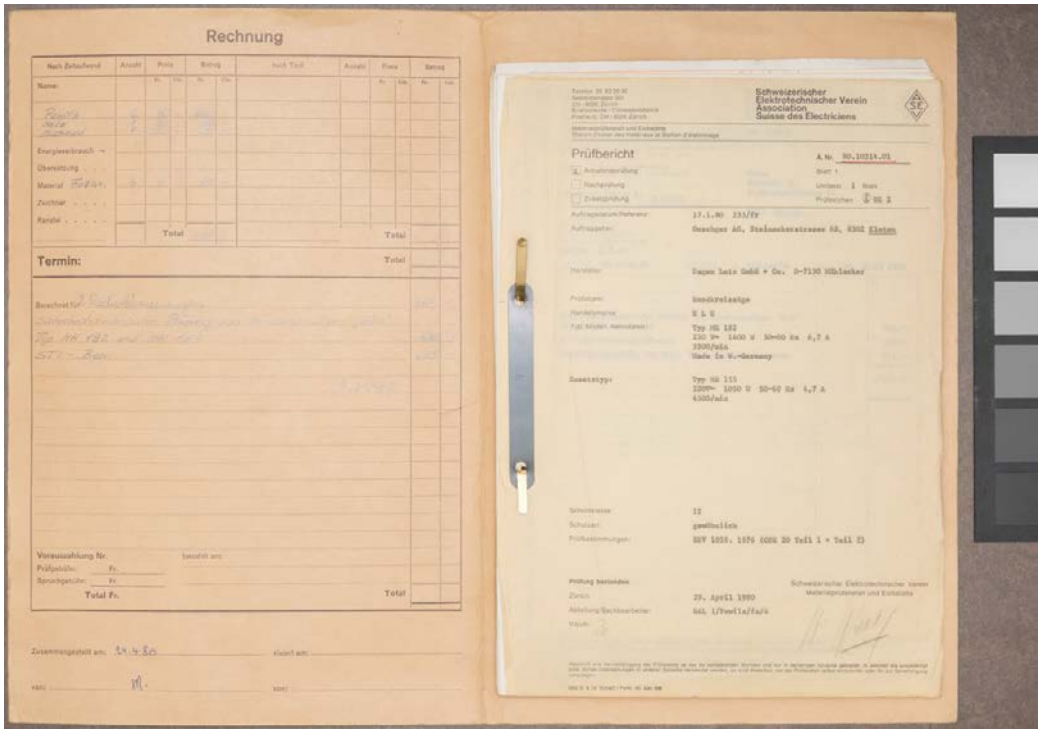


Abbildung 3.7.: Prüfbericht des SEV für eine Handkreissäge, 1980, Foto: André Lison 2024

gab es ab 1927 ein Qualitätszeichen, welches das begutachtete Material nach bestandener Prüfung tragen durfte[13, S. 8] (siehe Abb. 3.6b auf der vorherigen Seite). Für Leitungen und ähnliche Erzeugnisse wurde „ASEV“ oder das später Sicherheitskennzeichen „S+“ in Morseschrift auf einen Kennfaden aufgedruckt. Abb. 3.7 zeigt beispielhaft einen Prüfbericht von 1980.

Zwar heisst es in den HV 1927: «Hausinstallationen sind mit Material auszuführen, welches den Normalien des S.E.V. entspricht, soweit für das betreffende Material Normalien bestehen. Der Ausweis, dass ein Material den Normalien des S.E.V. entspricht, ist entweder durch das Qualitätszeichen des S.E.V. oder durch eine spezielle Prüfung bei der Materialprüfanstalt des S.E.V. zu leisten.»[6, S. 4] Allerdings wird dies zwei Sätze später abgeschwächt: «Den Elektrizitätswerken wird empfohlen, von ihren eigenen Installationsabteilungen und von den Installateuren zu verlangen, dass nur mit dem Qualitätszeichen des S.E.V. versehenes Material verwendet wird»[6, S. 5].

Am 7. Juli 1933 werden die HV in der bundesrätlichen Verordnung über Starkstromanlagen verankert und damit allgemein verbindlich. Wie bisher wird den Elektrizitätswerken erlaubt, auch unzertifiziertes Material zu verwenden. Es wird jedoch vehement dazu geraten, davon nur in Ausnahmefällen Gebrauch zu machen[9].

Die allgemeine Pflicht zur Zertifizierung kommt erst deutlich später: «Nach den Weisungen des Eidg. Starkstrominspektorats darf ab 1. Januar 1948 für die Erstel-

lung und Erweiterung von Hausinstallationen nur noch Material verwendet werden, das mit dem Qualitätszeichen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins versehen ist»[12, S. 100]. Im Jahr 1949 wird per Bundesratsbeschluss die Starkstromverordnung geändert und die Einführung eines Sicherheitszeichens beschlossen(Abb. 3.6b auf Seite 21). Dieses soll nur die Sicherheit des elektrischen Materials oder Erzeugnisses garantieren, aber im Gegensatz zum dann optionalen Qualitätszeichen nichts über dessen sonstige Qualitäten aussagen. Das Sicherheitszeichen-Reglement wird 1958 in Kraft gesetzt[13, S. 9]. Seit 2002 kann die Konformität von Erzeugnissen auch mit dem CE-Zeichen bescheinigt werden[6]. Das „S+"-Sicherheitszeichen existiert bis heute, die Prüfung ist aber nur noch freiwillig[7].

Seit 1927 gilt zudem eine «Verpflichtung zum Anbringung von Spannung, Strom, Fabrikmarke, und Qualitätszeichen SEV, sofern vorhanden» gut sichtbar auf dem Installationsmaterial. Unterputz-Apparate durften die Bezeichnung verstecken, sie musste jedoch leicht zugänglich sein[6, S. 24].

Elektrizitätswerke hatten und haben über die HV hinaus, heute Niederspannungs-Installations-Norm (NIN), die Möglichkeit eigene, ergänzende oder präzisierende Regel aufzustellen. Diese Regeln wurden „Werkvorschriften" genannt und enthielten von den einzusetzenden Spannungen bis hin zu Warnschildern und Gewinden eine breite Palette an Vorschriften. Die Werkvorschriften des BKW von 1944 umfassten 18 Seiten[8], beim EWZ waren es 1935 ganze 36 Seiten[8]. Zum Vergleich, die HV von 1936[9] verfügt über 128 Seiten[8].

3.2. Untersuchungszeitraum

Aus dem vorangegangenen, historischen Überblick lässt sich ableiten, dass die Elektrifizierung breiter Bevölkerungsschichten Anfang des 20. Jahrhunderts stark an Fahrt aufnimmt, begleitet von einer schnellen Entwicklung der Technik und Sicherheitsvorschriften. Der Start dieser Periode um das Jahr 1900 wird daher als Beginn des Untersuchungszeitraums gewählt.

Die stürmische Entwicklung flaut in den 1970er Jahren ab. Gebäude aus diesem Jahrzehnt wurden bauzeitlich vollumfänglich elektrifiziert und sind normentechnisch vergleichsweise nah an heutigen Standards. Auf Grund ihres Alters werden sie trotzdem bereits seit geraumer Zeit in die Denkmalinventare aufgenommen. So endet der Untersuchungszeitraum mit dem Jahr 1980.

Nicht immer lässt sich diese Grenze scharf einhalten. Wo es notwendig erscheint oder sinnvoll ist, werden auch Ereignisse, Techniken, Vorschriften etc. ausserhalb dieses Zeitfensters behandelt.

[6] https://www.dirkleitsch.de/ce-kennzeichnung-in-der-schweiz/

[7] https://www.bulletin.ch/de/news-detail/zertifizierung-mit-dem-sicherheitszeichen.html

[8] ohne Anhang

Literatur

[1] *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1867*. Berlin: Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften, 1868. Adresse: https://www.digitale-sammlungen.de/de/details/bsb10533218 (besucht am 07. 11. 2024) (siehe S. 15).

[2] H. Huth. «Brand in der Telefonzentrale, Bahnhofstrasse 66.» (2. Apr. 1898), Adresse: https://baz.e-pics.ethz.ch/%5C#main-search-text=telefonzentrale&main-search-mode=and&detail-asset=012e116c-d890-49a3-b268-5db18a02b18b (besucht am 14. 12. 2024) (siehe S. 16).

[3] *Vorschriften über Hausinstallationen*, II. Zürich, Schweiz: Verlag des Schweizerischer Elektrotechnischer Vereins, Mai 1900 (siehe S. 21).

[4] «SR 734.0 - Bundesgesetz vom 24. Juni 1902 die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen.» (24. Juni 1902), Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/19/259_252_257/de (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 17).

[5] «Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte.» (22. Dez. 1916), Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/33/189_191_191/de (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 17).

[6] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, II. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1928 (siehe S. 22, 23).

[7] *Die Organisation der Arbeiten zur Verbesserung der elektrischen Hausinstallationen in der Schweiz*, 1. Aufl. Generalsekretariat des SEV und VSE, 1930 (siehe S. 21).

[8] G. Wilhelm. «Beleuchtung anlässlich der Lichtwoche 1932.» (1932), Adresse: https://baz.e-pics.ethz.ch/%5C#main-search-text=lichtwoche%20atelier&main-search-mode=and&detail-asset=63f531de-39e5-48f8-8703-065e270ef96d (besucht am 18. 12. 2024) (siehe S. 19).

[9] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, IV. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1936 (siehe S. 22, 23).

[10] *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Sondernummer zur Feier des 50-jährigen Bestehens des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke* 1. Sep. 1945 (siehe S. 16, 17, 18, 20).

[11] W. Wyssling, *Die Entwicklung der Schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren*. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, 1946 (siehe S. 17, 18).

[12] H. Hofstetter, R. Spieser, J. Elsener und N. Felber, *Elektrizität und Bauen*, ger. Zürich: Verlag «Elektrowirtschaft», Schweizerische Gesellschaft für Elektrizitätsverwertung, 1950 (siehe S. 23).

[13] A. Gantenbein und R. Gasser, «Die Technischen Prüfanstalten des SEV,» de, 1958. Adresse: https://fkh.ch/wp-content/uploads/2014/08/1958_Gantenbein_Pruefanstalten_SEV.pdf (siehe S. 22, 23).

[14] «Prüfzeichen und Prüfberichte des SEV,» de, *Bulletin des SEV*, Nr. 14, 14. Juli 1960. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sev-001:1960:51::743 (siehe S. 21).

[15] D. Gugerli und Allgemeine Geschichtforschende Gesellschaft der Schweiz, Hrsg., *Allmächtige Zauberin unserer Zeit: zur Geschichte der elektrischen Energie in der Schweiz*, Zürich: Chronos, 1994, 233 S., ISBN: 978-3-905311-58-7 (siehe S. 15, 17).

[16] D. Gugerli, *Zur Elektrifizierung der Schweiz 1880–1914* (Redeströme), ger. Zürich: Chronos Verlag, 1996, ISBN: 978-3-905311-91-4 (siehe S. 15, 16, 17, 18, 19).

[17] D. Tréfás, «"Wenn die Zeltgebäude in feenhafter Beleuchtung erstrahlen..." : die Elektrizitätsausstellung für Gewerbe und Haushalt im August 1913 in Basel,» 2005. DOI: 10.5169/SEALS-118489. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bzg-002:2005:105::299 (besucht am 27. 05. 2024) (siehe S. 19).

[18] M. Suter und Kantonalverband Zürcher Elektro-Installationsfirmen, *KZEI 1915-2015 : Geschichte des Arbeitgeberverbandes der Elektroinstallateure im Kanton Zürich*, ger, Dietikon, 2015 (siehe S. 20, 21).

[19] P. Kupper und I. Pallua. (2016), Adresse: https://www.uibk.ac.at/geschichte-ethnologie/institut/mitarbeiterinnen/univ-prof/kupper-patrick/energieregime.xlsx (siehe S. 20).

[20] P. Kupper und I. Pallua, *Energieregime in der Schweiz seit 1800, Schlussbericht*, 11. Juli 2016 (siehe S. 20).

[21] EnergieSchweiz, *Stromverbrauch eines typischen Haushalts*, 2021. Adresse: https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10559 (siehe S. 19).

[22] J. Schädler, *Der Stromzähler: elektrische Energie als Konsumgut, 1880-1950* (Interferenzen 29). Zürich: Chronos, 2023, 235 S., ISBN: 978-3-0340-1721-3 (siehe S. 17).

[23] «Wasserkraftanlagen der Schweiz. Entwicklung der Leistung und der mittleren Produktionserwartung 1913 - 2023.» (2023), Adresse: https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html (siehe S. 20).

[24] «Porträt,» Electrosuisse. (15. Dez. 2024), Adresse: https://www.electrosuisse.ch/de/portraet/ (besucht am 15. 12. 2024) (siehe S. 16).

[25] A. Dürst. «Gang dur Alt-Züri: Der Brand in der Telefonzentrale Bahnhofstrasse vom 2. April 1898.» (), Adresse: https://alt-zueri.ch/turicum/fernmeldewesen/brand_telefonzentrale_bahnhofstrasse_1898.html (besucht am 15. 12. 2024) (siehe S. 16).

4. Schalter und Steckdosen

> *The introduction of the word ”switch” into the electrician’s vocabulary dates from the early days of telegraphy, when it was borrowed from American railway parlance, in which it is equivalent to the English ”points”, i.e., a device for ”switching” a train from one line to another, and so came to mean a piece of apparatus for switching the electric current from circuit to circuit.*
>
> „The history of electric wiring“ 1957 [26, S. 123]

Schalter und Steckdosen sind die wohl auffälligsten Bestandteile einer Haus-Elektroinstallation. Technik, Materialien und Design haben sich über die Jahrzehnte verändert und weiterentwickelt. Diese Merkmale können zur Datierung herangezogen werden.

Informationen zur Produktgeschichte, wie etwa Verkaufszahlen, Entwicklungsunterlagen oder Prüfberichte wären für die systematische Zusammenstellung von Datierungsmerkmalen ideal, sind jedoch bei keinem der angefragten Hersteller mehr vorhanden.

Nur die Feller AG unterhält ein Firmenarchiv, was jedoch nach der Auflösung des offiziellen Archivs neu aufgebaut wurde und dadurch keine internen, historischen Firmenunterlagen mehr aufbewahrt. Verfügbar ist jedoch eine vollständige Sammlung der Kataloge seit 1907 und der Mitarbeiterzeitung seit 1954.

Für allen anderen Hersteller konnten keine oder nur vereinzelte Kataloge und sogenannte „Handlisten“ beschafft werden. Es wurde daher versucht, die Historie mit Hilfe von Anzeigen und Berichten in öffentlich zugänglicher Drittliteratur zu rekonstruieren. Sehr hilfreich waren dabei die Webseiten `e-periodica.ch` und `e-newspaperarchive.ch` mit ihren digitalisierten Inhalten des *Bulletin des SEV*, diverse Bau- und Technikzeitschriften und die historischen Ausgaben der *Neue Zürcher Zeitung (NZZ)*, der Tageszeitung *Der Bund* und andere. Weiterhin wurden der *Schweizer Baukatalog* für die Jahre 1930-1968 als Quelle herangezogen.

Die Informationsbeschaffung über Drittmedien hat den Nachteil, dass sie nur ein unvollständiges Bild der Produktpalette zeichnet. Die öffentlich Präsenz eines Unternehmens wird durch dessen Strategie und finanzielle Situation bestimmt und kann über die Jahrzehnte stark schwanken. Auch besteht eine nicht zu unterschätzende Tendenz, prioritär innovative Produktneuheiten zu bewerben, wodurch ältere Modelle und Zubehör nicht erfassbar sind und die Produktionszeiträume unklar

bleiben.

Eine intensivere Forschung am Gebäude könnte die so entstandenen Lücken schliessen helfen.

Nicht unerwähnt bleiben darf schlussendlich die Website „Digital Museum of Plugs and Sockets“[51], die sich mit der weltweiten Geschichte der elektrischen Niederspannungs-Steckverbindungen beschäftigt und durch seinen Betreiber und Autor Oof Oud zu einer unschätzbaren Informationsquelle geworden ist.

4.1. Hersteller

In der Anfangszeit, d.h. im letzten Viertel des 19. Jh. bezog die schweizerische Installationsindustrie den Grossteil des Zubehörs, Schalter, Sicherungen usw. aus dem Ausland, meist von deutschen Herstellern wie Voigt & Haeffner, Siemens & Halske und der AEG. Das änderte sich zum ausgehenden Jahrhundert hin. Nachdem erst die (Elektro-)Maschinenindustrie sozusagen nebenher das benötigte Zubehör hergestellt hatte, wurden Ende des 19. Jh. diverse „Spezialfabriken“ gegründet (C. Staub (Zug/ZG), Zellweger (Uster/ZH) und Gardy (Genf/GE)). Trotzdem wurden bis mindestens zum ersten Weltkrieg noch signifikante Mengen importiert. Zu diesen Importen liegen jedoch keine Zahlen vor, so dass sie in dieser Arbeit nicht behandelt werden. Vertiefte Informationen zu diesem Abschnitt bietet „Die Entwicklung der Schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren“ 1946[18].

Bisher ermittelte Schweizer Hersteller sind (Beschreibung und Logos zum Teil aus [51], in alphabetischer Reihenfolge): AEG (D)[1], Amacher AG (Alschwil/BL), Appareillage Gardy S.A. (Genève/GE), F. Baillod S.A. (La Chaux-de-Fonds/NE), Brac A.G. (Breitenbach/SO), Busovis AG. (Binningen/BS), J.J. Buser AG (Basel/BS), Camille Bauer AG (Basel/BS)[1,2], Electro-Mica AG (Mollis/GL), Feller AG (Horgen/ZH), Kramer/-Elektromechanische Werkstaette (Zürich/ZH), Levy Fils (Basel/BS), Max Hauri AG (Bischofszell/TG), Mercuria S.A. (La Chaux-de-Fonds/NE), Oskar Woertz (Muttenz/BL), Remy Armbruster (Basel/BS)[1,3], Resista Electric S.A. (Renens/VD), Schurter Holding AG (Luzern/LU), Siemens & Halske (D)[1], C. Staub (Zug/SZ), A. Steffen AG (Würenlos/AG), M. A. Thélin & Cie. S.A. (Genève/GE), Tschudin & Heid AG (Waldenburg/BL), WAROB (Courrendlin/JU), XAMAX AG (Zürich Oerlikon/ZH) und Zellweger (Uster/ZH).

Für die Rekonstruktion der Schalter- und Steckdosen-Chronologie wurde eine Auswahl anhand der Grösse und Bedeutung des Unternehmens auf Basis der Erfahrung des Autors getroffen. Die nachfolgende Aufzählung stellt die verwendeten Fabrikmarken (siehe Abschnitt 3.1 auf Seite 23) zusammen mit einer kurzen Firmenbiografie dar.

[1] Möglicherweise keine Eigenproduktion in der Schweiz sondern nur Im-/Export/Handel
[2] Importeur von Voigt & Haeffner (D)
[3] Importeur von Busch-Jaeger (D)

4.1.1. Amacher AG

1954 übernehmen die Erben die Aktiven und Passiven der Einzelfirma „Hans Amacher“ in Basel und gründen die „Hans Amacher & Sohn“ in Allschwil (BL)[23]. Wahrscheinlich beginnt die bis heute anhaltende Produktion von Schaltern, Steckdosen und Steckern erst zu diesem Zeitpunkt. Die Amacher AG gehört seit 2005 zum Hager-Konzern[4][40, S. 43], seit 2014 wird der Markenname „Amacher“ nicht mehr verwendet.

4.1.2. Appareillage Gardy S.A.

Gegründet 1890 in Genf, produzierte Gardy als erster Schalter und Sicherungen aus Steingut und Porzellan[37]. Es entstehen Fabriken in Belgien und Frankreich[20, S. 114]. Bis in die 1930er Jahre im Bereich Hausinstallation sehr aktiv, konzentrierte sich Gardy nach dem Krieg zunehmend auf Schaltanlagen und -pulte. In den 1950er Jahren hat Gardy rund 15 % Marktanteil, lagert aber trotzdem die Produktion von Schaltern und Steckdosen an Feller aus[40, S. 42f]. Und obwohl noch 1955/56 ein neue Produktlinie aufgelegt wurde[25], gibt Gardy das Segment Schalter und Steckdosen bis Mitte der 1960er Jahre ganz auf. Die Firma wird 1995 von der ABB übernommen.

4.1.3. Electro-Mica AG

Die bis heute selbstständige Electro-Mica wurde 1931 in Zürich gegründet und verlegte den Firmensitz 1939 nach Mollis (GL). Bis ca. 1950 wurden neben Isolationsmaterialien nur Stecker und Zubehör hergestellt. 1951 erscheint die erste Anzeige für eine Erdungssteckdose in der Schweizerischen Bauzeitung[22], ab 1997/98 folgen auch Schalter. Sie ist eine der wenigen Schweizer Firmen, welche noch Duroplast-Teile für Schalter und Steckdosen fertigen. Auch können für praktisch alle Produkte seit den 1980er Jahren Ersatzteile bezogen werden[50].

4.1.4. Feller AG

Durch Erwerb der Elektrohandelsfirma Bollier in Horgen 1909 durch Adolf Feller, Sohn eines Bümplizer Landwirts, wurde die Feller AG gegründet. «Kriegsbedingte Importprobleme liessen F.[Feller Anfang des 1. Weltkriegs, Anm. d. Verf.] das Unternehmensschwergewicht auf die Eigenproduktion verlegen»[36]. 1992 wird das Unternehmen an den

[4] Teil der dt. Hager Group, Schweizer Hauptsitz in Emmenbrücke/LU

französischen Konzern Schneider-Electric verkauft, der die Marke „Feller“ beibehält. Die Feller AG war und ist eine der aktivsten Firmen der Branche und seit vielen Jahrzehnten Marktführer in der Schweiz[46],[40, S. 44]. Traditionell arbeitet Feller eng mit dem SEV zusammen. Seit 1930 werden praktisch alle neuen Produkte der SEV-Prüfung unterzogen (siehe Prüfzeichen Abschnitt 3.1 auf Seite 21) und umgekehrt «sehr oft Konstruktionen von Feller AG in der Schweiz zur Norm erklärt»[40, S. 41].

4.1.5. J.J. Buser AG

Über die Firma J. J. Buser AG ist nicht viel bekannt. 1913 erhält ein J. J. Buser in Basel an der Holeestrasse 149 ein Patent zur Herstellung eines harzähnlichen Produkts, 1915 wird eine elektrotechnische Fabrik und 1922 dann die J. J. Buser AG gegründet. «Im Jahr 1945 wurde die J. J. Buser AG an der Holeestrasse in Basel [durch Tschudin & Heid, s.o., Anm. d. Verf.] übernommen, die als Kunststoffpresswerk elektrotechnische Artikel herstellte»[29]. 1978 erfolgt die Löschung der AG aus dem Schweizer Handelsregister.

4.1.6. Levy fils AG

Levy fils wurde 1885 von den Brüdern Levy in Basel gegründet. Kurz vor dem ersten Weltkrieg bis 1923 wurde die Schweizer Vertretung der Philips-Lampen übernommen[16, S. 27] und in den Jahren 1914-1918 elektrotechnisches Installationsmaterial vertrieben. Ab 1932 wurde Installationsmaterial aus angekauften Einzelteilen montiert, 1935 folgte der erste selbstentwickelte Schalter[16]. Im März 2004 übernimmt ABB die Firma und schliesst sie im Mai desselben Jahres[35]. Die Elektromaterialproduktion wird übernommen. Als Markennamen für die ehemaligen Levy fils Produkte wurden Levy Classic, ABB Levy oder Sidus verwendet.

4.1.7. Tschudin & Heid AG

1892 in Waldenburg gegründet, fertigte das Unternehmen bis heute hochpräzise mechanische Teile. Die elektrotechnische Produktion begann erst 1945 mit der Übernahme der J.J. Buser AG in Basel[29, S. 973], zum Teil unter dem alten Markennamen „J.J. Buser“ und seit ca. 1969 auch unter „TH-contact“. Laut [51] wurde der Bereich Steckdosen und Stecker an Max Hauri AG veräussert, während Schalter 2002 an SAIA Burgess in Murten (FR) ging.

4.1.8. XAMAX AG

Xamax startet 1929 als Hersteller von Kondensatoren. Im Jahr 1941 erwirbt Emil Bührle die Firma und leitet sie mehrere Jahre selbst[44, S. 91]. 1945 kündigte Xamax Schalter, Sicherungen und anderes Installationsmaterial an. Im Schweizer Baukatalog 1947/48[19, S. 634] werden sie erstmals beworben. Bis 1974 kann Werbung für Xamax-Produkte gefunden werden. Ende der 1970er Jahre wird Xamax von der französischen Legrand-Gruppe übernommen[40, S. 44] und setzt das Geschäft unter dem Namen „Xamax-Legrand AG“ fort. Noch bis mindestens 1986 wird unter diesem Namen und ab ca. 1988 unter „Legrand“ mit der Produktpalette Namens „Xamax“ produziert. Seit 2001 gehört Legrand ebenfalls zu Schneider-Electric[49].

Abbildung 4.1.: Sonnerie-/Klingeltaster aus Holz mit Fassungsresten, Produktionsjahr ca. 1935, Durchmesser ca. 4 cm, St. Johanns-Vorstadt Basel, Foto: André Lison 2024

Abbildung 4.2.: Stecker, wahlweise in schwarzem Isoliermaterial (J) und weissem Galalith (W) erhältlich, links aus „Katalog Adolf Feller“ 1925, rechts Objekt aus dem Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024

4.2. Werkstoffe

4.2.1. Holz

Erste Schalteraufbauten auf Holz und spätere Holzgehäuse waren um die Wende zum 20. Jahrhundert wieder verschwunden, vielleicht mit Ausnahme der Birnenschalter. Holz, eigentlich ein sehr guter Isolator, wird bei Feuchtigkeitsaufnahme leitend, was es für Isolationszwecke disqualifiziert. Für Kleinspannung, zum Beispiel Sonnerie, findet Holz noch bis in die 1930er Jahre Verwendung (Abb. 4.1 auf der vorherigen Seite).

4.2.2. Galalith

Galalith wurde erstmals auf der Pariser Weltaustellung im Jahr 1900 vorgestellt[39, S. 235]. Es handelt sich um einen duroplastischen Kunststoff auf Basis von Milcheiweiss, welcher mit Formaldehyd gehärtet wird[41]. Vereinzelt tauchen bis in die 1940 Jahre Taster aus Galalith[47] im Kleinspannungsbereich, aber auch weisse Niederspannungs-Stecker[8, S. 37] (Abb. 4.2) oder -isolierrollen[10, S. 63] auf.

4.2.3. Fayence und Porzellan

Zu Anfang des 20. Jahrhunderts waren Fayence und Porzellan sehr beliebte Materialien. Häufig wurde das Porzellan für weisse und die Fayence für crême-farbene Dosen und Apparate verwendet, teilweise wurde aber auch Porzellan „crêmiert“[2,

Abbildung 4.3.: Glasierter Porzellandrehschalter mit aufwendiger Fassung und Knebel aus Hartgummi. Bollier/Feller ca. 1909, Feller-Archiv Horgen, Foto: André Lison 2024

S. 10]. Fayence wurde jedoch bald aufgegeben, sodass das Porzellan zum vorherrschenden Werkstoff bis zum Ende des 2. Weltkriegs wurde. Bis in die 1910er Jahre waren die Porzellanschalter und -steckdosen teils aufwendig bunt bemalt und vergoldet (Abb. 4.3), ab ca. 1920 verschwindet diese Gestaltung vollständig.

Blumenthal schreibt 1915: «Die Herstellung dieser elektrotechnischen Porzellanwaren verlangt weiter keine Kenntnis und Berücksichtigung der elektrischen Erscheinungen, denn der Isolationswert des Porzellans ist für niedrig gespannte Ströme so hoch, dass Prüfungen auf Durchschlagfestigkeit u.s.w. nicht erforderlich sind. Deshalb kann die Herstellung des Niederspannungsporzellans von jeder Porzellanfabrik nebenbei betrieben werden.»[5, S. 129]

Porzellan hat nicht nur hervorragende elektrische Eigenschaften, sondern ist auch sehr alterungsbeständig und widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit und chemische Einflüsse. Negativ zu vermerken ist das hohe Gewicht, die Bruchgefahr und die erforderliche Wandstärke, welche eine filigrane Formgebung verunmöglicht.

Gardy (Abschnitt 4.1.2 auf Seite 29) stellte Porzellanerzeugnisse bis 1930 im eigenen Werk her[14, S. 10]. Das Verzeichnis des Schweizerischen Wirtschaftsarchiv in Basel

listed für die Feller-Sammlung Korrespondenz mit einem Porzellanmaler namens Maierl[5].

4.2.4. Hartgummi

Bis zur Ablösung durch das Bakelit waren Griffe und Hebel der Schalter häufig aus Hartgummi gefertigt[42, S. 20]. In Abb. 4.3 auf der vorherigen Seite ist ein Schalter abgebildet, der mutmasslich einen Hartgummi-Drehgriff aufweist. Auch für Stecker, Gehäuse und Sockel wurde Hartgummi verwendet.

[5] https://ub.unibas.ch/digi/a125/verzeichnisse-privatarchive/BAU_5_000118521_cat.pdf

Abbildung 4.4.: Sockel („Gehäuse“) eines Drehschalters aus Steatit. Feller 7100 [11, S. 11], Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024

Hartgummi wurde 1849 von Nelson Goodyear erfunden[6]. Die Herstellung ähnelt der des Weichgummis: «Wird dem Kautschuk bei Heissvulkanisation Schwefel in grösseren Mengen, bis zu ca. 50 % zugesetzt und führt man das Brennen 6 bis 12 Stunden bei 150 bis 165° durch, so erhält man eine harte, fast unelastische Masse, genannt Ebonit oder Hartgummi»[1, S. 54].

4.2.5. Steatit

Um die Jahrhundertwende wurde ein neuer, keramischer Werkstoff geschaffen: das Steatit. Es ist ein silikatkeramischer Werkstoff auf Basis von Speckstein, dessen Anteil bei 70 bis 90 % liegt und Zusätze von Ton und Feldspat enthält[7]. Steatit wird gepresst, extrudiert, druck-gespritzt oder gegossen und anschliessend bei 1300 °C gebrannt[8].

«Der neue Werkstoff war dem Porzellan weit überlegen: Steatit verfügt über eine hohe mechanische Festigkeit und Temperaturbelastbarkeit sowie eine hervorragende Verschleiß- und Korrosionsfestigkeit. Keramikbauteile aus Steatit fanden als unverzichtbare Komponenten Eingang in Maschinen- und Anlagenteile und als Konstruktions- und Isolierteile in Büro-, Haushaltsgeräten und Fahrzeugen. Auch in Regel- und Messeinrichtungen für die Raumfahrt finden Bauteile aus Steatit Verwendung. Trotz des Vordringens von Kunststoffmaterialien in der Isoliertechnik hat Steatit als Werkstoff bis heute seinen Platz in der Elektrotechnik behauptet.»[9]

[6] http://files.gummiroost.ch/Datenblaetter.pdf
[7] http://www.keramverband.de/brevier_dt/3/4/1/3_4_1_2.htm
[8] https://rauschert.com/produktbereiche/technische-keramik/werkstoffe/steatit/
[9] https://www.vde.com/de/geschichte/karte/bayern/doebrich-heckel-steatitwerke

(a) 2-polige Unterputzsteckdose, Feller AG, Produtionszeitraum ca. 1933-1954, Feller-Archiv

(b) Massiver Drehschalter aus Gusseisen mit Schraubgewinde zum Anschluss von Stahlpanzerrohren, Hrst. unbekannt, evntl. Feller Nº 1211 ab 1927, Sammlung Iten

Abbildung 4.5.: Verwendung von Metall an Schaltern, Fotos: André Lison 2024

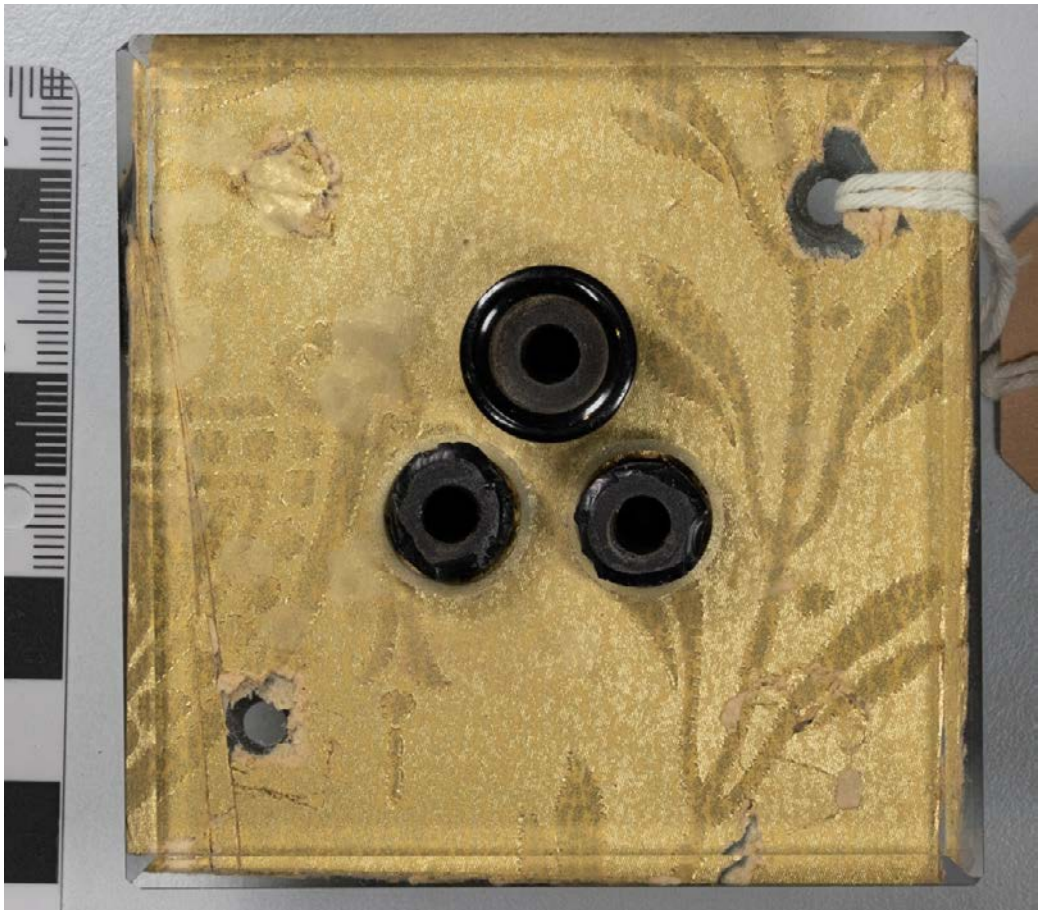


Abbildung 4.6.: 3-polige Unterputzsteckdose mit Glasplatte. Unter der Glasplatte sind noch Reste der Tapete zu finden. Hrst. Feller, ca. 1925-1933, Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024

Steatit kann glasiert werden, bleibt aber unansehnlich, so dass es hauptsächlich im Inneren von elektrotechnischen Geräten verwendet wurde, zum Beispiel als Material für Sockel (Abb. 4.4 auf Seite 34).

Ab 1934 nahm eine Steatit-Fabrik in Zürich-Altstetten die Produktion auf, die Isola-Werke in Breitenbach folgten Ende 1940[15, S. 51f].

4.2.6. Diverse Metalle

Metallische Werkstoffe wurden nicht nur als Leitermaterial, sondern auch zur Gehäusefertigung (auch „Abdeckung“) und für sogenannte „Unterputz-Platten“ eingesetzt (Abb. 4.5 auf der vorherigen Seite).

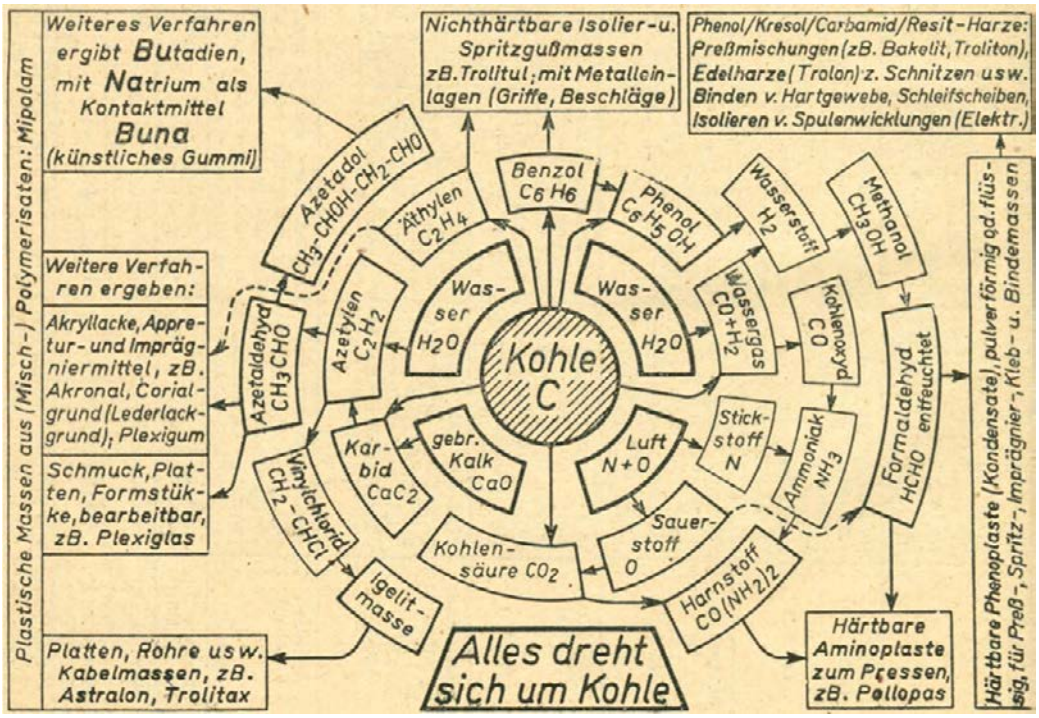


Abbildung 4.7.: Übersicht Kunststoffe, „Tabellenbuch für die Elektrotechnik“ 1949[21]

4.2.7. Glas

Der Einsatz von Glas beschränkte sich auf Unterputzplatten. Mit ihrer Hilfe konnten Schalter und Steckdosen sehr dezent in die Wand integriert werden. Dafür wurde das Gerät ohne Platte eingebaut, anschliessend überstrichen oder übertapeziert und erst danach mit der Glasplatte abgedeckt (Abb. 4.6).

4.2.8. Duroplaste

Die Anfang des 20. Jahrhunderts erfundenen Duroplaste (meist Phenoplaste ab 1910, bekannt als Bakelit aber auch Aminoplaste ab 1921)[24], sind gute Isolatoren und fanden daher auch Verwendung in der Elektrotechnik (siehe Abb. 4.8 auf der nächsten Seite). Aufgrund ihres Formgebungsverfahrens wurden sie meist als „Isolierpresstoff“ bezeichnet, seltener als „Isoliermaterial“. «Ein bedeutendes Ereignis war 1927 die Einführung der Schnellpressmassen, welche erst die bisher üblichen Hartgummi- und Asphaltpressmassen zu verdrängen vermochten und die Begriffe Kunstharz und Kunststoff richtig populär machten»[24, S. 296].

Phenoplaste wurde zu braunen bis schwarzen, Aminoplaste zu weissen Geräten verarbeitet. Dass Aminoplaste kriechstromfester sind als Phenoplaste, dürfte in der Hausinstallation bei der Auswahl nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben.

Anfang der 1930er Jahre nimmt die Verwendung des Bakelits und verwandter Stoffe

Abbildung 4.8.: Drehschalter aus Duroplast, Hrst. Feller, ab 1946, Foto: André Lison 2024

zu[13]. Sie verdrängen das Porzellan aber erst nach dem Krieg fast vollständig. Mindestens bis in die 1980er Jahre sind sie ein vorherrschendes Material für Schalter und Steckdosen. Electro-Mica und Hager stellen heute noch Apparate aus Duroplaste her. Hager schreibt[10], dass ihre Produkte aus dem Aminoplaste „Alqemite“ der Firma „Bi-Qem“ gefertigt werden[11].

4.2.9. Thermoplaste

In Schaltern und Steckdosen hielt Thermoplaste[12] nur langsam Einzug. Dies soll am Beispiel Feller illustriert werden. 1952 waren die Briden in den Isolierstoff-Stecker die einzigen Thermoplastteile, 1964 folgten die ersten Einsatzkästen aus Thermoplast. Erst im Katalog von 1975 tauchen Schalter mit Thermoplasteinsatz auf (Knopf und möglicherweise auch der Einsatz für die Mechanik und Befestigung in der Wand aus Thermoplast), weiterhin jedoch mit Abdeckplatten aus Isolierpresstoff. Nur Produktneuheiten, wie Tisch-Dimmer und die FLF[13]- und FFF-Produktgruppen (Abb. 4.9), bestanden vollständig aus Thermoplast.

Ganz unproblematisch war der Wechsel auf Thermoplaste jedoch nicht. So berich-

[10] https://hager.com/de-ch/ueber-uns/nachhaltigkeit-hagerch
[11] https://biqem.com/amino-molding-compound/
[12] Die Geschichte der Thermoplaste wird ausführlicher im Kapitel 5 „Leitungen und Kabel“ ab S. 59 behandelt.
[13] Abschnitt 4.5.4 auf Seite 51

Abbildung 4.9.: Feller Funktion, Form, Farbe (FFF) Programm-Neuheit, Feller-Katalog 1975[32], Feller-Archiv

tet die NZZ [38], dass sich das Thermoplast der ersten Druckschalter von Feller mit der Zeit verformte. Hartmann[50] erinnert sich, dass die ersten Thermoplastoberflächen von Feller vergleichsweise rauh waren und dadurch schnell verschmutzten.

Dies provozierte häufige Reinigungen, was das Material stark belastete. Dabei verwendete, ungeeignete Reinigungszusätze haben die Degradation des Thermoplast weiter beschleunigt.

Welches Thermoplast für Schalter und Steckdosen verwendet wurde, ist nur teilweise bekannt. Legrand (siehe Abschnitt 4.1.8 auf Seite 31) berichtet 1988 vom neueingeführten, glasfaserverstärkten Polyamid[34], das offensichtlich für die ganze Kollektion Verwendung fand. Bei Feller waren die Einsätze, d.h. der Teil, welcher die Mechanik und die Kontakte enthält, in der Anfangszeit der Thermoplastapparate aus ultraschallverschweisstem Polycarbonat gefertigt. Heute wird bei Feller hauptsächlich Polycarbonat und Acrylnitril-Styrol-Acrylat (PC/ASA), Polyamid, Polycarbonat und Polybutylenterephthalat (PBT) (ein Polyester) im Spritzguss verarbeitet[52].

4.2.10. Vergleich Duro- und Thermoplaste

Neben Hager ist laut eigener Aussage Electro-Mica die letzte noch Duroplast-Apparate produzierende Schweizer Firma. Der ehemalige Geschäftsführer Martin Hamann stand freundlicherweise für ein Telefoninterview zur Verfügung[50]. Nach den Vor- und Nachteilen von Duroplasten gegenüber Thermoplasten im Apparatebau befragt, wurden verschiedene Aspekte genannt. So sind Duropolaste rund 3 mal günstiger als Thermoplaste, vertragen höhere Temperaturen als diese und sind beständiger gegen viele Chemikalien. Auch sind sie bedeutend alterungsstabiler, vor allem im Aussenbereich. Thermoplastabdeckungen für den Aussbereich werden mit einer schützenden Membran geliefert, welche nach 10-15 Jahren spröde wird.

Hager vermerkt noch eine weitere, positive Eigenschaft des Duroplast: es ist «aufgrund seiner speziellen chemischen Eigenschaften nicht für den Abbau zu Mikroplastik anfällig[14].»

Nachteilig wirkt sich bei Duroplasten ihre Steifigkeit aus - Schnappverschlüsse sind - im Gegensatz zu Thermoplasten - mit ihnen nicht möglich[50].

4.3. Betätigungskonzepte Schalter

In der Hausinstallation werden folgende Bedienkonzepte bei Lichtschaltern angewendet (siehe Abb. 4.10 auf Seite 43):

1. *Dreh-/Knebelschalter*: Eine der ältesten Bauformen, die heute nur noch selten verwendet wird. Die Literatur ist sich einig, dass dieser Typ auf Edison zurückgeht, welcher annahm, dass die Assoziation mit einem Gashahn «a good selling point»[26, S. 123f] wäre. Feller stellt seit 1964 nur noch Sonderbauformen (z.B. spritzwassergeschützte Schalter) als Drehschalter her.

[14] https://hager.com/de-ch/ueber-uns/nachhaltigkeit-hagerch

2. *Kipp-/Kipphebel-/Tumblerschalter*: Erste Kippschalter stammen aus dem 19. Jahrhundert: «The tumbler switch is one of the most characteristic British contributions to installation practice. Coming into regular use about 1890, it rapidly superseded all other movements in its homeland...»[15][26, S. 132] Gardy hat sie spätestens ca. 1920 in seinem Katalog[6, S. 22], Feller folgt 1925[8, S. 29]. Die letzte Erwähnung bei Schweizer Herstellern konnte im Feller-Katalog von 1985[33] gefunden werden.

3. *Birnenschalter*: Der Birnenschalter wurde an einem flexiblen Schnurleiter fest aufgehängt. Die häufig aus Holz[16], aber auch aus Galalith, Porzellan, Hartgummi oder Isolierpresstoff gefertigten Schalter wurden 1927 zum Schalten von Starkstrom verboten[9, S. 27, §49], waren als Birnentaster im Kleinspannungsbereich aber noch bis in die 1930er Jahre vertreten[11, S. 8/4].

4. *Zugschalter*: Durch Ziehen an einer Schnur, welche direkt aus dem Gehäuse kam oder an einem Arm („Exzenter“) befestigte war, konnte der Schalter betätigt werden. Diese Bauform ist häufig über Betten zu finden. Erstmals wird ein Zugschalter in einem Feller-Katalog im Jahr 1914 aufgeführt[4, S. 9]. Zugschalter sind noch 1985 Teil des Programms[33, S. 31].

5. *Wipp(en)- oder Balkenschalter*: Seit 1946 gibt es diese Abwandlung des Kippschalters. Den Anfang machte Feller, anderen Hersteller folgten schnell. Die Schalter wurden bis Anfang der 1980er Jahre[33] produziert, dann aber vom Druckknopfschalter (siehe Punkt 6) abgelöst.

6. *Druckknopfschalter* Gardy und Feller bringen beide im Jahr 1933 Druckschalter auf den Markt, wenn auch in unterschiedlichen Ausführungen[11, S. 3/25][12, S. 63]. Druckschalter sind bis heute sehr verbreitet, vor allem in der Schweiz[46].

7. *(Druck-)Taster*: Der Drucktaster, manchmal auch „Druckkontakt“, ist kein Schalter im engeren Sinne. Ein Taster ist nur so lange geschlossen, wie er betätigt wird, im Gegensatz zum Schalter, der seinen Zustand nach dem Loslassen behält. Deswegen schaltet der Taster meist eine Relais oder startet eine Zeitsteuerung, zum Beispiel für das Treppenhauslicht. Taster gibt es zu allen Zeiten der Hausinstallation.

8. *Flächenschalter*: Vergleichbar mit dem Wippschalter (s. Punkt 5) nur mit grösserer Handauflage. Der Flächenschalter hat in der Schweiz nur eine geringe Verbreitung. Erste Modelle werden Mitte der 1980er Jahre produziert.

9. *Dimmer*: Den ersten Tischdimmer bringt Feller 1972 heraus[30]. Wahrscheinlich war es aber Xamax 1973, die den ersten Einbaudimmer in der Schweiz auf

[15] Der Kippschalter ist eine der charakteristischsten britischen Beiträge zur Hausinstallation. Um 1890 in den allgemeinen Gebrauch gelangend, hat er schnell alle anderen Bedienkonzepte in seinem Heimatland ersetzt...

[16] Bei Feller i.d.R. Nussbaum, Gardy offeriert sie in schwarz, grün marmoriert, Eiche, Mahagoni oder Walnuss[6, S. 27]

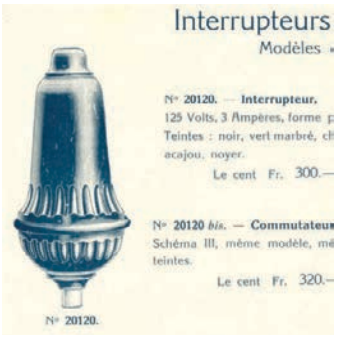
den Markt brachten[31, S. 17], Feller folgt 1975[32, S. 2/1a].

10. *Berührungssensor*: Der Berührungssensor wird 1975 durch Feller eingeführt[32].
11. *Schlüsselschalter*: Dieser Schalter kann nur mit dem passenden Schlüssel betätigt werden. Erstmals kann er in der Schweiz im Feller-Katalog von 1933 nachgewiesen werden[11].

Viele dieser Bauarten wurden für verschiedene Umgebungsbedingungen hergestellt. Zu nennen wären spritzwasser-, staub- und explosionsgeschützte Ausführungen, sowie robuste Ausführungen für Industrie und Bergbau. Abb. 4.5b auf Seite 35 zeigt einen Schalter mit Gussgehäuse und Schraubanschluss für Stahlpanzerrohre.

(a) Drehschalter

(b) Kippschalter



(c) Birnenschalter Gardy[6]

(d) Zugschalter

(e) Wippenschalter

(f) Druckschalter Feller

(g) Druckschalter Gardy

(h) Taster

(i) Flächenschalter/Wippe[48]

(j) Berührungssensor

(k) Feller Dimmereinsatz, ca. 1975

(l) Schlüsselschalter Feller[11]

Abbildung 4.10.: Verschiedene Bedienkonzepte, Fotos soweit nicht anders vermerkt: André Lison 2024

Abbildung 4.11.: Drehschalter Unteransicht, ca. 1915, Foto: André Lison 2024

4.3.1. Mechanik

Zu den alltäglichsten Handlungen unserer Zeit gehört das Betätigen eines Lichtschalters. Das Schliessen und vor allem das Trennen eine Stromkreises ist jedoch nicht so trivial, wie es scheint. Das Schliessen und Öffnen der Kontakte erzeugt bei Niederspannung einen Schaltfunken. Werden die Kontakte schnell und weit genug auseinander bewegt, so verlischt dieser kleine Lichtbogen nach kurzer Zeit wieder[17,18]. Die ersten Schalter verfügten noch über eine direkte Kopplung des Griffes mit den beweglichen Kontakten. Dadurch war es möglich, die Kontakte auch in Zwischenstellungen zu bringen, die Lichtbögen erzeugten. Die hohen Temperaturen eines nicht verlöschenden, stehenden Lichtbogens beschädigen die Kontakte und stellen eine Brandgefahr für die Umgebung dar.

Dieses Problems war man sich schon früh bewusst. Bereits die HV von 1909 schreiben daher vor: «Es dürfen nur solche Schalter verwendet werden, deren Kontaktvorrichtung nicht in Zwischenstellungen stehen bleiben kann (Momentschalter)»[3, S. 5].

Allerdings waren die Mechanismen, welche Zwischenstellungen verhindern sollten, häufig noch sehr unzulänglich. Beispielhaft soll dies an einem Drehschalter aus den 1910er Jahren gezeigt werden. Auf Abb. 4.11 ist die Unteransicht zu erkennen. Die parallelen Federstähle sollen den abgerundeten, drehbaren Würfel in der Mitte in die erlaubten Positionen drücken. Mit geringem Kraftaufwand und wenig motori-

[17] Mehr zum Thema „Lichtbögen“ ist in Abschnitt 10.2.2 und Kapitel 12 auf Seite 134 und auf Seite 159 zu finden

[18] Bei Wechselstrom unterstützt zudem der Nulldurchgang der Strom-Spannungskennlinie das Verlöschen

Abbildung 4.12.: Geöffneter Kippschalter als Momentschalter in den zwei möglichen Stellungen (links offen, rechts geschlossen), whs. englisches oder amerikanisches Fabrikat aus Anfang des 20. Jh., Durchmesser Sockel ∼7 cm, Villa Langmatt Baden, Foto: André Lison 2024

schem Geschick sind jedoch anderen Stellungen problemlos möglich. Eventuell hat der Mechanismus ursprünglich auch besser funktioniert. Wahrscheinlich wurden durch den Gebrauch die Ecken des weichen Messingwürfels an den harten Federstählen abgeschliffen.

Ziel der weiteren Entwicklung war die vollständige Entkopplung. Ab einem gewissen Druck- oder Drehpunkt sollte die Schaltkinematik selbsttätig und dann unbeeinflussbar den Zustand wechseln. Besser gelöst war diese Anforderung bereits Anfang des 20. Jahrhunderts in englischen und amerikanischen Produkten[1, S. 207f]. Abb. 4.12 zeigt einen Kippschalter, dessen Griff im Inneren auf eine Wippe drückt, die durch Federkraft ab einem Druckpunkt kippt.

4.4. Steckdosen

In den Anfängen der Elektrifizierung wurden «fast ausschliesslich Lampenfassungen installiert, da der Grossteil der privaten Kundinnen und Kunden Elektriztät nur für die Beleuchtung verwendete. [...] bis in die 1920er-Jahre [waren] Steckdosen allerdings noch eine Seltenheit im Haushalt.»[45, S. 30]

Sollte doch einmal ein mobiles Elektrogerät angeschlossen werden - zum Beispiel ein Bügeleisen - wurde eine Fassungssteckdose in eine Lampenfassung geschraubt. Da Elektrizitätswerke zwischen Strom für Beleuchtungszwecke und „Kraftstrom“ unterschieden und den letzteren auch höher bepreisten, hatten die Nutzer zusätzliche einen finanziellen Vorteil gegenüber einer festinstallierten Steckdose. Aus diesem Grund wurde die Fassungssteckdose auch „Räuber“ oder „Stromdieb“ genannt[45, S. 30]. Abb. 4.13 auf der nächsten Seite zeigt ein Modell von Gardy. Fas-

Abbildung 4.13.: Stromdieb aus Porzellan für E27-Gewinde, Hersteller Gardy, Foto: André Lison 2024

sungssteckdosen blieben noch bis mindestens 1954 zulässig[17, S. 34].

Die Schwierigkeit bei der Konstruktion von Steckdosen - technisch wird das System aus Steckdose und Stecker meist als „Steckkontakte“ bezeichnet - bestand darin, die erforderliche Energie ohne zu starke Erwärmung oder zu grosse Übergangswiderstände zu übertragen und gleichzeitig einen Berührungsschutz zu bieten, der - sowohl im aus-, als auch im eingesteckten Zustand - den Kontakt von Personen und Tieren mit den stromführenden Leitern zuverlässig verhindert.

4.4.1. Bauformen Steckdosen

Es entstand über die Jahre eine sehr grosse Vielfalt an Steckmechanismen, Kontaktformen und Kragen. Diese äusserst interessante Historie hat jedoch heutzutage wenig praktische Relevanz. Im Unterschied zu den Lichtschaltern ist die Steckdose erstens sich stark verändernden Normen unterworfen und zweitens benötigt sie ein passendes, d.h. kompatibles Gegenstück in Form des Steckers. Heutige Endgeräte werden mit Steckern geliefert, welche meist nicht mehr in die historischen Bauformen passen. Dies hat schon in der Vergangenheit dazu geführt, dass abweichende Steckdosen mit wenigen Ausnahmen verschwunden sind oder zwar belassen, aber ausser Betrieb genommen wurden. Abb. 4.14 gibt einen Eindruck von der Vielfalt der „Haushaltssteckdosen“ Anfang der 1930er Jahre.

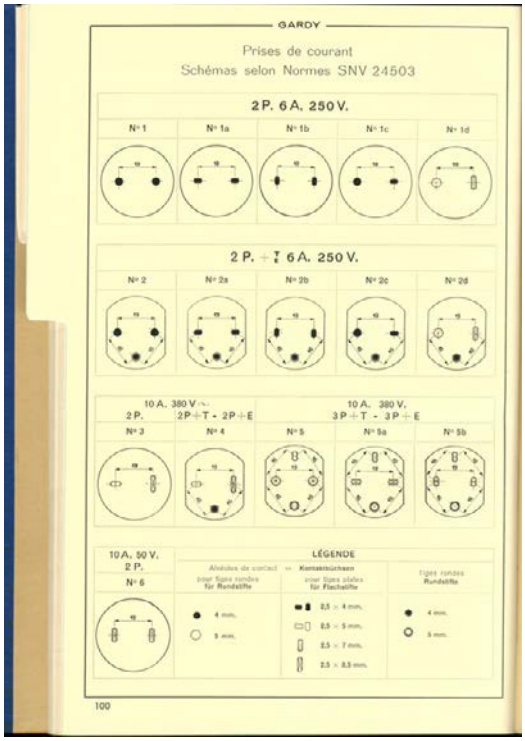


Abbildung 4.14.: Steckkontaktbilder: Übersicht über die in SNV 24503 definierten Kontaktformen für bis zu 250 V, „Gardy, Catalogue Nº 160“ 1933 [12]

Abbildung 4.16.: Type 26 „Eurostecker“ ab 1972, Foto: André Lison

Der Rückbau und Austausch der historischen Steckdosen hat dazu geführt, dass bis heute fast nur Steckdosen vom Typ Nº 1 und den späteren Typen 12 und 13 „überlebt“ haben, weil sie entweder der heutigen Norm entsprechen (Typ 13), elektrisch und mechanisch kompatibel sind (Typ 12) oder 2-polige Eurostecker (Abb. 4.16) und Stecker vom Typ 11 aufnehmen können (Typ 1). Aus diesem Grund sind Steckdosen bei der Datierung meist deutlich weniger aussagekräftigt, als die restliche Installation und folglich werden sie in diesem Dokument vergleichsweise oberflächlich behandelt. Ein zweiter Grund macht sie für eine Datierung weniger wertvoll: 1959 erlässt der SEV die Steckdosennorm „1011.1959“[27]. Diese regelt nicht nur die Passform, sondern auch das äussere Erscheinungsbild derart detailliert, dass es selbst Brancheninternen kaum möglich ist, Steckdosen verschiedener Hersteller auseinanderzuhalten, ohne sie zu öffnen und im Inneren nach dem obligatorischen Herstellerzeichen zu suchen[50] (Abb. 4.17 auf der nächsten Seite, für Herstellerkennzeichen s. Abschnitt 4.6 auf Seite 53). Die Norm wird bis 1976 nur in Details angepasst und um neue Steckerformen erweitert (u.a. Typ 26 „Eurostecker“ Abb. 4.16), bleibt aber prinzipiell bis heute gültig. Laut Hamann[50] wird sie jedoch in Bezug auf die

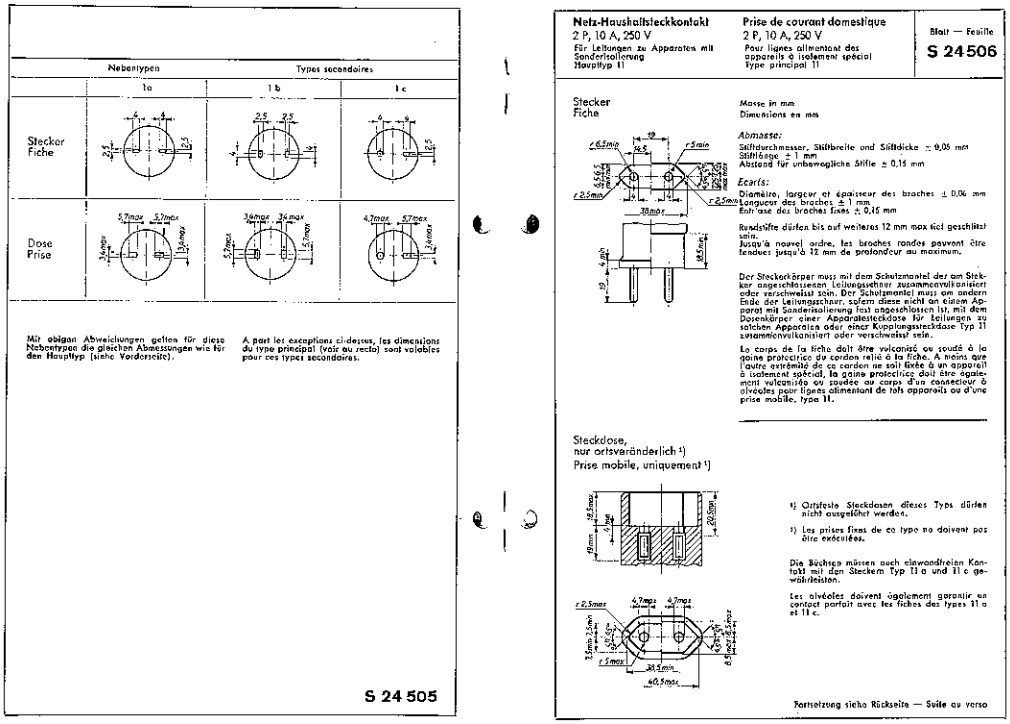


Abbildung 4.15.: Auszug aus Norm SEV 1011.1959[27]

Abbildung 4.17.: Steckdosen der Norm 1011.1959, links Feller, rechts Xamax, Foto: André Lison 2024

äussere Steckdosenform seit 30 Jahren nicht mehr angewendet.

Die Materialgeschichte verläuft bei Steckdosen analog der für Schalter, weshalb gerne auf Abschnitt 4.2 auf Seite 32 verwiesen wird.

4.4.2. Schutzkontakt

Der Schutzleiter soll verhindern, dass im Fehlerfall das leitende Gehäuse eines angeschlossenen Geräts unter Spannung steht (siehe dazu auch Abschnitt 14.1.1 auf Seite 176). Damit der Schutzleiter mit dem Gerät verbunden werden kann, benötigen Steckdose und Stecker einen dritten Kontakt, der historisch mit „E“ für „Erdkontakt“ oder „Erdleiter“ bezeichnet wird.

Spätestens seit 1914 hat Gardy 3-polige Steckdosen im Programm. Allerdings ist dies wohl noch keine 2P+E-Steckdose, sondern für 3-phasigen Drehstrom entworfen. Seit 1921 bietet Feller Steckdosen mit 3 oder 4 Kontakten in begrenzter Auswahl an[7, S. 32], sehr wahrscheinlich ebenfalls für Drehstrom und nicht für einphasigen Strom mit Erdkontakt.

In seinem Text zu den Ursprüngen des deutschen Schuko-Systems („Schutzkontakt“) weist Hahn darauf hin, dass vor 1930 geerdete Steckdosen in Privathaushalten Seltenheit hatten[43, S. 1]. Es darf angenommen werden, dass dies ähnlich auch für die Schweiz gilt. Bis in die 1970er Jahre werden 2-polige Steckdosen verkauft, allerdings nicht mehr alle Typen. 1964 sind nur noch Rasiersteckdosen (mit Trenntrafo und/oder 0.5 A-Sicherung) und der Typ 1d (siehe Abb. 4.14 auf Seite 47) verfügbar. Als einzige 2-polige Niederspannungssteckdose wird im Katalog von 1985 nur noch der Typ 1d aufgeführt, welcher mit heutigen Systemen inkompatibel ist[33, S. 34].

Die HV verbieten ab 1960 den Einbau von Netzsteckdosen ohne Schutzkontakt mit Ausnahme vorgängig erwähnter Rasiersteckdosen[28, S. 104]. Häufig wurden die dann einzig zugelassenen 2P+E-Steckdosen noch zweiadrig mit Nullung nach Schema III angeschlossen (siehe Abschnitt 14.1.1 auf Seite 176).

4.5. Einbau

Es lassen sich fünf grundlegende Arten der Montage auf der Wand oder anderen Architekturelementen unterscheiden.

4.5.1. Unterputz

Der Begriff „Unterputz“ fasst alle Montagearten zusammen, bei denen Apparate und Leitungen verdeckt unter der Architekturoberfläche oder mehr oder weniger bündig abschliessend angebracht werden (Abb. 4.18 auf der nächsten Seite). Diese Methode

Abbildung 4.18.: Unterputz-Kipphebelschalter, Villa Langmatt, Baden, Foto: André Lison 2024

wird schon im 19. Jh. angewandt. Sie ist seit dem Beginn des 20. Jh. vor allem in Neubauten die vorherrschende Bauart, wird aber auch in Bestandsbauten nachträglich eingesetzt. Das Anbringen der notwendigen Aussparungen ist mit meist gröberen Arbeiten und Substanzverlust verbunden (Stichwort „Schlitzen“).

4.5.2. Aufputz

Ebenfalls heute noch verwendet, stellt die Aufputzmontage das Gegenteil der Unterputzmontage dar. Eine Kombination aus beiden, meist Unterputz-Leitungsführung in Rohren und Aufputz-Apparate, ist ebenfalls häufig vorzufinden (Abb. 4.19).

Abbildung 4.19.: Aufputz-Kipphebelschalter und -taster mit Unterputz-Leitungsführung, Villa Langmatt, Baden, Foto: André Lison 2024

4.5.3. Aufputz mit Sockel

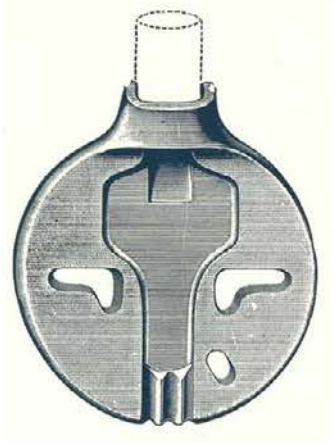
In den 1900er bis 1950er Jahren werden Aufputzapparate häufig mit einem zusätzlichen Sockel versehen, auch „Unterlagscheibe“ genannt (Abb. 4.20 auf der nächsten Seite). Dies soll unter anderem die Verbindung mit den rohrgeführten Leitungen erleichtern. Sie wurden aus Fayence, Porzellan, Isoliermaterial oder Holz gefertigt.

4.5.4. Halbunterputz

Bei der „Halbunterputz“-Montage (Abb. 4.21 auf der nächsten Seite) werden die Apparate nur partiell in der Wand versenkt. Bisher konnte diese Montageart nur bei Gardy in den 1930er bis Anfang der 1940er Jahre dokumentiert werden[12, S. 72].

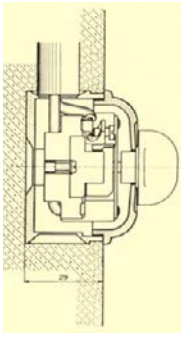
(a) Zwei Kippschalter auf gemeinsamem Sockel, Basel St. Johanns-Vorstadt, Foto: André Lison 2024

(b) Schalter auf Sockel mit Rohreinführung, Castello Trefogli, Foto: André Lison 2024



(c) Zeichnung Sockel/Unterlagscheibe, „Katalog Adolf Feller, Nachfolger David Bollier“ 1909 [2]

Abbildung 4.20.: Montage auf Sockel/Unterlagscheibe



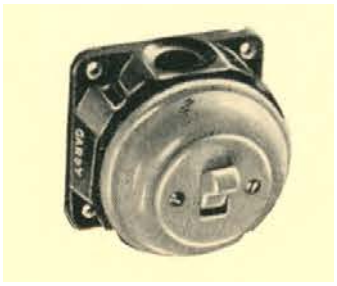


Abbildung 4.21.: Gardy Halbunterputzmontage, „Gardy, Catalogue N^{o} 160“ 1933

(a) Flansch mit Federbefestigung (FLF)-Apparate in Türzarge, Theater Winterthur (Bj. 1976-79)

(b) FLF-Apparate in Tischplatte, Theater Winterthur (Bj. 1976-79)

(c) FLF-Steckdose in Sockelleiste neben historischer Steckdose (ca. 1907), Villa Langmatt, Baden

Abbildung 4.22.: FLF-Apparate, Fotos: André Lison 2024

4.5.5. Flansch mit Federbefestigung (FLF)

Im Jahr 1975 bringt Feller das FLF-Programm auf den Markt. Die sehr platzsparenden Apparate können in Türzargen, Tischplatten usw. montiert werden (Abb. 4.22).

4.6. Hersteller-Identifikation

Das Wissen um den Hersteller eines Apparats kann wichtige Informationen für seine Datierung liefern. Bis zum ersten Weltkrieg enthalten Steckdosen und Schalter jedoch keine Kennung ausser der vorgesehenen Spannung und Maximalstromstärke. Nachdem die HV des SEV ab 1927 begannen, Normalien für diverses Installationsmaterial vorzuschreiben, wurde auch eine Herstellerkennung („Fabrikmarke“) notwendig (siehe Abschnitt 3.1 auf Seite 23). Diese Fabrikmarke konnte jedoch bei einigen Geräten, wie zum Beispiel Unterputz-Apparaten mit Abdeckplatten erst nach dem Entfernen der Platte sichtbar werden.

Sofern es dafür keine Ausnahmen gab (s.o.), sind viele Feller-Apparate seit Mitte der

(a) Feller-Drehknopf mit Feller-Stern, Feller-Archiv

(b) Gardy-Porzellansteckdose mit deutlichem Schriftzug. Castello Trefogli

(c) Innenseite Steckdosendeckels mit Electro-Mica Zeichen unten links, Castello Trefolgi

(d) Hersteller Kennung „Voigt & Haeffner (D)“ in einem Tasterdeckel. Ehem. Atelier Surbek, Bern

(e) Hersteller Kennung „Xamax“ auf Steatit-Sockel eines Wippschalters. Castello Trefogli

(f) Gardy-„A“ auf Steatit-Sockel eines Kippschalters. Castello Trefogli

Abbildung 4.23.: Hersteller-Identifikation, Fotos: André Lison 2022-2024

1920er Jahren mit einem Feller-Stern gekennzeichnet, der ohne Demontage sichtbar ist. Appareillage Gardy kennzeichnet seine Geräte mit einem grosszügigen Gardy-Schriftzug auf der Aussenseite, Levy Fils ebenfalls, aber deutlich dezenter. Für alle anderen Geräte und Hersteller gilt, dass die Fabrikmarke im Inneren vermerkt ist. Bei Isolierpresstoff-Gehäusen enthält häufig die Abdeckung das Herstellerlogo - zusätzlich zum Sockel (Abb. 4.23 auf der vorherigen Seite).

Literatur

[1] C. Heinke, *Handbuch der Elektrotechnik* (Handbuch der Elektrotechnik v. 6, no. 1). S. Hirzel, 1904. Adresse: https://books.google.ch/books?id=t8pLAAAAYAAJ (siehe S. 35, 45).

[2] Adolf Feller AG, *Katalog Adolf Feller, Nachfolger David Bollier, Fabrik elektrischer Apparate*, ger. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1909 (siehe S. 32, 52).

[3] *Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, 1909 (siehe S. 44).

[4] Adolf Feller, *Katalog Adolf Feller, vorm. David Bollier, Nachtragsliste, Fabrik elektrischer Apparate*, de. Horgen (Schweiz): Adolf Feller Horgen, 1914 (siehe S. 41).

[5] D. Blumenthal, *Die Bedeutung der deutschen elektrotechnischen Spezialfabriken für Starkstrom-Erzeugnisse und ihre Stellung in der Elektro-Industrie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1915 (siehe S. 33).

[6] *Gardy, Catalogue Nº 40*. Genève: Appareillage Gardy S.A., ca. 1920 (siehe S. 41, 43).

[7] Adolf Feller AG, *Katalog Adolf Feller, Fabrik elektrischer Apparate*, de. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1921 (siehe S. 49).

[8] Adolf Feller AG, *Katalog Adolf Feller, Fabrik elektrischer Apparate*, fr. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1925 (siehe S. 32, 41).

[9] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, II. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1928 (siehe S. 41).

[10] *Illustrierter Radiokatalog, mit Schaltungen und Phono-Abteilung*. 1930. Adresse: https://www.gfgf.org/files/digenio-theme/content/Katalog/1930-31%20Radiokatalog%20min.pdf (siehe S. 32).

[11] Adolf Feller AG, *Feller Katalog*, ger. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1933 (siehe S. 34, 41, 42, 43).

[12] *Gardy, Catalogue Nº 160*. Genf: Appareillage Gardy S.A., 1933 (siehe S. 41, 47, 51).

[13] K. T., «Die Bedeutung des Isolierpanzergehäuses bei Installationsgeräten,» *Schweizer Hotel-Revue*, 27. Apr. 1933 (siehe S. 38).

[14] *1890-1940 Appareillage Gardy S. A. Fünfzigjähriges Jubiläum*. Genf, 1940 (siehe S. 33).

[15] E. Reinhart, Hrsg., *40 Jahre Schweizerische Isolawerke Breitenbach*. Breitenbach: Schweizerische Isolawerke, 1943 (siehe S. 36).

[16] Levy Fils, *60 Jahre Levy fils Basel : [1885-1945]*, ger. Basel: Basler Druck- und Verlagsanstalt, 1945 (siehe S. 30).

[17] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen 1946, mit*

Aenderungen und Ergänzungen seit 1937, VI - Publ. Nr. 152. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1946 (siehe S. 46).

[18] W. Wyssling, *Die Entwicklung der Schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren*. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, 1946 (siehe S. 28).

[19] A. Roth, *Schweizer Baukatalog 1947/48*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1948 (siehe S. 31).

[20] *Die Elektrizität im Haushalt : eine aufklärende Publikation über die Elektrizität sowie die elektrischen Apparate und Geräte für den Haushalt*, ger. Zürich: Verlag Heinzmann, 1949 (siehe S. 29).

[21] W. Friedrich, C. Schaub und G. Voltz, *Tabellenbuch für die Elektrotechnik*. Leipzig: Fachbuchverlag GmbH, 1949 (siehe S. 37).

[22] «Werbung,» *Schweizerische Bauzeitung*, Nr. 45, 10. Nov. 1951. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1951:69::3218 (siehe S. 29).

[23] «HR-Eintragung Hans Amacher & Sohn,» *Schweizerisches Handelsamtsblatt*, 16. Aug. 1954 (siehe S. 29).

[24] G. Suhner, «Stand der Entwicklung und Verarbeitung von Kunststoffen,» *Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe*, Heft 8 1954 (siehe S. 37).

[25] A. Roth, *Schweizer Baukatalog 1955/56*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1955 (siehe S. 29).

[26] J. Mellanby, *The history of electric wiring*. London: Macdonald & Co. Ltd., 1957. Adresse: https://books.google.ch/books?id=1PVIAQAAIAAJ (siehe S. 27, 40, 41).

[27] *Vorschriften für Netzsteckkontakte*, Norm, 1959 (siehe S. 47, 48).

[28] *Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Diese Vorschriften treten am 1. Juli 1961 in Kraft*, I. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1. Sep. 1960 (siehe S. 49).

[29] «Verschiedenes — Divers, 75 Jahre Tschudin & Heid AG,» *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins*, 21 14. Okt. 1967 (siehe S. 30).

[30] «Elektronischer Lichtregler,» *Das Werk : Architektur und Kunst*, Nov. 1972 (siehe S. 41).

[31] «Werbung Xamax: "Jederzeit Licht nach Mass",» *Bauen + Wohnen*, Sep. 1973. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=buw-001:1973:27::956 (siehe S. 42).

[32] Adolf Feller AG, *Feller Katalog*, ger. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1975 (siehe S. 39, 42).

[33] Adolf Feller AG, *Feller Katalog*, ger. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1985 (siehe S. 41, 49).

[34] «Anzeige Installationsapparate,» de, *Bulletin des SEV*, Nr. Jahresheft, 1988. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sev-002:1988:79::2502 (siehe S. 40).

[35] «ABB schliesst Levy Fils in Basel,» ger, *Basler Zeitung*, 26. Mai 2004 (siehe S. 30).
[36] T. Fuchs. «Feller, Adolf,» hls-dhs-dss.ch. (23. Nov. 2004), Adresse: https://hls-dhs-dss.ch/articles/031337/2004-11-23/ (besucht am 04. 12. 2024) (siehe S. 29).
[37] J. de Senarclens und B. Erni. «Gardy, Auguste,» hls-dhs-dss.ch. (17. Aug. 2005), Adresse: https://hls-dhs-dss.ch/articles/032445/2005-08-17/ (besucht am 27. 11. 2023) (siehe S. 29).
[38] B. Triebe, «Evolution am Beispiel des Lichtschalters,» de, *Neue Zürcher Zeitung*, NZZ executive, 23. Aug. 2009 (siehe S. 39).
[39] E. Martuscelli, *The chemistry of degradation and conservation of plastic artefacts of pre-synthetic "era" based on natural or artificial polymers*, English. Firenze: Paideia, 2010, ISBN: 9788887410488 (siehe S. 32).
[40] E. Joris und A. Knoepfli, *Feller - eine Firma prägt die Elektroindustrie: Vom Drehschalter bis zur Haussteuerung*. Zürich: Chronos, 2011, 119 S., ISBN: 978-3-0340-1076-4 (siehe S. 29, 30, 31).
[41] D. Braun, «Der lange Weg zum Makromolekül,» *Chemie in unserer Zeit*, Jg. 46, Nr. 5, S. 310–320, 2012. DOI: https://doi.org/10.1002/ciuz.201200566. eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ciuz.201200566. Adresse: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ciuz.201200566 (siehe S. 32).
[42] *Unter Strom, vom Bakelitschalter zum Blackberry*. Kunststoff-Museums-Verein, 2012 (siehe S. 34).
[43] R. Hahn, *The origin of Schuko*, en, 9. Feb. 2017 (siehe S. 49).
[44] M. Leimgruber, «Kriegsgeschäfte, Kapital und Kunsthaus, Die Entstehung der Sammlung Emil Bührle im historischen Kontext,» 16. Nov. 2020 (siehe S. 31).
[45] J. Schädler, *Der Stromzähler: elektrische Energie als Konsumgut, 1880-1950* (Interferenzen 29). Zürich: Chronos, 2023, 235 S., ISBN: 978-3-0340-1721-3 (siehe S. 45).
[46] B. Triebe, «Ein Schweizer Kuriosum: Lichtschalter von Feller beherrschen unsere Wohnungen,» ger, *Neue Zürcher Zeitung*, 7. Okt. 2023 (siehe S. 30, 41).
[47] «Kabeltaster 1910 – 1940.» (1. Jan. 2024), Adresse: https://www.deutsches-kunststoff-museum.de/sammlung/virtuelles-museum/k-2002-00381/ (besucht am 23. 12. 2024) (siehe S. 32).
[48] Kirschblut, *Lichtschalter*, https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtschalter#/media/Datei:Lichtschalter.jpg, Accessed: 2024-01-08, 2024 (siehe S. 43).
[49] «Legrand (Unternehmen).» Page Version ID: 250757593. (4. Dez. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Legrand_(Unternehmen)&oldid=250757593 (besucht am 04. 12. 2024) (siehe S. 31).
[50] A. Lison, *Telefoninterview mit Martin Hamann, ehem. GF Electro-Mica*, Schweiz, 15. Mai 2024 (siehe S. 29, 39, 40, 47).
[51] O. Oud. «Digital Museum of Plugs and Sockets.» (1. Sep. 2024), Adresse: https://www.plugsocketmuseum.nl (siehe S. 28, 30).

[52] W. Steinbeck und A. Lison, private email communication, 23. Dez. 2024 (siehe S. 40).

5. Leitungen und Kabel

> *Das Gebiet des menschlichen Wissens, das sich an das elektrische Kabel knüpft, ist ein so ungeheuer großes, daß kaum ein Mann zu finden ist, der es vollständig beherrscht.*
>
> Vorwort zu „Das elektrische Kabel“ 1903 [3]

Die Übertragung von elektrischer Energie geschieht überwiegend mittels Leitungen. In einer Hausinstallation sind diese seit den Anfängen aus Gründen des Personen-, Brand- und Sachschutzes mit einer Isolierung umgeben. Es wird in diesem Kapitel versucht, die Entwicklung der Niederspannungskabel in der Hausinstallation bis in die Neuzeit zu skizzieren.

5.1. Hersteller

Über viele Jahrzehnte haben folgende Hersteller für den Schweizer und den internationalen Markt verschiedenste Typen von Schwachstrom- bis Hochspannungsleitung produziert (nicht abschliessend):

- Dätwyler Altdorf, ehemals Schweizerische Draht- und Gummiwerke in Altdorf (Uri)
- Draht- und Kabelwerke Cossonay-Gare
- Isolawerke Breitenbach
- Kabelwerke Brugg
- Kabelwerke Stein am Rhein
- Kupferdraht-Isolierwerke Wildegg
- Aktiengesellschaft R. & E. Huber, Pfäffikon-Zürich
- Societe d’Exploitation des Cables Electriques, Cortaillod
- Suhner + Co AG, Herisau

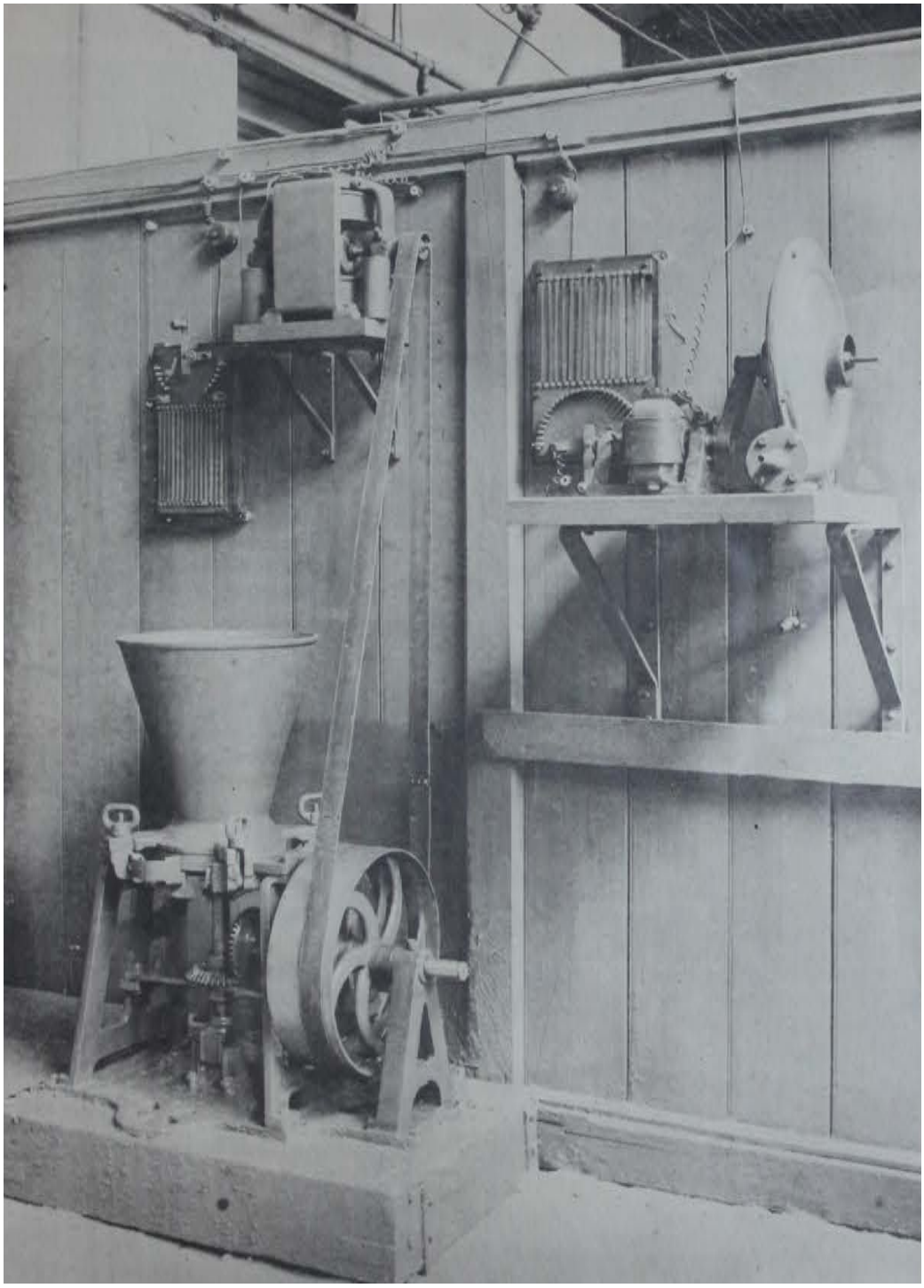


Abbildung 5.1.: Motorinstallation mit mehradrigen Kabeln auf Isolierrollen. Quelle: „Die Verwendung der Elektromotoren für gewerbliche Zwecke“ 1894 [1, Fig. 10]

5.2. Leiter

Der Leiter transportiert den Strom und soll daher über einen möglichst geringen Widerstand verfügen. Nach Silber hat Kupfer den geringsten spezifischen Widerstand aller Metalle. Da immer auch ökonomische Gründe und die Verfügbarkeit bei der Wahl des Materials eine Rolle spielen, wurde und wird auch Aluminium und in der Vergangenheit teilweise Zink und Stahl verwendet. Stahl ist allerdings denkbar ungeeignet, da er korrodieren kann und nur rund 1/6 der Leitfähigkeit von Kupfer besitzt.

Für die Herstellung flexibler Leitungen wurden mehrere sehr dünne Adern miteinander verseilt. Diese „Litze“ oder „Schnüre“ genannten Leitungen wurden teils auch zur festen Verlegung auf Isolierrollen verwendet[23, S. 320].

Mehradrige Leitungen, d.h. zwei-, drei- oder mehrere Adern in einer Hülle tauchen bereits vor 1900 auf (1894: Abb. 5.1, 1900: Abb. 19.4a auf Seite 226, 1925: [6, S. 164]).

Querschnitt in mm²	Durchmesser in mm	Belastungs-Stromstärke in Amp.
0,6	0,9	4
0,75	1,0	6
1,0—1,1	1,1—1,2	6
1,5	1,4	10
1,8	1,5	12
2,5	1,8	15
3,0—3,1	2,0	17
4,0	2,3	20
4,9—5,0	2,5	22
6,0	2,8	25
7,0—7,1	3,0	28
9,6—10,0	3,5	35
12,5—12,6	4,0	45
16,0	4,5	55

Abbildung 5.2.: Bemessung der Leitung, Querschnittsreihe (Ausschnitt). Quelle: „Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen“ 1909 [5, S. 14]

Die Leiterdurchmesser haben einen direkten Einfluss auf die Verlustleistung und die Erwärmung der Leitung. Schon sehr früh wurden daher Richtlinien und Normen aufgestellt, welche Querschnittsreihen und die maximale Belastung definierten (siehe Abb. 5.2).

Der Querschnitt 0.6 mm^2 verschwand sehr schnell aus den Normalien, die Querschnitte 0.75 bis 1.1 mm^2 etwas später. Der Rest der Reihe hat bis heute Bestand, wenn auch mit geänderten und nach Einbauart und Isolation differenzierten Belastungsstromstärken.

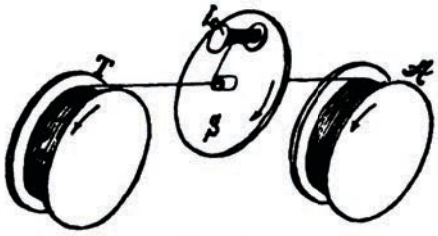


Fig. 44.

Abbildung 5.3.: Verseilung eines Drahtes. Quelle: „Handbuch der Elektrotechnik“ 1904 [4, S. 116]

5.3. Isolation

Die Anforderungen an das Isolationsmaterial sind sehr vielfältig: gut elektrisch isolierend, hohe Durchschlagsspannung, geringe Kriechstromneigung, wasserdicht oder wasserabweisend, flexibel, trotzdem mechanisch robust, nutzbar in einem grossen Temperaturbereich, beständig gegen chemische Einwirkungen, nicht korrodierend, alterungsstabil, geringe dielektrische Verluste, ungiftig, günstig, leicht, dünn, einfach zu produzieren usw. All diese Anforderungen in einem Material zu vereinen, gelingt erst den Thermoplasten - zumindest bis zu einem gewissen Grad.

Bis zur Markteinführung der Thermoplastisolation besteht die Kabelisolation deswegen immer aus einer mehrschichtigen Komposition verschiedener Materialien.

5.3.1. Guttapercha

Die ersten Isolationen wurden allerdings für Telegrafenleitungen entwickelt. Nach Glas, Jute, Baumwolle oder Seide war Guttapercha[1] das erste, in grösserem Umfang eingesetzte Isolationsmaterial.

Die Verwendung geht auf Siemens zurück. Die Leitungen bewährten sich in der Erdverlegung und als Seekabel[27, S. 213ff]. Für überirdische Installationen in Gebäuden war es hingegen weniger geeignet. Guttapercha wird über 45 °C weich[29, S. 19], hat ein «starke Neigung zur Oxidation und Versprödung an der Luft, die durch Licht beschleunigt wird»[18, S. 129] und war für den breiten Einsatz viel zu teuer.

5.3.2. Naturkautschuk

Stattdessen kam dort Naturkautschuk zum Einsatz. Zu Beginn wurde der Kautschuk unvulkanisiert verwendet. Unvulkanisierter Kautschuk ist ozonunempfindlich, altert schneller, ist flexibler und hat einen höheren Isolationswiderstand, nimmt aber Feuchtigkeit auf, was die Isolationswirkung verringert. Vulkanisierter Kautschuk ist

[1] Guttapercha ist der eingedickte Pflanzensaft des asiatischen Guttaperchabaumes[29, S. 19] und dem Kautschuk sehr ähnlich. Die Isopreneinheiten sind in Guttapercha jedoch E-verknüpft (*trans*), während sie im Kautschuk (Z)-verknüpft (*cis)* vorliegen[28].

Abbildung 5.4.: Gummibandleitung im Aussenbereich. Abgewitterter Baumwollbeflechtung legt Kautschukband frei. Davos Schatzalp, Foto: André Lison 2024

je nach Schwefelanteil deutlich steifer, aber wasserdicht und alterungsbeständiger als unvulkanisierter.

Siemens & Halske hat 1893 erstmals unvulkanisiertes Gummi in Form von Bändern zwischen zwei Baumwollbespinnungen um den Leiter gewickelt (siehe Abb. 5.3). Diese *Gummibandleitung* (siehe Abb. 5.4) erhielt zum Schutz noch eine Lage in «schwarzer Isoliermasse getränkte Beflechtung aus Baumwolle»[23, S. 320]. Mit einem Kern aus Litze und einer Beflechtung aus Glanzgarn entstanden auch flexible Leitungen. Sie wurden für mobile Geräte und die fest Verlegung auf Isolierrollen verwendet. Letzteres konnte in der Schweiz bisher nicht nachgewiesen werden.

Der unvulkanisierte Gummi versprödete verhältnismässig schnell, weshalb die Gummibandleitungen seit 1927 in der Schweiz[7, S. V] und schon seit 1908 (Gummibandschnüre) und 1914 (Gummibandleitungen) in Deutschland[23, S. 321] nicht mehr zugelassen waren.

Spätestens seit 1904 verbreitete sich eine neue Isolationsform: die *Gummiaderleitung*. Bei ihr wurde vulkanisiertes Gummi um die Adern gepresst, was zu einer erkennbaren Längsnaht führte[4, S. 113]. Die Leitungen waren wasserdicht. Abb. 5.5 auf der nächsten Seite zeigt ein flexible Gummiaderleitung.

Es ergab sich allerdings das Problem, dass das im vulkanisierten Gummi enthaltene Schwefel[2] mit dem Leiter «Schwefelkupfer bildet, wodurch der Querschnitt vermindert würde.»[4, S. 40] Dem wurde entgegengewirkt, indem der Leiter verzinnt wurde oder eine trennende Schicht Baumwolle (teils mit «Zinkoxyd» bestrichen)[4, S. 110] oder unvulkanisiertes Gummi das Kupfer abschirmte. Für die Verzinnung wurde in Deutschland die Feuerverzinnung verlangt, da diese zu grösseren Schichtstärken führte[4, S. 111].

«Der Gummi wird auf den Leiter gewöhnlich in zwei Schichten von je $^1/_2$ mm Dicke aufgelegt.»[3, S. 187]. Allerdings ist der Gummi nicht rein, sondern eine Mischung aus 30 bis 50 % Gummi und «feingemahlenen Mineralien, Metalloxyden, Gummisubstituten etc. und etwa 3 % Schwefel»[3, S. 188].

Auch die Gummiaderleitung erhielt weitere Schichten aus Umspinnungen, gummiertem Baumwollband und in schwarzer Bitumenmasse getränkter Baumwolle[23,

[2] oder Chlorschwefel, hist. «Schwefelchlorür»[4, S. 111]

Abbildung 5.5.: Flexible Gummiaderleitung mit stark degradierter Isolierung. Sichtbar ist als unterste Lage die Umspinnung, dann das daraufliegende Kautschuk in kleinen, hellen Stücken, darauf die abdichtende Bitumenmasse und die abschliessende Umflechtung mit whs. Glanzgarn. Foto: André Lison 2024

S. 321]. Die Rezepturen und Schichtenfolgen waren nicht normiert und variierten zwischen Herstellern und über die Zeit stark. Die Stoff- und Faserschichten wurden zum Feuchtigkeitsschutz noch imprägniert. «Als Tränkungsmasse werden Mischungen verwendet, welche aus Harzen, Ölen[meist Leinöl, Anm. d. Verf.], Wachs und dergleichen bestehen. Grösstenteils sind diese Zusammenstellungen Fabrikgeheimnisse.»[4, S. 87] Teilweise kamen auch Bleiverbindungen wie Bleiweiss zum Einsatz, da Bleiverbindungen allgemein gute Isolatoren sind[4, S. 158]. Das «Leinöl trocknet dagegen nur an der Oberfläche, bleibt aber innen noch sehr lange weich und klebrig.»[4, S. 158] Möglicherweise ist dies der Grund für das häufig beobachtete Verkleben der Gummaderleitungen miteinander und an den Innenwänden der Isolierrohre.

Die Abb. 5.6 bis 5.8 auf den Seiten 65–67 zeigen Anschliffe von Gummiaderleitungen. Abb. 5.6 zeigt die einzelnen Bestandteile der Schichten.

Von 1927 bis 1954 führen die Hausinstallationsvorschriften noch die Gummischlauchleiter auf. Diese sind sehr ähnlich den Gummibandleitungen aufgebaut. Die verzinnte Kupferseele ist jedoch mit einem Gummischlauch umgeben, statt mit zwei verklebten Gummibändern. Der Gummischlauch*leiter* darf nicht mit der Gummischlauch*leitung* verwechselt werden, die den Gummischlauch zum Feuchtigkeitsschutz aussen und eine Litze als Leiter hat.

Die *Gummischlauchleitung* diente dem Anschluss von mobilen Endgeräten, wie Tischlampen und Bügeleisen. Diese mehradrige Leitung verwendete Litzenadern und eine wasserdichte Gummihülle, häufig mit einer Textilummantelung. Für die-

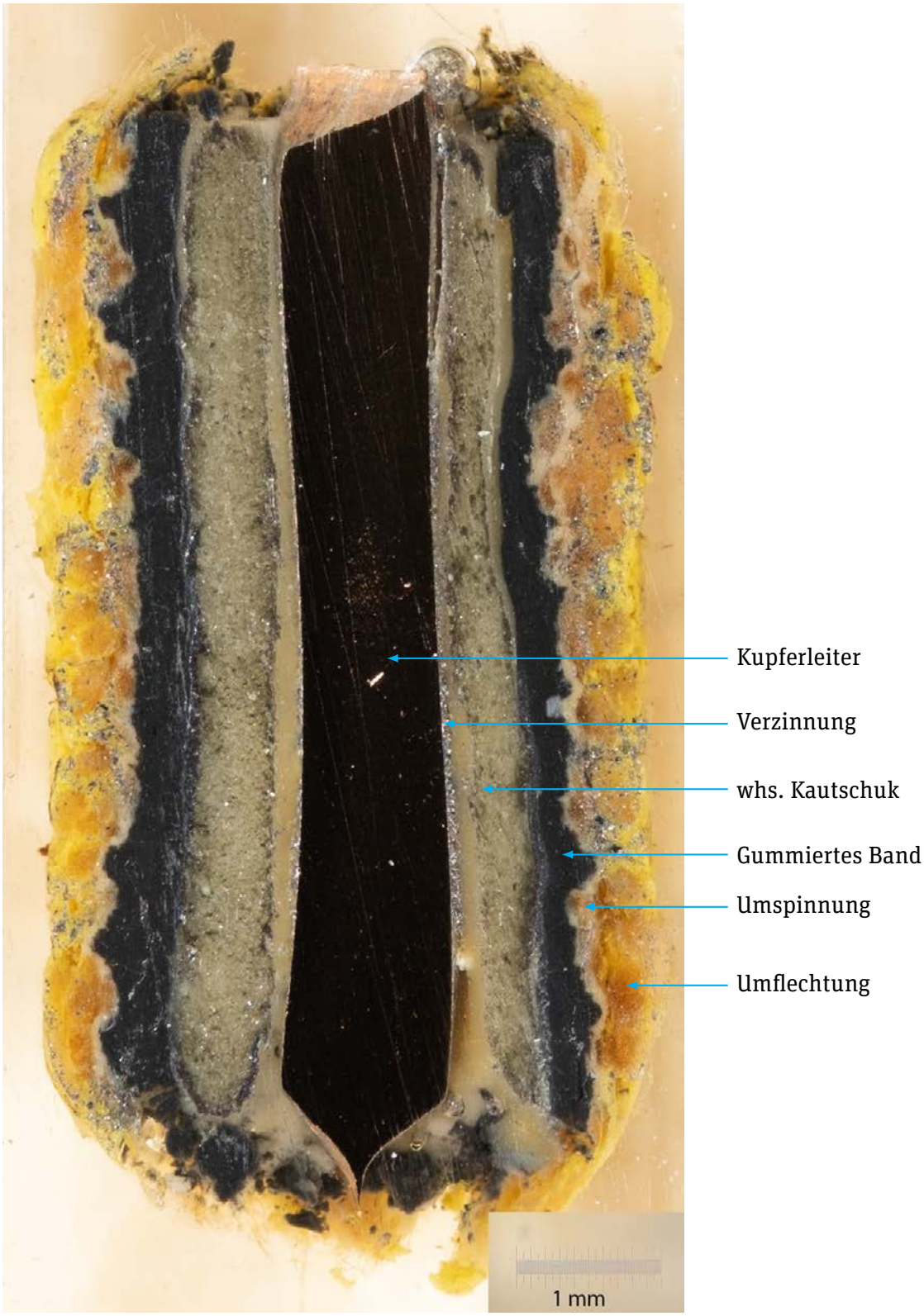


Abbildung 5.6.: Längsschnitt durch eine gelbe Gummiaderleitung, ca. 1936, Foto: André Lison 2024

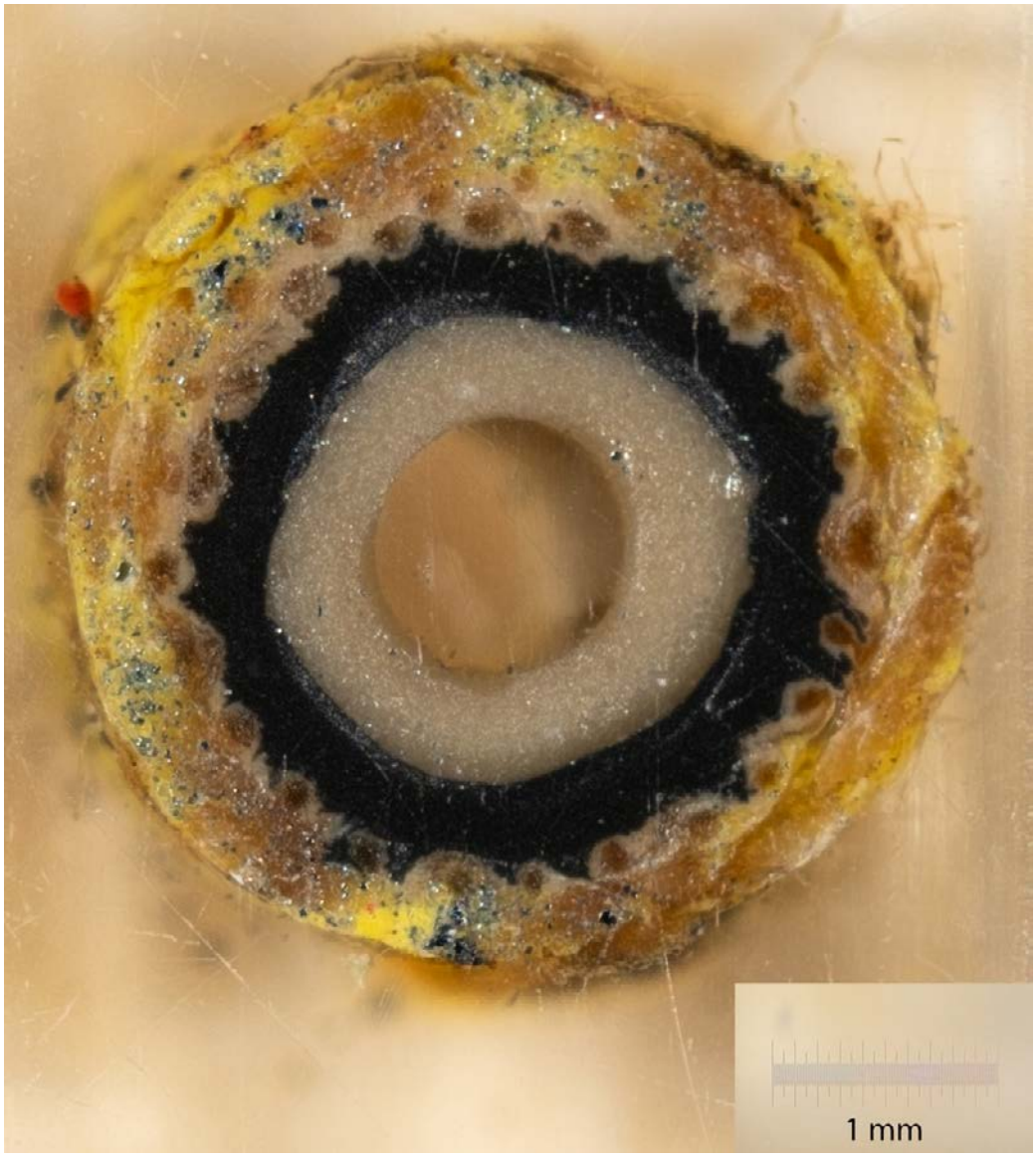


Abbildung 5.7.: Querschnitt durch eine gelbe Gummiaderleitung mit entfernter Kupferader, ca. 1936, Foto: André Lison 2024

sen Anwendungsfall hat das Kautschuk (Natur- & Kunstkautschuk) einen besonderen Vorteil gegenüber den Thermoplasten: die «„Kautschukelastizität“, d.h. [...] starken Formänderungsbeanspruchungen elastisch nachzugeben und nach Aufhören der deformierenden Kraft seine ursprüngliche Form weitgehend wieder einzunehmen»[18, S. 129].

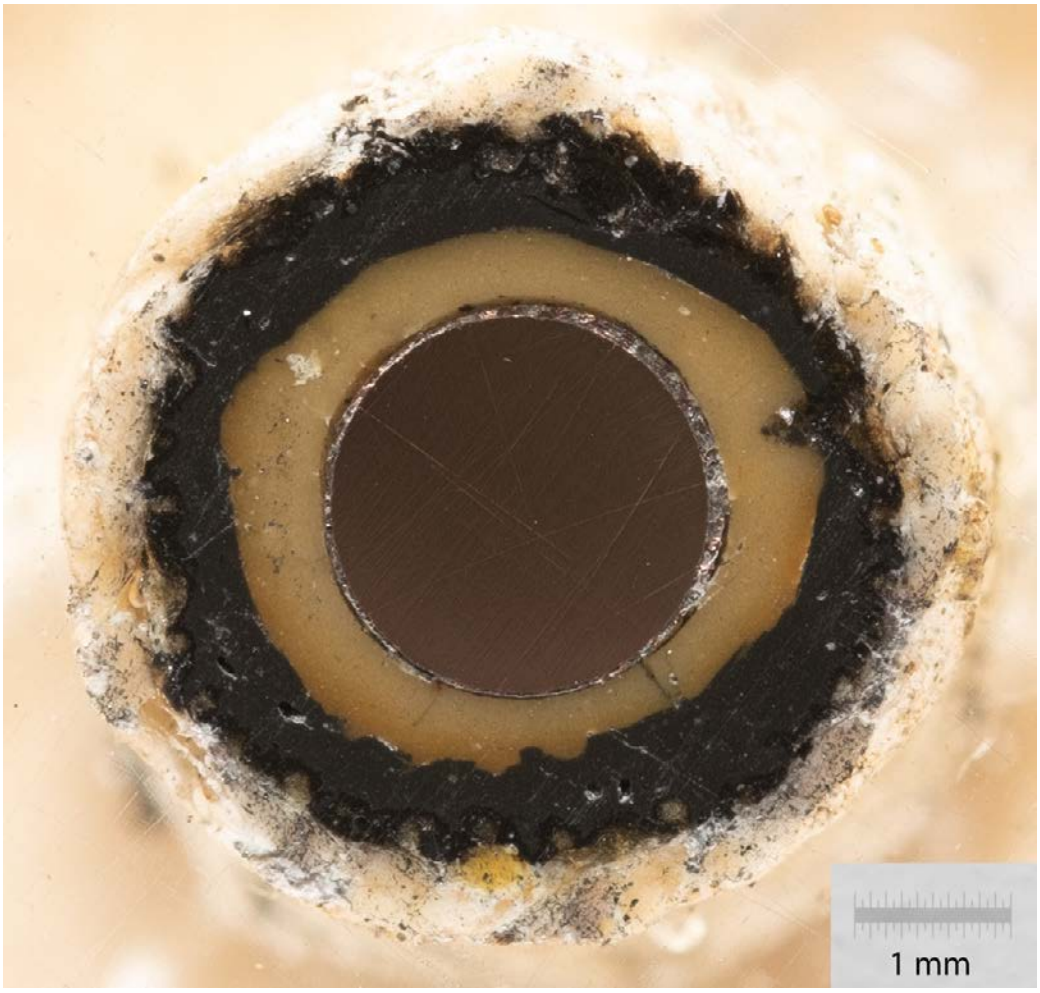


Abbildung 5.8.: Querschnitt durch eine weisse, textilummantelte Leitung; Alter unbekannt; Joos Huus Valendas/GR, Foto: André Lison 2024

5.3.3. Bleikabel und Eisenarmierung

Als „Bleikabel“ werden Leitungen jeder Bauart bezeichnet, die eine schützenden Bleiumhüllung haben[7, S. 135]. Der Einsatz von Blei war durch seine Duktilität, Korrosionsunempfindlichkeit und recht breite Unempfindlichkeit gegenüber chemischen Einflüssen begründet. Häufig haben diese Kabel auch eine Isolation aus imprägniertem Papier[24, S. 211ff]. Sie werden hauptsächlich für Erdverlegung und für die Verlegung im Mörtel, bei zu erwartender chemischer Belastung durch agressive Dämpfe oder Flüssigkeiten[23, S. 335], aber auch in feuchten Räumen eingesetzt[9, S. 399].

Bei starker mechanischer Beanspruchung werden Eisenarmierungen eingesetzt. Laut „Die Moderne Elektrizität“ 1900[2] waren um die Jahrhundertwende die mit spiralförmigen Eisenbändern umwickeltens Kabel die am häufigsten nachgefragte

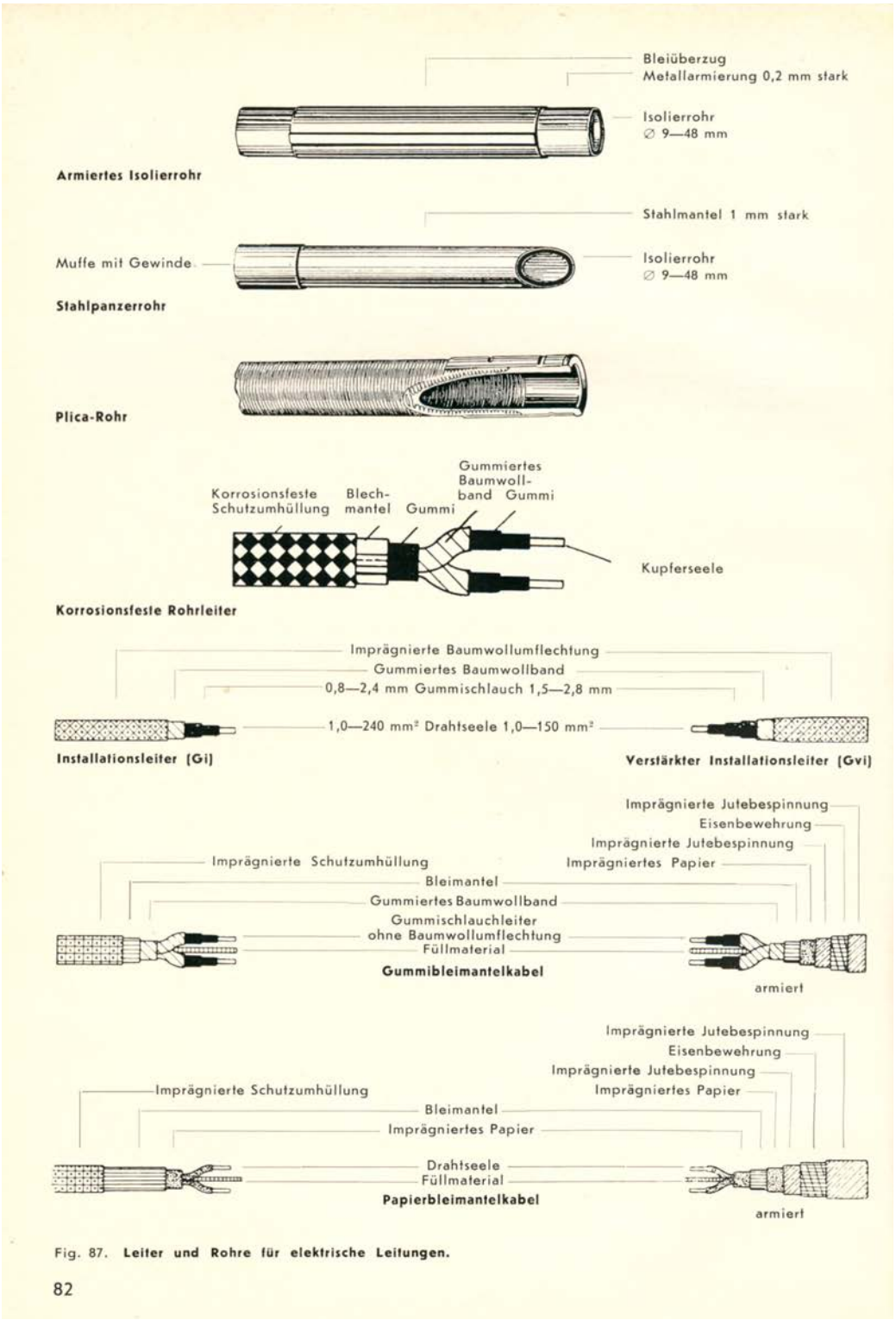


Abbildung 5.9.: Überblick über Leitungstypen und Installationsrohre. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1950 [15, S. 82]

Abbildung 5.10.: Leitung mit Armierung durch spiralförmige Eisenbänder. Alter unbekannt. Ehemalige Reithalle Thun, Foto: André Lison 2024

Bauart (siehe Abschnitt 5.3.3). Die Eisenarmierung wurde noch durch eine imprägnierte Juteschicht gegen Korrosion geschützt[2, S. 462].

Für die Verlegung in der Hausinstallation wurden sogenannte Rohrdrähte entwickelt. Bekannt ist das System Kuhlo mit Metallmantel aus Messing oder «aluminiertem, später aus verbleitem Eisenblech»[23, S. 321]. Auf die Rohrdrähte wird vertieft in Abschnitt 6.3.6 auf Seite 93 eingegangen.

5.3.4. Kunststoffe

In den Anfangsjahren der Kunststoff-Isolation wurden drei Polymere verwendet: PVC, Polyethylen und Kunst-Kautschuk.

Nicht nur der Einsatz von Weichmachern, Füll- und anderen Zusatzstoffen, sondern auch die Produktionsmethoden haben einen massgeblichen Einfluss auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Kunststoffs. Seit dem Beginn des Einsatzes bis heute hat eine kontinuierliche Weiterentwicklung stattgefunden, die derart viele Varianten hervorgebracht hat, dass eine umfassende Vorstellung nicht nur den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen würde, sondern fast unmöglich erscheint. Daher werden nur sehr wesentlich Entwicklungen dargelegt.

Kunst-Kautschuk

Mitte der 1930er Jahre kam der Kunst-Kautschuk auf den Markt[23, S. 331]. Die als Mischpolymerisate oder Copolymere bezeichneten Kunststoffe bestanden aus jeweils zwei Komponenten (siehe „Kabel-Herstellung“ 1956[18]):

Buna S	75 % Butadien + 25 % Styrol[18, S. 133]
Perbunan	Butadien + 18 bis 50 %[3] Acrylnitril; halbleitend, daher nur für Mantelmischungen[18, S. 133]
Butylkautschuk	Isobutylen + 1 bis 3 % Isopren, ab 1937[31]

Die Eigenschaften des „Buna S“ sind denen des Naturkautschuks sehr ähnlich, weshalb es mit den gleichen Fertigungsverfahren als ein direkter Ersatzstoff verwendet werden konnte[23, S. 336]. Je nach Einsatzzweck wurden auch andere Varianten von „Buna“ verwendet. Weiterhin wurden noch folgende «ungesättigte, vulkanisierbare hochpolymere Kohlenstoffverbindungen»[18, S. 119f] eingesetzt:

Neopren	heute „Chloropren-Kautschuk“
Thiokol	«Polyäthylentetrasulfid[sic]»[18, S. 133]; chemisch nicht mit dem Kautschuk verwandt

Die Schweizer Isolawerke in Breitenbach schreiben in Ihrer Jubiläumsschrift etwas undifferenziert von Mitte der 1930er Jahre angekauften Gummimischungen und selbst entwickelten Mischpolymerisaten für die Isolation von Schaltdrähten und Litzen[11, S. 49f]. Es geht nicht klar hervor, ob und um welche Mischung (s.o.) es sich dabei handelt.

In der historischen Literatur wird nur selten zwischen Natur- und Kunst-Kautschuk unterschieden. Häufig wurden auch Mischungen aus beiden eingesetzt. Daher ist es schwierig, eine klare, zeitliche Grenze für dessen Einsatz in Niederspannungsleitungen zu ziehen.

Polyvinylchlorid

Ab 1928 wurde in den USA und ab 1930 in Bitterfeld/D durch die Badischen Anilin- & Sodafabrik (BASF) Polyvinylchlorid (PVC) in technischen Mengen hergestellt. Das produzierte PVC hatte aber noch gar keine Anwendung, weil es schlecht zu verarbeiten war. Erst 1935 gelang der Durchbruch mit dem weichmacherfreien Hart-PVC „PVC-U“[25]. Dieses wurde unter anderem zu Rohren für den Sanitärbereich weiterverarbeitet. Ob sie auch als Elektroinstallationsrohre Verwendung fanden, ist nicht überliefert. Für Kabelisolierungen war PVC-U jedoch wegen der fehlenden Flexibilität nicht geeignet.

Diese wurde erstmals 1938 durch das Weich-PVC „Igelit“[4] erreicht. Mellanby datiert den ersten Ersatz von Kautschuk durch ein synthetischen Material sogar auf das Jahr 1937, in dem in Grossbritannien das deutsche PVC-Fabrikat mit dem Namen „Mipolim“ ankam[19, S. 90f].

[3] https://www.rct-online.de/de/RctGlossar/detail/id/34
[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Igelit

Die NZZ schreibt 1952: «Bei sehr hohen Frequenzen und außergewöhnlich starker Naßbeanspruchung sind seine Eigenschaften denen des Naturkautschuks etwas unterlegen, aber für normale Isolationszwecke haben sie sich als so günstig erwiesen, daß die Kabelindustrie heute nicht mehr ohne diesen Rohstoff auskommt. Das PVC ist leicht spritzbar, erfordert keine Verzinnung der Kupferleiter und keine Vulkanisation, ergibt glatte Oberflächen mit beliebigen Farben und ist wesentlich alterungsfester als Kautschuk»[16].

Es scheint trotzdem eine gewisse Skepsis gegenüber dem neuen Isoliermaterial geherrscht zu haben. Dies begründet sich unter anderem mit dem Verhärten des Kunststoffes über die Zeit, was das spätere Entfernen dieser Kabel schwierig machte und durch die rund 100 mal schlechteren Isolationseigenschaften gegenüber Kautschuk[19, S. 91]. Obwohl für die meisten Anwendungsfälle mehr als ausreichend, erhielten Kunststoffe in der Hausinstallation erst Ende 1940[10, S. 3, §166] eine aus der schlechten Rohstofflage während des Weltkrieges begründete vorübergehende Zulassung bis 1949 und erfuhren schlussendlich 1950[14] eine endgültig Aufnahme in die Vorschriften.

1938 tragen die Isolawerke in Breitenfeld die Marke „Soflex“ ein. Sie wurde in den folgenden Jahrzehnten als Handelsname für PVC-Isolierung eingesetzt (Abb. 5.11 auf der nächsten Seite). Von Probeinstallationen abgesehen, wurden Soflex-PVC-Installationsdrähte erstmals 1940 in der Publikation «Kriegsbedingte Aenderungen der Hausinstallationsvorschriften des SEV» zugelassen[10, S. 3, §166]. Die ungewohnte Nennung des Handelsnamens in den ansonsten herstelleragnostischen Vorschriften legt nahe, dass es sich zu diesem Zeitpunkt um den einzigen verfügbaren thermoplastischen Installationsdraht in der Schweiz gehandelt hat.

Ohne das genaue Material zu nennen, wirbt Dätwyler erstmals 1949 mit der Plastic-Isolation[12, S. 11]. Die Kabelwerk Brugg nahmen 1954 die Fabrikation von Kunststoffkabeln für Hoch- und Niederspannung, sowie Schwachstrom.[20, S. 39], basierend auf PVC und Polyethylen (PE) auf.

Spätestens 1949 taucht die PVC-Isolierung auch in den deutschen Tabellenbüchern, noch unter dem alten Namen „Igelit“, auf (siehe [13, S. 59]).

Ein bedeutender Nachteil des PVC ist sein Brandverhalten. Ehlers schreibt dazu: «Reines PVC ist unbrennbar. Es zersetzt sich vielmehr bei starker Erhitzung unter Bildung feuerlöschender HCl-Dämpfe. Die auf üblichem Wege kabeltechnisch hergestellten PVC-Isolier- und Mantelschichten sind jedoch infolge ihres Weichmachergehalts meist mehr oder weniger brennbar»[18, S. 125]. Das im Brandfall entweichende Chlorwasserstoff (HCl) bildet zusammen mit Feuchtigkeit Salzsäure, welche grosse Gesundheits- und Sachschäden (u.a. Korrosion) verursachen kann.[5] Bei vielen

[5] Darüber hinaus entstehen «beim Brand auch geringe Mengen von Chlorkohlenwasserstoffen (insbesondere Vinylchlorid), andere aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Methan, Propylen, n-Butan, Buten, Benzol, Toluol, Xylol), Aldehyde und Ketone (Formaldehyd, Acetaldehyd, Benzaldehyd, Salicylaldehyd, Aceton etc.), Phosgen sowie chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane.»[26, S. 6]

Abbildung 5.11.: Werbung der Isolawerke für Soflex-PVC-Kabel 1965. Quelle: ETH e-periodica aus «Bulletin des SEV» 1965 [21, S. 6]

Bauwerken, vor allem im öffentlichen Bereich, sind daher heutzutage halogenfreie Kabel verpflichtend.

Polyethylen

Für das PVC sprach die relative Unempfindlichkeit gegenüber chemischen Einflüssen und Ultraviolettes Licht (UV). Das PE hingegen verfügte über einen deutlich höheren Durchgangswiderstand ähnlich dem des Gummis und einen geringen Dielektrizitätsfaktor, was es für Hochspannungs- und Nachrichtenübertragungsanwendungen prädestinierte ([20, S. 14], [19, S. 91]). «Man darf behaupten, dass die Alliierten den Krieg nicht mit der Atombombe, sondern durch das Polyäthylen gewonnen haben, das durch seine vorzüglichen elektrischen Werte erst die Radartechnik ermöglichte.»[17, S. 299] schreiben die Technischen Mitteilungen PTT 1954.

Die Schweizerischen Draht- und Gummiwerke stellen 1945 die weltweit erste Polyethylen-Isolierung für Hochspannungskabel über 15 kV vor[22].

Bereits 1950 werden auch „verstärkte Thermoplastleiter“ mit einer zweischichtigen PVC/PE-Isolierung erwähnt. Die PE-Schicht durfte nur ungefärbt (farblos bis weiss) auf dem Leiter liegen. Der PVC-Schutzschlauch umschloss diese[14, S.39].

Thermoplastische Mantelleitungen

In der Hausinstallation haben die Thermoplaste in den folgenden Jahren alle Schichten der Gummiaderleitung ersetzt. Ein Mantel aus PVC oder PE hat den Platz der imprägnierten Umflechtung eingenommen.

Im Jahr 1973 schreibt das Bulletin des SEV, dass PVC und PE die wichtigsten Isolierstoffe im Niederspannungsbereich sind[24, S. 210].

5.4. Aderfarben

In einer Elektroinstallation dient es der Übersichtlichkeit und damit der Sicherheit, wenn verschiedene Leiter mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet werden. Heute ist der Schutzleiter Grün-Gelb (PE), der Neutralleiter (N) Blau und der erste Aussenleiter (L1) Schwarz.

Das Farbsystem ist historisch gewachsen, so dass die vorgefundenen Aderfarben die Datierung einer Installation unterstützen können.

Erstmals wurden Leiterfarben in den HV von 1927 erwähnt: «Isolierte Nulleiter oder Erdleiter, die einzeln oder mit Polleitern zusammen verlegt sind, sollen einheitlich gelb sein. Wenn dagegen gleichzeitig eine isolierte Erdleitung [Schutzleiter/Protective Earth (PE), Anm. d. Verf.] und ein geerdeter stromführender Leiter (Nulleiter)

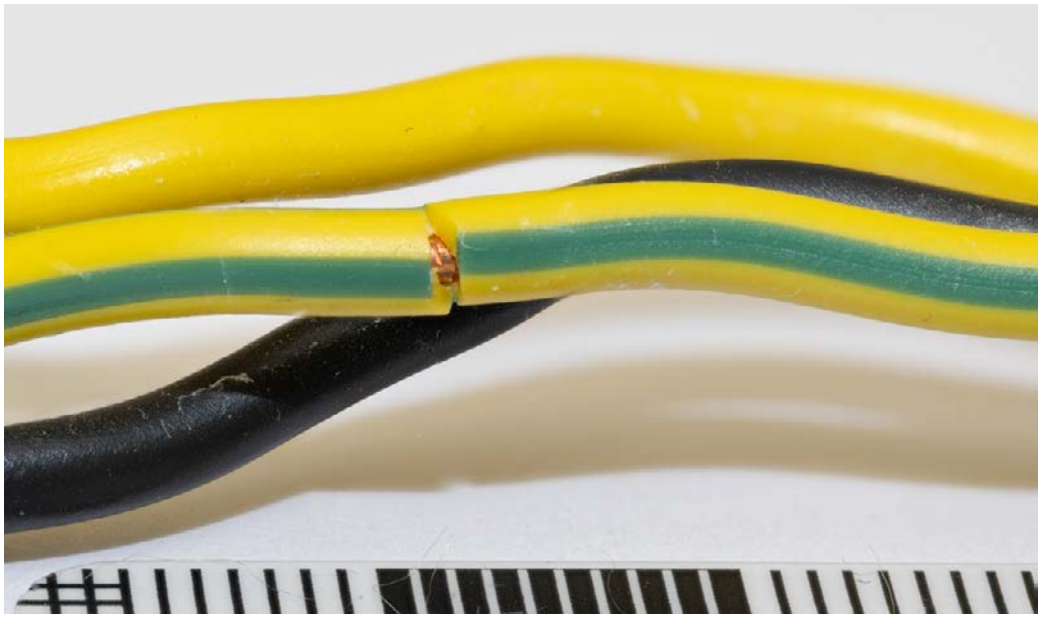


Abbildung 5.12.: Thermoplastische Isolierung mit Beschädigung an einer Ader, Leitung stammt aus Zeit 1965-1980, Foto: André Lison 2024

in ein und demselben Rohr oder in einem Mehrleiter vorkommen, ist es zur Vermeidung von Verwechslungen notwendig, den Erdleiter als solchen besonders kenntlich zu machen Der Erdleiter soll in diesem Falle gelb und rot gekennzeichnet sein, und zwar so, dass dies auch an kurzen Leitungsstücken deutlich wahrnehmbar ist; dagegen soll der geerdete Stromleiter (Nulleiter) einheitlich gelb sein.»[7, S. 14])

Für die übrigen Leiter waren keine Farben vorgeschrieben. Ebenfalls seit 1927 gilt zudem: Kommen im gleichen Gebäude verschiedene Spannungen vor, so sollen die Leitungen, Rohre und Apparate der höheren Spannunng hellblau oder mittels Aufschrift gekennzeichnet sein[8, S. 107].

1950 erscheinen die «Vorschriften für Leiter mit thermoplastischer Kunststoffisolation auf Polyvinylchlorid-Basis». Darin werden verbindliche Farben für die bewegliche Leitungen („Schnüre“) festgelegt. Dasselbe Farbschema wird auch für feste Leiter empfohlen, aber nicht vorgeschrieben. Es gilt für einphasige Leitungen ohne Schutzleiter („PN“) eine dunkelgrau-gelbe Farbgebung. Nicht explizit aufgeführt, aber ableitbar ist die Farbgebung für einphasige Leitungen mit Schutzleiter („PNE“): dunkelgrau-gelb-gelb/rot.

Die Markierung des Schutzleiters wurde 1964 international angeglichen. Ab diesem Zeitpunkt war eine gelb-grüne Markierung verpflichtend[30].

1969 wurde dann die Farbe des Nulleiters als Blau festgelegt[30], andere Quellen geben auch Schwarz an[6]. Diese Kombination zeigt Abb. 5.12.

Die Definition der restlichen Leiterfarben folgte 1985 und 2004[30].

[6] https://slmbv.ch/grafiken/doku.php?id=ele:drehstrom

Literatur

[1] Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co., Nürnberg, *Die Verwendung der Elektromotoren für gewerbliche Zwecke*, ger. Nürnberg: Schuckert & Co., 1894. Adresse: https://archive.org/details/TheUseOfElectricMotorsForCommercialPurposes (siehe S. 60).

[2] O. Multhaupt und I. Zacharis, *Die Moderne Elektrizität, Lehrbuch über die Anwendung der Elektrizität für Installateuere, Monteure, Gewerbetreibend und Interessierte, sowie Nachschlagewerk für Studierende und Ingenieuer*, 3. Aufl. Berlin: Reinhold Schwarz Verlag, ca. 1900 (siehe S. 67, 69).

[3] C. Baur, *Das elektrische Kabel, Eine Darstellung der Grundlagen für Fabrikation, Verlegung und Betrieb*. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1903 (siehe S. 59, 63).

[4] C. Heinke, *Handbuch der Elektrotechnik* (Handbuch der Elektrotechnik v. 6, no. 1). S. Hirzel, 1904. Adresse: https://books.google.ch/books?id=t8pLAAAAYAAJ (siehe S. 62, 63, 64).

[5] *Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, 1909 (siehe S. 61).

[6] C. Michalke, *Siemens Handbücher - Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik*, ger. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co., 1925, Bd. 1 (siehe S. 61).

[7] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, II. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1928 (siehe S. 63, 67, 74).

[8] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, IV. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1936 (siehe S. 74).

[9] A. Hässig, *Schweizer Baukatalog*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1936 (siehe S. 67).

[10] *Kriegsbedingte Aenderungen der Hausinstallationsvorschriften des SEV, Aufgestellt und in Kraft gesetzt von dem Ausschuss für kriegsbedingte Aenderungen von Normalien und Vorschriften des SEV auf Grund des Beschlusses der Verwaltungskommission des SEV und VSE vom 20. November 1940*. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 20. Nov. 1940 (siehe S. 71).

[11] E. Reinhart, Hrsg., *40 Jahre Schweizerische Isolawerke Breitenbach*. Breitenbach: Schweizerische Isolawerke, 1943 (siehe S. 70).

[12] *Die Elektrizität im Haushalt : eine aufklärende Publikation über die Elektrizität sowie die elektrischen Apparate und Geräte für den Haushalt*, ger. Zürich: Verlag Heinzmann, 1949 (siehe S. 71).

[13] W. Friedrich, C. Schaub und G. Voltz, *Tabellenbuch für die Elektrotechnik*. Leipzig: Fachbuchverlag GmbH, 1949 (siehe S. 71).

[14] *Vorschriften für Leiter mit thermoplastischer Kunststoffisolation auf Polyvinylchlorid-Basis*, I. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1949 (siehe S. 71, 73).

[15] H. Hofstetter, R. Spieser, J. Elsener und N. Felber, *Elektrizität und Bauen*, ger. Zürich: Verlag «Elektrowirtschaft», Schweizerische Gesellschaft für Elektrizitätsverwertung, 1950 (siehe S. 68).

[16] Dr. K. Stoeckhert (Hannover) und Dr. Chr. v. Lippert (Zürich), «Die Verwendung von Kunststoffen in der Elektrotechnik,» de, *Neue Zürcher Zeitung*, Nr. 429, S. 6, Feb. 1952, *Mittagsausgabe* (siehe S. 71).

[17] G. Suhner, «Stand der Entwicklung und Verarbeitung von Kunststoffen,» *Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe*, Heft 8 1954 (siehe S. 73).

[18] W. Ehlers, *Kabel-Herstellung, Kabelaufbau, Werkstoffe, Verfahrenstechnik*, ger, 1st ed. 1956. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1956, ISBN: 3-642-92670-3 (siehe S. 62, 66, 69, 70, 71).

[19] J. Mellanby, *The history of electric wiring*. London: Macdonald & Co. Ltd., 1957. Adresse: https://books.google.ch/books?id=1PVIAQAAIAAJ (siehe S. 70, 71, 73).

[20] W. Gallati, Hrsg., *Kabelwerke Brugg A.G. 1908-1958*. Kabelwerke Brugg, ca. 1958 (siehe S. 71, 73).

[21] «Jahresheft, Werbung,» de, *Bulletin des SEV*, Nr. 56, 1965. Adresse: https://www.e-periodica.ch (siehe S. 72).

[22] C. Kobelt, «50 Jahre Dätwyler AG Altdorf,» *Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe*, 12 1965. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=cmt-003:1965:43::734 (siehe S. 73).

[23] J. Geyler, «Die Entwicklung der Starkstrom-Installationsleitungen,» in *Technikgeschichte*, Ser. Technikgeschichte 38, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1971, 317ff (siehe S. 61, 63, 67, 69, 70).

[24] H. Rohrer, «Symposium Elektrische Isolationstechnik 1972, Zusammenfassung des Diskussionsleiters, H. Rohrer, zur Themengruppe C-2. Teil: "Aufbau und Eigenschaften von Isolationssystemen fester Isolierstoffe",» *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins*, 1972 (siehe S. 67, 73).

[25] R. E. Nowack, E. Barth, I. Otto und E. W. Braun, «60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U),» de, *krv Nachrichten*, 1995, *1* (siehe S. 70).

[26] Ortner und Hensler, «Beurteilung von Kunststoffbränden,» Techn. Ber., 7. Nov. 1995 (siehe S. 71).

[27] W. v. Siemens, *Lebenserinnerungen*, W. Feldenkirchen, Hrsg. München Zürich: Piper, 2008, 525 S., ISBN: 978-3-492-05269-6 (siehe S. 62).

[28] H. P. Latscha, U. Kazmaier und H. A. Klein, *Organische Chemie: Chemie-Basiswissen II* (Springer-Lehrbuch), 7. Aufl. 2016. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum, 2016, 629 S., ISBN: 978-3-662-46180-8. DOI: 10.1007/978-3-662-46180-8 (siehe S. 62).

[29] R. R. Cichowski, M. Kliesch und F. Merschel, Hrsg., *Kabelhandbuch*, 9. Auflage, Frankfurt am Main Berlin: EW Medien und Kongresse GmbH, 2017, 496 S., ISBN: 978-3-8022-1147-8 (siehe S. 62).

[30] M. Waser, «8 Fachseiten Normen,» 2. Okt. 2019. Adresse: https://www.kontrollbuero.ch/gesetze-normen/fachseite-normen/ (siehe S. 74).

[31] D. S. Schiestel. «Butylkautschuk – Eigenschaften und Verwendung,» Reichelt Chemietechnik Magazin. (8. Okt. 2021), Adresse: https://www.rct-online.de/magazin/butylkautschuk-eigenschaften-und-verwendung/ (besucht am 25. 11. 2024) (siehe S. 70).

6. Verlegung

> *Für Niederspannungsanlagen genügen meist isolierte Leiter, die offen oder in Rohren nebeneinander verlegt werden.*
>
> „Siemens Handbücher - Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik“ 1925 [7, S. 32]

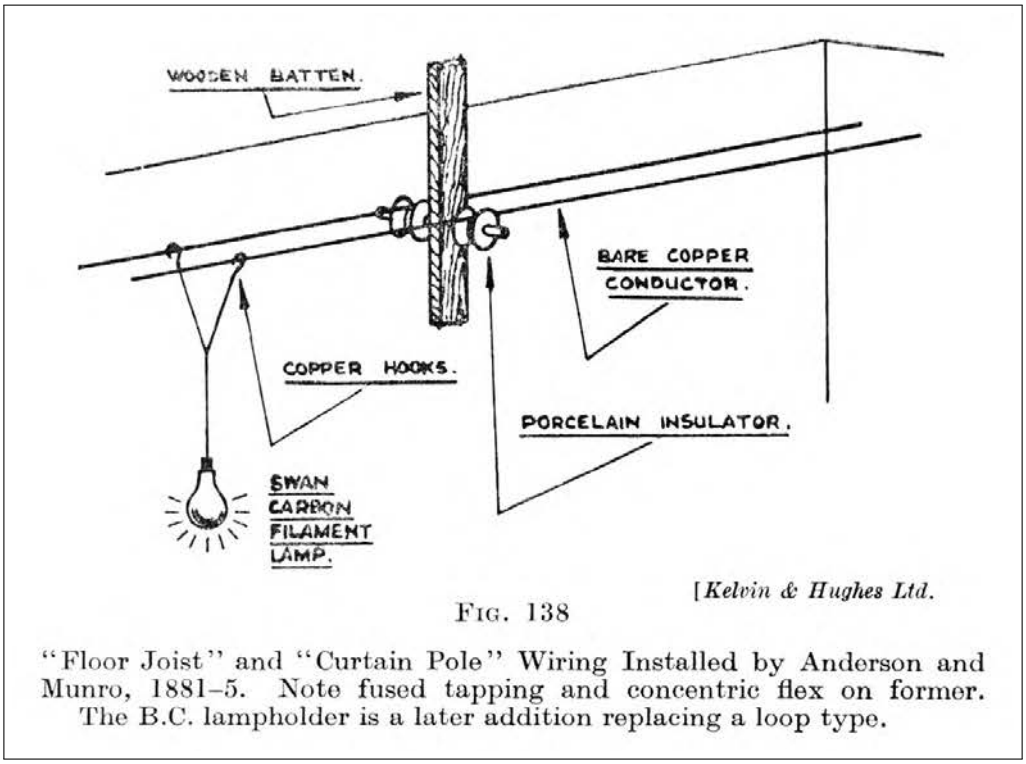
Die Befestigung der Leitungen und weiteren Elektromaterials am oder im Tragwerk oder der Gebäudehülle wird „Verlegung“ genannt. Wenn Leitungen sichtbar sind, wird von „offener Verlegung“ gesprochen. Dies kann direkt auf dem Träger (Holz, Putz) geschehen oder die Leitungen werden zwischen Isolatoren gespannt. Bei der „verdeckten Verlegung“ werden die Leitungen in Rohren oder Kabelkanälen verlegt, die Auf- oder Unterputz installiert sind. Zum Teil wurden und werden auch Kabel direkt und ohne Rohre in Beton oder Putz verlegt.

Abb. 6.9 auf Seite 86 zeigt alle historischen Aufputz-Verlege-Varianten.

6.1. Offene Verlegung auf Isolatoren

Sehr frühe Abbildungen zeigen noch blanke Drähte, welche zwischen Isolatoren gespannt sind (Abb. 6.1 auf der nächsten Seite). Diese Art der Verlegung wird im Aussenbereich bis heute angewendet (zum Beispiel bei Weidezäunen oder Hochspannungsleitungen).

Die Isolatoren in der Hausinstallation werden unterschieden in Klemmrollen, Isolierrollen und Isolierglocken. Die zu verwendenden Materialien waren wie folgt vorgeschrieben: «Isolierglocken und -rollen müssen aus Porzellan, Glas oder gleichwertigem Material bestehen.»[18, S. 64] Die Befestigung muss mit galvanisierten Stützen erfolgen, damit Korrosion vermieden wird, welche die Isolatoren sprengen könnte.[8, S. 60] Weiterhin heisst es: «Als Befestigungsmaterial der Isolatoren [vmtl. nur für stehende I., Anm. d. Verf.] auf den Stützen ist besonders die Verwendung von Schwefel und Schwefelverbindungen zu vermeiden. Zu empfehlen sind dagegen Hanf mit Mennige, imprägnierte Papiereinlagen, Isolit, Bleiglätte mit Glyzerin usw.»[8, S. 60]



[*Kelvin & Hughes Ltd.*

FIG. 138

"Floor Joist" and "Curtain Pole" Wiring Installed by Anderson and Munro, 1881–5. Note fused tapping and concentric flex on former. The B.C. lampholder is a later addition replacing a loop type.

Abbildung 6.1.: Sehr frühe Verlegeform mit unisolierten Leitern. Quelle: „The history of electric wiring" 1957 [24, S. 205]

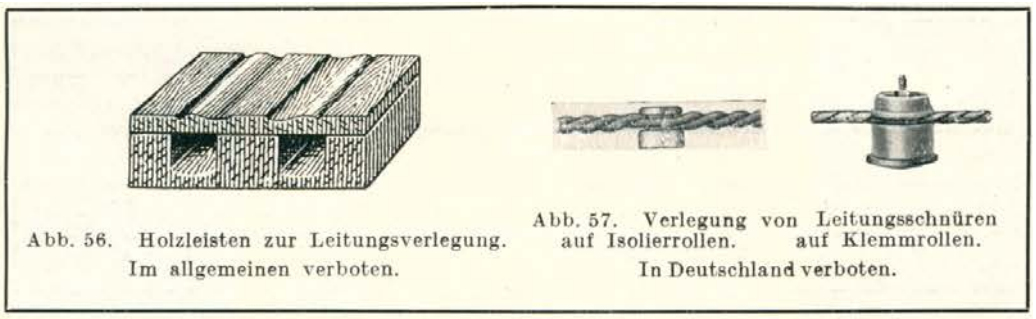


Abb. 56. Holzleisten zur Leitungsverlegung. Im allgemeinen verboten.

Abb. 57. Verlegung von Leitungsschnüren auf Isolierrollen. auf Klemmrollen. In Deutschland verboten.

Abbildung 6.2.: Verlegung in Holzleisten, auf Isolier- und Klemmrollen. Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft" 1922 [6, S. 59]

6.1.1. Klemmrollen

Geklemmte, meist mehradrige Leitungen (Abb. 6.2) sind auf diversen Abbildungen aus dem 19. Jahrhundert zu finden (Abb. 5.1 und 19.4b auf Seite 60 und auf Seite 226), verschwinden jedoch ab dem 20. Jahrhundert. In keiner der HV des SEV sind Hinweise auf Klemmrollen zu finden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass diese Installationsart bereits kurz nach der Jahrhundertwende nicht mehr aktuell war. Siemens schreibt 1922, dass diese in Deutschland nicht mehr erlaubt seien[6,

S. 59]. Möglicherweise ist die Ursache für das Verbot die Kombination der Klemmen mit Gummibandleitungen. Diese Isolationsart ist nicht sehr dauerhaft (siehe Abschnitt 5.3.2 auf Seite 63). Durch das Aufliegen der Leitung auf der Wand werden bei Isolationsfehlern Erdschlüsse[1] begünstigt. Es kann auch vermutet werden, dass die Klemmrollen aus Holz und nicht aus Porzellan etc. gefertigt waren und dadurch bei steigender Feuchtigkeit ebenfalls Erd- und Kurzschlüsse erzeugten.

6.1.2. Isolierrollen

Abbildung 6.3.: Verschieden grosse Isolierrollen, Foto: André Lison 2024

Im Gegensatz zu den Klemmrollen (Abschnitt 6.1.1) werden die Leitungen zwischen den Isolierrollen straff gespannt, wodurch der Grossteil der Leitung schon alleine durch die umgebende Luft gegen Erd- und Kurzschlüsse isoliert ist. Berührungspunkte mit der Gebäudehülle werden durch die Isolationsrolle, Isoliereckstücke, Isolationspfeifen bei Wanddurchführungen (Abb. 6.4 auf der nächsten Seite) und Isoliertüllen bei Rohreinführungen vermieden. Nach den HV von 1927 muss die «Durchführungen von offen verlegten Leitungen nach feuchten oder nassen Räumen stets so [..][ausgeführt werden], dass jeder einzelne Leiter für sich in einem Durchführungsrohre liegt»[8, S. 73]. Der maximale Abstand der Isolatoren wird in Längsrichtung der Leitung auf 1.2 m festgelegt[18, S. 73]. Isolierrollen dürfen nicht genagelt, sondern müssen auf den Untergrund geschraubt werden[10, S. 127].

Aus Brandschutzsicht ist diese Verlegeart den Klemmrollen und Isolierrohren deut-

[1] Erdschluss: Bei geerdeten Installationen fliesst ein Teil des Stroms über die Wände gegen Erde, was Personen- und Brandschutzrisiken aufwirft. Feuche Wände begünstigen den Stromfluss.

Abbildung 6.4.: Holzdübel mit Abdruck von und Löchern für Isolierrollen (r) und Wanddurchführung mit Isolierpfeifen aus Porzellan (l). Berghotel Schatzalp Davos, Foto: André Lison 2024

Abbildung 6.5.: Isolierglocken an gebogenen Deckenstützen. Ehemaliges Kühlhaus Berlin, Bj 1901[36], Isolatoren whs. nicht bauzeitlich, Foto: André Lison 2024

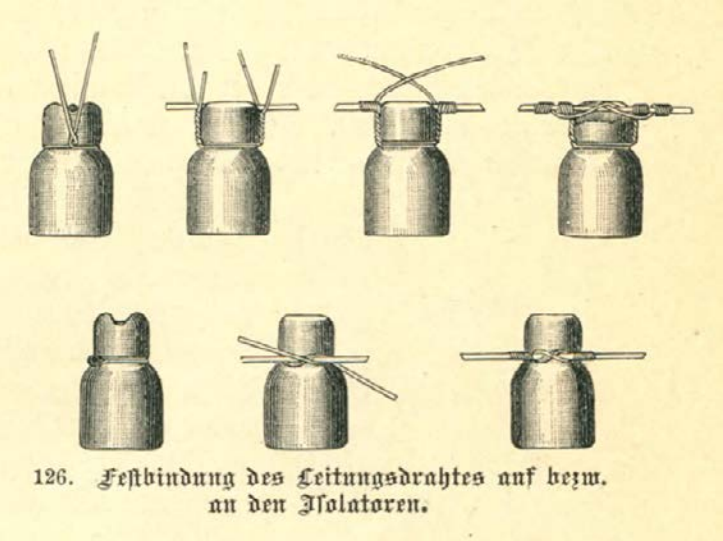


Abbildung 6.7.: Die Abbildung zeigt, «wie diese Bindungen kunstgerecht hergestellt werden». Oben: Kopfbund, Unten: Halsbund. Quelle: „Die Elektrizität“ 1898 [1, S. 113]

lich überlegen. Probleme ergeben sich aber beim mechanischen Schutz der Installation und dem Berührungsschutz bei Isolationsfehlern.

6.1.3. Isolierglocken

Die Isolierglocken sind den Isolierrollen sehr ähnlich, allerdings etwas grösser und für die Montage in feuchten Räumen auch mit einem Dach versehen, das Wassertropfen abhalten soll (Abb. 6.6)[7, S. 33].

Abbildung 6.6.: Kellerisolator mit Wassertropfenabhaltendem Dach. Quelle: [7]

6.1.4. Befestigung der Leitung

Grössere Isolatoren (siehe Abb. 6.5) verfügten über eine Aufnahme der Leitung. An den kleineren Isolatoren (Isolierrollen und Kellerisolatoren) mussten die Leitungen jedoch festgebunden werden. Dafür wurde «verzinkter Eisenbindedraht oder verzinnter blanker oder umsponnener Kupferdraht»[6, S. 61] empfohlen. Die HV von 1946 schreiben für feuchte Räume noch vor, die Leitungen mit «Pechschnur oder einem ähnlichen feuchtigkeitsbeständigen Bindemittel zu befestigen»[18, S. 90].

Obwohl nicht durch die HV reglementiert, scheinen sich einige Standard-Bindetechniken etabliert zu haben. Die älteste, dokumentierte Darstellung von 1898 (Abb. 6.7) zeigt den Kopf- und den Halsbund. Der Kopfbund setzt einen Isolator mit einer „Kopfrille“ voraus.

Eine dritte, einfachere Technik wird erstmals durch Siemens im „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ dargestellt (Abb. 6.8). Siemens empfiehlt auch, die Leiter an den Bindestellen durch die Umwicklung mit Isolierband zu schützen[6, S. 61].

6.1.5. Zeitraum der Verwendung

In den HV von 1954[18] wird die offene Verlegung auf Isolierrollen noch behandelt, in den Vorschriften von 1960[25] jedoch nicht mehr erwähnt. In der technischen Literatur wird sie ebenfalls 1954 das letzte Mal beschrieben[22, S. 25]. Der „Schweizer Baukatalog“ schränkt bereits 1945/46 das Einsatzgebiet der Isolierrollen stark ein: «Offene Montage isolierter Drähte auf Isolierrollen und Isolatoren kommt heute nur noch in solchen Räumen in Frage, in denen sich Rohrmontage nicht eignet und Bleikabel durch ätzende Dünste angegriffen werden.»[17, S. 512] Daher ist fraglich, ob die offene Verlegung in den 1950er oder 1960er Jahren noch in grösserem Umfang eingesetzt wurde.

In Anbetracht der raschen Verbreitung von thermoplastischen Mantelleitungen, welche direkt mit Briden auf der Wand befestigt werden dürfen (siehe Abschnitt 6.4 auf Seite 98), ist von einem eher geringen Umfang auszugehen.

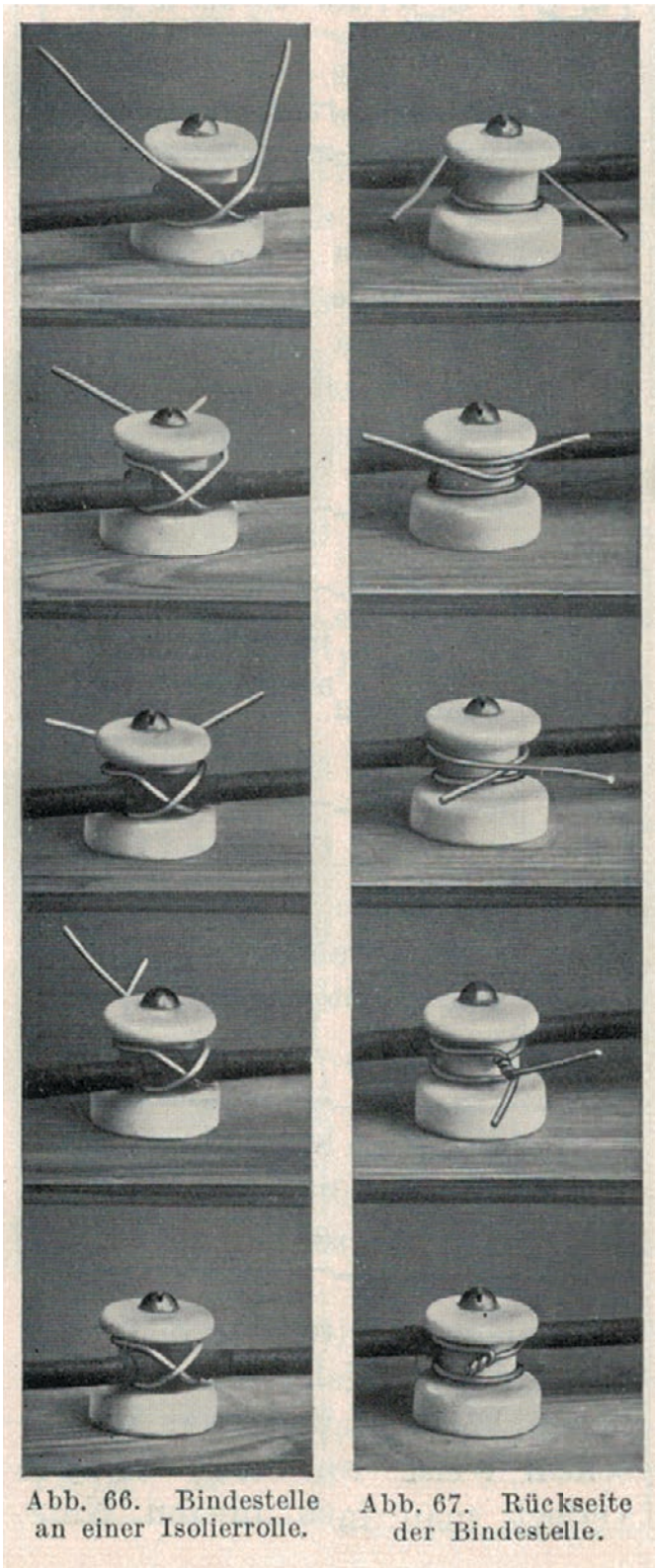


Abb. 66. Bindestelle an einer Isolierrolle.

Abb. 67. Rückseite der Bindestelle.

Abbildung 6.8.: Kreuzbund, Vorder- und Rückseite (links, rechts). Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ 1922 [6, S. 61]

Abbildung 6.9.: Verschiedene Verlegungsarten nebeneinander. V.l.n.r. Rohrdraht, Isolierrollen, in Holzleisten, auf Klemmen, Kuhlo-Rohrdraht, Bergmannrohr. Quelle: Museum Eckernförde, Elektrosammlung Wesnigk

6.2. Verlegung in Holzkanälen

Im 19. Jahrhundert wurden Leitungen Aufputz in Holzkanälen verlegt (Abb. 6.2 und 6.9 auf Seite 80 und auf der vorherigen Seite). Diese Verlegeart verschwand bald wieder.

6.3. Verlegung in Rohren

Abbildung 6.10.: Panzerrohr in Abzweigdose geschraubt. Durchmesser Abzweigdose ca.6 cm. Villa Langmatt Baden, Februar 2024

Eine der ersten Verlegearten ist die Verlegung im Rohr. Auch heute noch wird die Verlegung in Installationsrohren angewendet, sowohl Aufputz, als auch Unterputz. Die Kabel werden meist nachträglich eingezogen. Historisch wird zwischen „Isolierrohren“ aus Porzellan, Glas, imprägniertem Papier oder Hart- oder Weichgummi[2][8, S. 64] und „armierten Isolierrohre“, die zusätzlich über einen dünnen Metallmantel verfügen, unterschieden. Panzerrohre (Abb. 6.10) sind mit einem stärkeren Metallmantel ausgestattete als armierte Isolierrohre. Ohne die Papierisolierung wird nur von „Metallrohren“ gesprochen[8, S. 134].

Biegsame Gummi-Rohre werden von Siemens in Zürich unter dem Namen „Protoflex“-Rohr in den 1930er Jahren angeboten.[9, S. 265]

[2]Der Verfasser nimmt Hinweise zu noch existierenden Installationen mit Papier oder Gummi sehr gerne entgegen.

Abbildung 6.11.: Bergmannrohr mit 2 einadrigen Leitungen. Gut zu erkennen ist die Papierisolation und der Falz des Blechmantels. Quelle: Wikipedia, Foto: Andreas Gortan - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, `https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=131271544`

6.3.1. Hersteller

Folgende Schweizer Hersteller waren in der Isolierrohrproduktion tätig:

- Câbles Cortaillod
- Daetwyler, ehem. Schweizerische Kabel-, Gummi- und Kunststoffwerke Altdorf (Uri)[29, S. 503]
- Hermann Lanz AG., Murgenthal
- Isolierrohr-Fabrik Hallau AG, Hallau (1960)
- Jansen
- Kabel- und Drahtwerke Cossonay-Gare[17, S. 544]
- Kopex
- Rohrfabrik Rüschlikon (gegr. 1938), sei 1999 Teil der Plica AG
- Tuflex (startet als Produzent von Kopex-Rohren[30, S. 19])

6.3.2. Bergmannrohr

Als Synonym für Isolierrohre aus gefalztem Blech und einer Teerpappeauskleidung («bituminised paper»[24, S. 107]) wird „Bergmannrohr“ verwendet. Die Bezeichnung geht auf den Erfinder Sigmund Bergmann zurück, ein ehemaligen Mitarbeiter Thomas A. Edison. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland gründete er 1891 die „S. Bergmann & Co.“, die spätere „Bergmann Elektrizitätswerke AG Berlin“.[5, S. 26f]

Am häufigsten kommt Eisen/Stahl- seltener Messingblech zum Einsatz. Stahlblech wurde zum Korrosionsschutz mit einer Blei- oder Kupferschicht überzogen. Die Rohre wurden Auf- oder Unterputz verlegt. Für die Aufputzmontage wurden sie meist mit Briden[3] an Wände und Decken geschraubt. Unterputz galt es zu beachten: «Blei wird u. a. von feuchtem Kalk- oder Zementmörtel stark angegriffen. Gipsmörtel oder reiner Gips wirken dagegen auf Blei weniger ein ; in dauernd trockenem Zustand greifen diese Verputzmittel Blei fast nicht mehr an. Es soll deshalb auf möglichst rasche Austrocknung der Mörtelschichten Bedacht genommen werden»[8, S. 82]. Den erste Hinweis auf Vertriebsaktivitäten in der Schweiz liefert eine Anzeige im

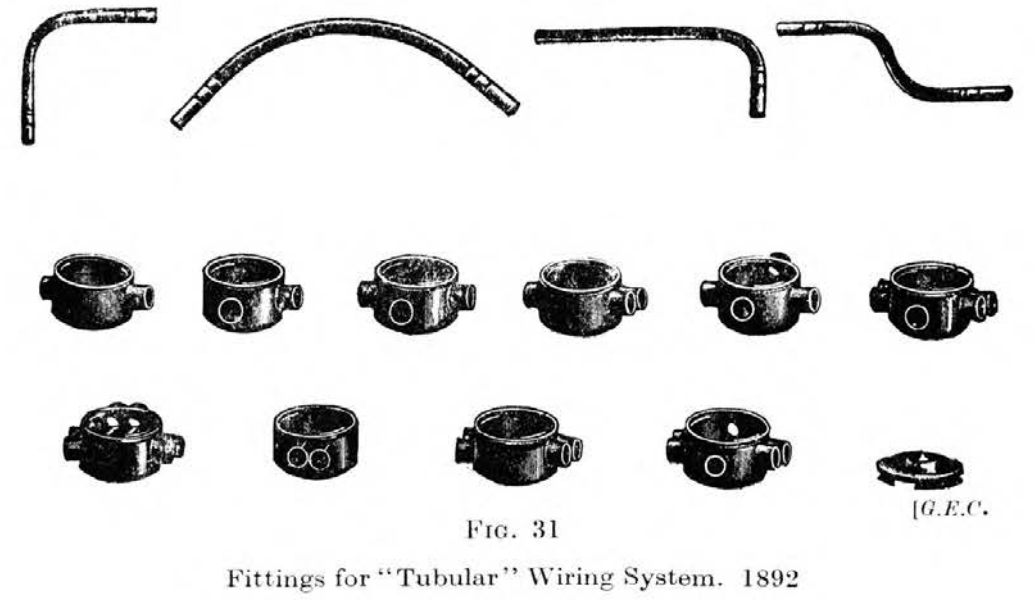


Abbildung 6.12.: Bögen und Dosen für das Bergmannsystem, General Electric Company (G.E.C.) 1892. Quelle: „The history of electric wiring“ 1957 [24]

Schweizerisches Handelsamtsblatt (SHAB) der Firma Moesle & Co. Zürich im Jahr 1900[2]. Die Markenanmeldung für «Bergmann Isolirrohre[sic]» erfolgt 1907 durch die Bergmann-Elektricitäts-Werke Berlin[3].

Das letzte Mal tauchen verbleite Blechmantel-Rohre nach dem System Bergmann in der Werbung Anfang der 1960er Jahre auf. Die letzte dem Verfasser bekannte Installation stammt aus dem Jahr 1971. Die PTT streicht das Bergmann-Rohr 1979 aus der Liste der gebräuchlichsten Rohrarten[31, S. 130].

6.3.3. Papierauskleidung

Siemens schreibt über die Papierauskleidung der Rohre: «Die Isolierung der „Isolierrohre“ ist keine elektrische Isolierung, weil die Papierauskleidung hygrosko-

[3] Deutschland: Schellen

(a) Zwei Bergmannrohre mit einer Muffe verbunden und am Balken mit 2 Briden befestigt. Rechts sind Einkerbungen mit einer Rohrbiegezange zu sehen

(b) Defekte Porzellan-Endmuffe neben einem Bergmannrohr

Abbildung 6.13.: Bergmannrohre Detailaufnahmen, Löwenplatz Baden, Fotos: André Lison 2020

pisch ist, dagegen eine Wärmeisolierung, die bei geringen Temperaturschwankungen die Kondenswasserbildung verzögern kann. Das letztere gilt auch von den Gummirohren.»[6, S. 65] Auch die Prüfvorschriften des SEV für Isolierrohre von 1949[19] schreibt nur mechanisch/chemische Tests, aber keine Messung des Isolationswiderstandes vor.

Gegen diese Argumentation spricht, dass die thermische Isolierwirkung derart dünner Schichten äusserst gering ist (vgl. Abschnitt 11.1.1 auf Seite 146). Der Effekt gegen Kondenswasser bei «geringen Temperaturschwankungen» dürfte gegen Null gehen. Ein Tauwasserausfall im Rohr wird jedoch durch die «hygroskopische Papierauskleidung»(s.o.) nur sehr langsam abtrocknen, was sicher deutlich grössere Problem verursachen würde, als nur kurzzeitige Feuchtigkeit. Unter dieser Betrachtungsweise erscheint einzig die elektrische Isolation plausibel - vorausgesetzt, dass die Isolation nicht übermässig Feuchtigkeit aufnimmt.

Schlussendlich ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, dass die Isolation in jeder Hinsicht nutzlos ist, was Blumenthal bereits 1915 statuiert: «[...] während der durch die Papierauskleidung gewährte Isolationsschutz mehr oder weniger unnötig und sogar problematisch ist, da die modernen, vorzüglichen Gummiaderleitungen nicht wie die früheren Gummibandleitungen eines weiteren isolierenden Schutzes bedürfen, lange Rohrstränge den Einflüssen der Feuchtigkeit ausgesetzt sind und die Isolierauskleidung wasseranziehend wirkt. Es ist eine jener Trägheiten, als überflüssig erkannte Dinge fortbestehen zu lassen, die das Isolierrohr seit nahezu 25 Jahren in unveränderter Form erhalten hat.»[5, S. 112]

Es bleibt festzustellen, dass die Bestimmung der Papierauskleidung weiterhin rätselhaft ist.

Abbildung 6.14.: Bergmannrohr kunstvoll an Gewölbe angepasst, mit Winkeln und Muffen, im Hintergrund eine offene Installation auf Porzellanrollen. Casa Desax, Trun, Foto: André Lison 2024

6.3.4. Zubehör

Die Rohre können beliebig geformten Wandoberflächen angepasst werden, indem sie mittels einer speziellen Rohrbiegezange eingekerbt und dann gebogen werden (Abb. 6.13a und 6.14 auf der vorherigen Seite und auf dieser Seite). Abb. 6.15 auf der nächsten Seite zeigt die dazu eingesetzten Zangen. Alternativ konnten vorfabrizierte Winkel und T-Stücke verwendet werden (Abb. 6.12 auf Seite 89). Diese bestanden aus zwei Halbschalen, die zum Einziehen der Leitung geöffnet wurden.

Zum Schutz des Kabel beim Einziehen gegen Verletzung der Isolation wurden und werden die Isolier-/Installationsrohre mit Endmuffen versehen. Historisch bestanden diese aus Porzellan, später auch aus Metall, sind heute jedoch überwiegend aus thermoplastischem Material gefertigt (Abb. 6.13b).

6.3.5. Biegsame Isolierrohre „Kopex“

Die Ende 1938 gegründete Firma Kopex[12] stellte an der 1940 stattfindenden Schweizer Mustermess in Basel als Weltneuheit das Kopex-Rohr vor: «Zwei sich überlappende, mit Isoliermasse getränkte Papierbänder werden laufend auf einen Dorn gewickelt. Ueber die Bänder wird eine Metallbandspirale geschlungen. Das sich derart bildende Rohr wird sofort zusammengepresst und gerillt, so dass es ausserordentlich biegsam ist.»[15, S. 33] Später kam auch teilweise eine abschliessende Plastikschicht hinzu[24, S. 122]. Abb. 6.16 auf der nächsten Seite zeigt ein derartiges Isolierrohr.

Abbildung 6.15.: Zwei Rohrbiegezangen für Bergmannrohre. Beide Zangen sind für 16 mm Rohre, haben allerdings unterschiedliche Biegeradien. Foto: André Lison 2024

Abbildung 6.16.: Flexibles Isolierrohr, mutmasslich "Kopex", Durchmesser 20 mm, Wohnhaus Graubünden, ca. 1950, Foto: André Lison 2024

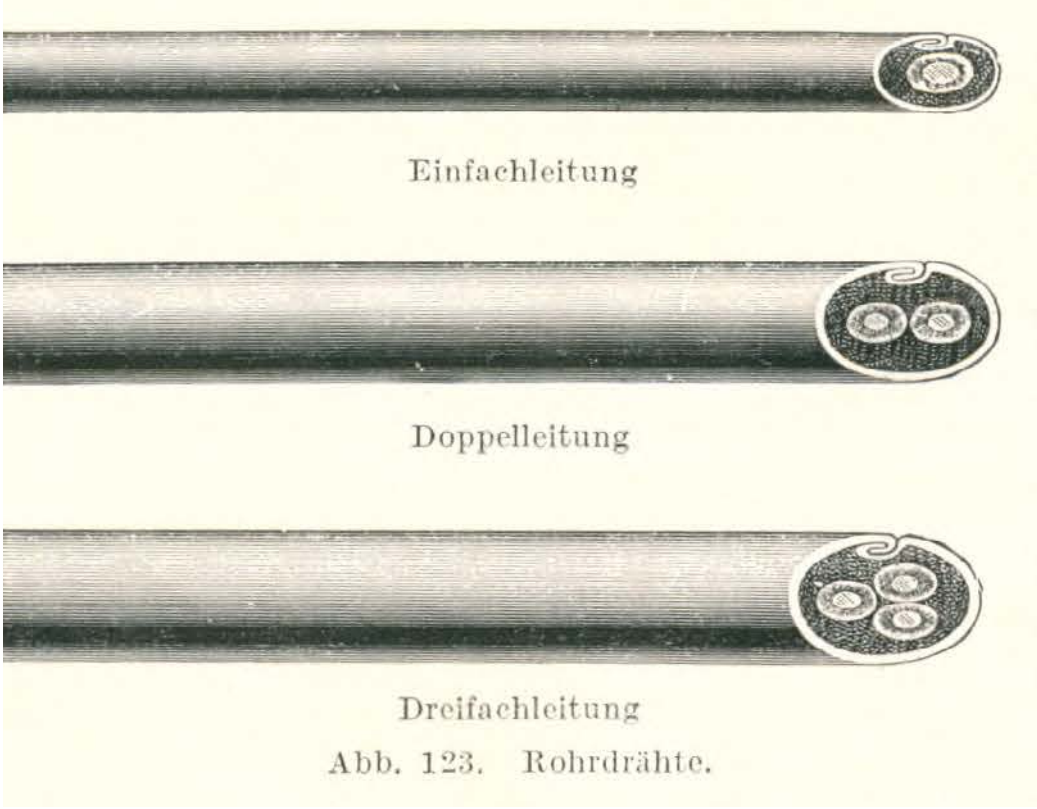


Abbildung 6.17.: Rohrdraht. Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ 1922 [6, S. 83]

6.3.6. Rohrdraht/Manteldraht

Die Probleme des Isolierrohrs addressieren die „Rohrdrähte“. Um Kondenswasser im Rohr zu vermeiden, werden die Metallrohre direkt mit eingelegtem Kabel und mit ausgefülltem Zwischenraum produziert (Abb. 6.17). Das ermöglicht deutlich schlankere Rohre, die sich bei Ausführungen mit wenigen Adern auch von Hand biegen lassen. Bekannt ist vor allem der Kuhlo-Rohrdraht, benannt nach seinem Erfinder Ernst Kuhlo. «Diese Erfindung wurde trotz ihrer erheblichen wirtschaftlichen Bedeutung und ihres weiten Anwendungsbereichs vom Deutschen Patentamt nicht anerkannt und nur mit einem Gebrauchsmuster geschützt[...]. Die Vorzüge dieses Leitungssystems wurden sehr schnell von den Siemens-Schuckert Werken erkannt und über die ganze Welt verbreitet.»[32, S. 44] Der Mantel bestand aus Messing, Kupfer- oder Stahlblech und war mit einer Gummi-Bitumen-Mischung ausgefüllt[32, S. 45]. Zu den Rohrdrähten gehörten auch spezielle Abzweigdosen („Klemmhäuschen“) und anderes Zubehör.

Anscheinend hat die Firma „Hartpapier-Industries A.-G., Altdorf/Uri“ Anfang des 20. Jahrhunderts die Rechte für die Produktion des Kuhlo-Rohrdrahts von Siemens erworben. Nach ihrer Liquidation im Januar 1908 wurden die verbleibenden Aktiva

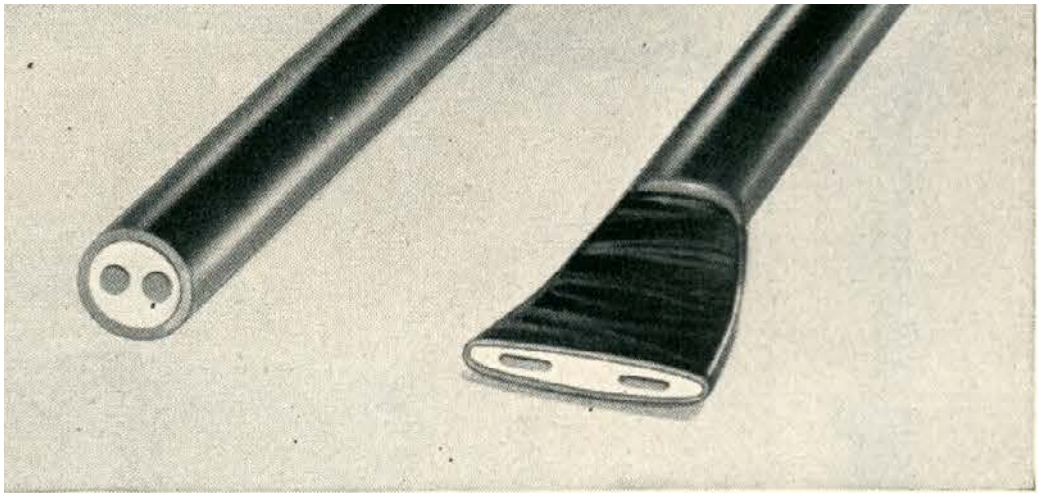


Abbildung 6.18.: Cortaillod Pyrotenax: «Flachgehämmerter Leiter. Trotz der sehr starken Verformung sind die Leiter untereinander und gegen den äu'seren Mantel isoliert». Quelle: „Schweizer Baukatalog 1951/52" 1952 [21, S. 776]

offensichtlich von der Neugründung der «A.G. für elektr. Isolirmaterial & Papierprodukte, Altdorf (Uri)» übernommen, so auch die Rechte am Kuhlo-Draht[4]. Weiter wird angenommen, dass diese Gesellschaft in die Schweizerische Draht- und Gummiwerke Altdorf (Gründung 1909, ab 1946 Dätwyler AG) überging. Ob die Rechte bei der SDG verblieben und ob Kuhlo-Draht produziert wurde, ist unbekannt.

Cortaillod, im Übrigen die «weltweit erste Fabrik für elektr. Kabel mit Bleimantel»[33], bewirbt im Schweizer Baukatalog 1951/52 einen Rohrdraht namens „Pyrotenax" (Abb. 6.18). Mit einer Isolation aus Magnesiumoxid und einem nahtlosen Schutzmantel aus Kupfer wird er als «der unbrennbare elektrische Panzerleiter» vorgestellt[21, S. 776]. Bei „Pyrotenax" handelt es sich um ein Redistribution des gleichlautenden Produkts der «Société Alsacienne de Constructions Mécaniques» in Mulhouse/FR[13, S. 259]. Obwohl während des Krieges genug Bestellungen für dieses Kabel eingegangen sind, blieben die Lieferungen des französischen Lieferanten aus[16]. Nach dem Krieg gibt es mit Ausnahme des Schweizer Baukatalogs (s.o.) keine Hinweise auf einen weiteren Vertrieb.

Ein weiteres und nur kurz in der Schweiz beworbenes Rohrdrahtsystem ist das „Anthygron"-System, ebenfalls von Siemens.[9, S. 265]

Ehlers und Lau erwähnen in „Kabel-Herstellung", dass Rohrdraht ausserhalb Deutschlands weniger bekannt ist[23, S. 13].

Schweizer Hersteller von Rohrdraht sind ebenfalls die Firmen Tuflex und Kopex, möglicherweise aber nicht nach dem „System Kuhlo" oder „Anthygron". In den 1970er Jahren werden Rohrdrähte allgemein das letzte Mal im Handelsamtsblatt und in der Werbung erwähnt.

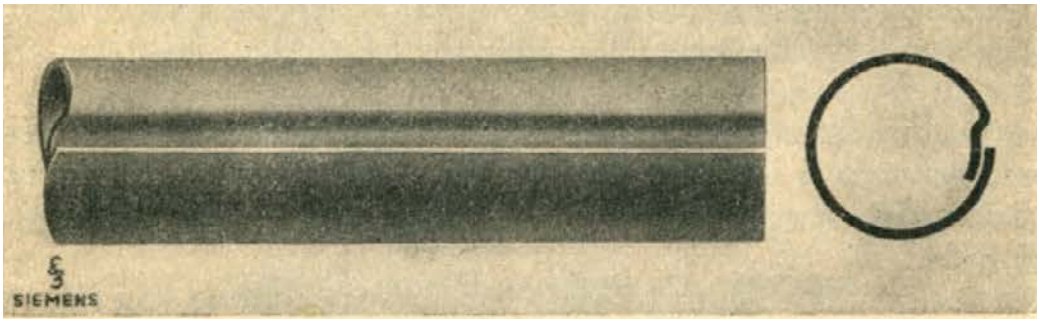


Abbildung 6.19.: Siemens Peschel-Rohr. Quelle: „Siemens Peschelrohr“ 1939 [14]

6.3.7. Peschel-Rohr

Ein weiteres bekanntes Rohrsystem, dessen Hersteller Siemens war, wird «Peschel-Rohr» genannt (Abb. 6.19). Siemens schreibt 1939: «Gutes Aussehen, hohe mechanische Festigkeit bei geringstem Kostenaufwand und leichte Montage sind die charakteristischen Merkmale der Peschelrohrverlegung. Peschelrohr ist widerstandsfähiger als Isolierrohr und billiger als Stahlpanzerrohr.»[14, S. 3] Das innen und aussen mit schwarzem, eingebranntem Lack überzogene Stahlrohr wurde erstmals in den 1900er Jahren eingesetzt. Zum Einsatz in der Schweiz konnten nur einige Anzeigen der Siemens-Schuckertwerke Zürich im „Bulletin technique de la Suisse romande“ 1911-1927 und eine Erwähnung im „Schweizer Baukatalog“ 1932[9, S. 265] gefunden werden. Es wird daher von einer eher geringen Verbreitung ausgegangen.

Rohre aus Kunststoffen

Wie bereits in Abschnitt 5.3.4 auf Seite 70 erwähnt, bestanden die ersten PVC-Rohre aus weichmacherfreiem PVC-U. Obwohl keine Hinweise auf den Einsatz der PVC-U-Rohre Ende der 1930er Jahre in der Hauselektrik gefunden wurden, lassen die günstigen Eigenschaften (guter elektrischer Isolator, chemikalienbeständig, schwerentflammbar, physiologisch einwandfrei) eine Verwendung in der Hauselektrik wahrscheinlich erscheinen[34].

Ab 1949 wurden in Deutschland auch Polyethylen Low Density (PE-LD) zu Rohren verarbeitet. 1953 gelang die Erzeugung von Polyethylen HD durch Phillips und Standard Oil und 1954 folgte die Polymerisation von Polypropylen (PP) und Polybuten-1 (PB) durch Natta. In Deutschland wurden die ersten Polyethylen-HD-Rohre 1954 hergestellt, welche in den 1960er Jahren in der Gasversorgung die PVC-U-Rohre fast vollständig verdrängten[34, S. 4f].

Die Unterkommission der Commission Internationale de Réglementation en vue de l’Approbation de l’Equipement Electrique (CEE) zur Normung der Elektro-Installationsrohre stellte 1965 fest, dass 10 Jahre zuvor noch das Stahlrohr mit und ohne Gewinde im Vordergrund stand und «in etwas geringerem Masse das Bergmannrohr, doch war schon damals [1955, Anm. d. Verf.] eine deutliche Tendenz in Richtung

Kunststoffrohr (Hart-PVC-Rohr) feststellbar. In der Schweiz wurden in jener Zeit bereits Versuche mit elastischen Kunststoffrohren (Polyäthylen[sic]), die heute in der Schweiz den überwiegenden Anteil ausmachen, durchgeführt.»[28, S. 1038]

Unter dem Namen „Kabelschutzrohr“ oder Kunststoff-Installationsrohr (KIR) werden PVC- und PE-Rohre bis heute eingesetzt.

Abbildung 6.20.: Dätwyler produzierte in den 1960er Jahren sowohl traditionelle, als auch neue, thermoplastische Installationsrohre. Quelle: Bulletin des SEV 1962[26]

6.4. Neuere Verlegearten

Die gute Isolation, die mechanische Robustheit und die Unempfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit der modernen Mantelleitungen ermöglichten neue Verlegearten. Erstmals dokumentiert und zugelassen wurden diese im „Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins“ 1960 [25, S. 76, S. 80]:

- Verlegung unmittelbar auf Gebäudeteilen
- Verlegung in rohrartigen Aussparungen in Beton
- Nachträglich in Schlitzen
- In Kanälen und Tablaren
- auf Isolierunterlagen

6.4.1. In Kanälen und Tablaren

Ein weiterer Rationalisierungsschritt war die Einführung der thermoplastischen Kabel- und Brüstungskanäle (Abb. 6.21). Die Brüstungskanäle erlaubten die effiziente Verlegung von Niederspannungs- und Kommunikationsleitungen kombiniert mit dem Einbau der Steckdosen und Schaltern. Durch die leicht abnehmbare Blende wurden Wartung, Ergänzung und Fehlersuche ohne bauliche Massnahmen ermöglicht. Sie kamen und kommen vornehmlich aber nicht ausschliesslich in Gewerbe- und Bürobauten, sowie medizinischen Einrichtungen, Schulen etc. zum Einsatz.

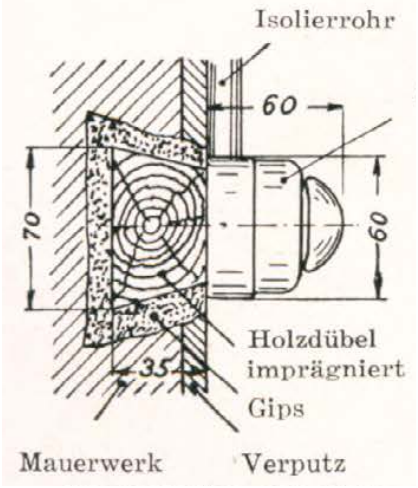
Abbildung 6.21.: «Brüstungskanal mit Feller-Steckdose 10 A / 220 V und Feller-Telephonsteckdose»[27, S. 26], Quelle: „Feller Katalog“ 1964

6.5. Dübel

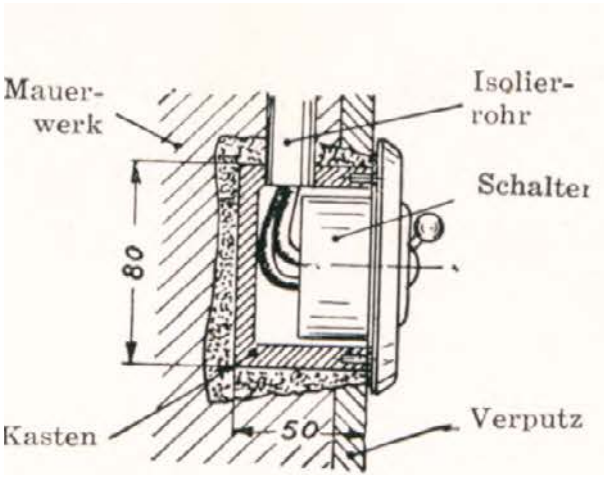
Wurde die Elektroinstallation nicht auf Holz oder Unterputz verlegt, so stellt sich die Frage der Befestigung. Damals wie heute wurden Dübel in die Wand eingebracht, um darin Schrauben zu befestigen.

Holzdübel

Bis mindestens in die 1950er Jahre wurden Holzdübel verwendet[20, S. 105]. Entweder beim Erstellen des Baus oder nachträglich durch Stemmarbeiten wurden Holzleisten- und blöcke in die Wand eingebracht (Abb. 6.4 und 6.24 auf Seite 82 und auf Seite 102). Alternativ werden seit ca. 1914 Einlasskästen verwendet, welche erst aus Holz, dann aus Bakelit und später aus Thermoplast gefertigt sind(Abb. 6.22b auf der nächsten Seite).

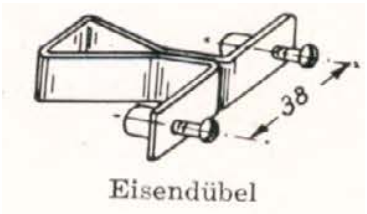


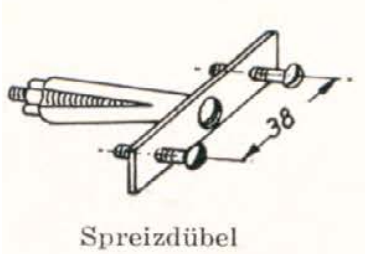
(a) Installation Aufputz mit Holzdübel



(b) Installation Unterputz im hölzernen Einlasskasten

Abbildung 6.22.: Holzdübel und Einlasskasten. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1936 [11, S. 115]





(a) Einige Typen von Stahldübeln

(b) Werbung für Niedax-Stahldübel

Abbildung 6.23.: Stahldübel. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1936 [11, S. 154]

Wie Abb. 6.22 zu entnehmen ist, kann die Erstellung von Holzdübeln aufwendig sein. Siemens schreibt dazu: «Die Verwendung von Holzdübeln sollte möglichst eingeschränkt werden, weil deren Einsetzen weit mehr Montagezeit erfordert als die der vorstehend genannten Dübel [Stahldübel, Anm. d. Verf.]; insbesondere ist dies der fall bei harten Betonwänden.»[14, S. 8f]

Dübel aus Metall

Metalldübel, meist aus Stahl werden mindestens seit 1915[5, S. 124] verwendet. Es existieren verschiedene Typen, die hier nicht alle aufgeführt werden können. Einige

können direkt in ein Bohrloch eingesetzt werden, anderen benötigen ein Gips- oder Mörtelbett im Bohrloch oder werden als Bandstahl eingemauert (Abb. 6.23). Wieder andere werden mit einem Hammer in den ausgehärteten Mörtel geschlagen.

Nylondübel

Die oben erwähnten Niedax-Dübel (Abb. 6.23b) wurden nach dem 2. Weltkrieg aus Plastik gefertigt. Thormans fertigte ab 1957 und Fischer ab 1958 Spreizdübel aus Nylon[35].

Abbildung 6.24.: Grosser Holzdübel mit Duroplast-Drehschalter ab 1946. Holzdübel zeigt noch Abdrücke eines früher dort befestigten Apparats, Berghotel Schatzalp, Foto: André Lison 2024

Literatur

[1] A. Wilke, *Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe*, 3. Aufl. Leipzig: Otto Spamer, 1898 (siehe S. 83).

[2] «Anzeige: Isolierrohre & Installationsmaterial,» ger, Schweizerisches Handelsamtsblatt, 30. Aug. 1900 (siehe S. 89).

[3] «Markeneintragung ”Bergmann Isolirrohre”,» ger, Schweizerisches Handelsamtsblatt, 31. Juli 1907 (siehe S. 89).

[4] «Anzeige: A.G. für elektr. Isolirmaterial & Papierprodukte, Altdorf (Uri),» ger, Schweizerisches Handelsamtsblatt, 83 3. Apr. 1908 (siehe S. 94).

[5] D. Blumenthal, *Die Bedeutung der deutschen elektrotechnischen Spezialfabriken für Starkstrom-Erzeugnisse und ihre Stellung in der Elektro-Industrie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1915 (siehe S. 88, 90, 100).

[6] P. Stern, *Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft*, ger. Literarisches Bureau der Siemens-Schuckertwerke, 1922 (siehe S. 80, 83, 84, 85, 90, 93).

[7] C. Michalke, *Siemens Handbücher - Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik*, ger. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co., 1925, Bd. 1 (siehe S. 79, 83).

[8] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, II. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1928 (siehe S. 79, 81, 87, 89).

[9] A. Hässig, *Schweizer Baukatalog*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1932 (siehe S. 87, 94, 95).

[10] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, IV. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1936 (siehe S. 81).

[11] K. Grütter, *Elektrizität und Bauen*, ger. Stuttgart: Franckh’sche Verlagsbuchhandlung, 1936 (siehe S. 100).

[12] «Hauptregister,» ger, Schweizerisches Handelsamtsblatt, 8. Dez. 1938 (siehe S. 91).

[13] «Mitteilungen,» *Schweizerische Bauzeitung*, Jg. 111/112, Nr. 20, 14. Mai 1938 (siehe S. 94).

[14] Siemens-Schuckertwerke AG, *Siemens Peschelrohr*, ger, Berlin-Siemensstadt, 1939 (siehe S. 95, 100).

[15] «Die schweizerische elektrotechnische Industrie an der Schweizer Mustermesse Basel 1940,» *Schweizer Elektrorundschau - Beiblatt zu ”Wasser- und Energiewirtschaft”*, Jg. 32, Nr. (7-8), S. 31, Aug. 1940, ISSN: 0043-096X. DOI: 10.5169/seals-922106. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-922106 (siehe S. 91).

[16] «Société d’exploitation des câbles électriques de Cortaillod,» 3 12. März 1943. Adresse: https://e-newspaperarchives-ssc.veridiansoftware.com/?a=d&d=NZZ19430312-03.2.16.1 (siehe S. 94).

[17] A. Roth, *Schweizer Baukatalog 1945/46*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1945 (siehe S. 84, 88).
[18] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen 1946, mit Aenderungen und Ergänzungen seit 1937*, VI - Publ. Nr. 152. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1946 (siehe S. 79, 81, 83, 84).
[19] *Vorschriften für Isolierrohre, mit Ausnahmebestimmungen (die nur bis Ende 1949 gültig sind)*, I. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1949 (siehe S. 90).
[20] H. Hofstetter, R. Spieser, J. Elsener und N. Felber, *Elektrizität und Bauen*, ger. Zürich: Verlag «Elektrowirtschaft», Schweizerische Gesellschaft für Elektrizitätsverwertung, 1950 (siehe S. 99).
[21] A. Roth, *Schweizer Baukatalog 1951/52*, ger;fre. Zürich: Bund Schweizer Architekten, B.S.A., 1952 (siehe S. 94).
[22] W. Oburger und E. Vrana, *Handbuch Werkstoffe der Elektrotechnik*. München, Wien, Schaffhausen: Reinhold Schmidt-Verlag, 1954 (siehe S. 84).
[23] W. Ehlers, *Kabel-Herstellung, Kabelaufbau, Werkstoffe, Verfahrenstechnik*, ger, 1st ed. 1956. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1956, ISBN: 3-642-92670-3 (siehe S. 94).
[24] J. Mellanby, *The history of electric wiring*. London: Macdonald & Co. Ltd., 1957. Adresse: https://books.google.ch/books?id=1PVIAQAAIAAJ (siehe S. 80, 88, 89, 91).
[25] *Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Diese Vorschriften treten am 1. Juli 1961 in Kraft*, I. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1. Sep. 1960 (siehe S. 84, 98).
[26] «Anzeige Installationsrohre,» de, *Bulletin des SEV*, Nr. 17, 1962 (siehe S. 97).
[27] Adolf Feller AG, *Feller Katalog*, ger. Horgen (Schweiz): Adolf Feller AG Horgen, 1964 (siehe S. 99).
[28] «Europäische Normung der Elektro-Installationsrohre,» de, *Bulletin des SEV*, Nr. 56, 13. Nov. 1965. DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916424 (siehe S. 96).
[29] C. Kobelt, «50 Jahre Dätwyler AG Altdorf,» *Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe*, 12 1965. Adresse: https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=cmt-003:1965:43::734 (siehe S. 88).
[30] G. Dussex, «25 Jahre Tuflex AG,» *der Schiblianer - Hauszeitung der Firma Hans K. Schibli AG Elektrische Unternehmungen*, Juli 1976. Adresse: https://www.schibli.com/wp-content/uploads/2021/01/Schiblianer_1976-1_web.pdf (siehe S. 88).
[31] P. Günter, «Vorschriften und Erläuterungen für die Erstellung von Hausinstallationen im Anschluss an das öffentliche Fernmeldenetz,» *Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe*, Heft 4 1980 1979 (siehe S. 89).
[32] D. Kirchner, *Ernst Kuhlo, Ein Pionier der Elektrotechnik in Stettin* (Stettiner Heft). Kiel: Historischer Arbeitskreis Stettin, 2002 (siehe S. 93).

[33] E.-A. Klauser. «Câbles Cortaillod,» hls-dhs-dss.ch. (4. Nov. 2004), Adresse: https://hls-dhs-dss.ch/articles/041955/2004-11-04/ (besucht am 01. 12. 2024) (siehe S. 94).

[34] E. Barth, «Entwicklungsgeschichte der PVC-Rohre,» de, *KRV NACHRICHTEN*, Nr. 2, 2007. Adresse: https://www.krv.de/system/files/downloads/2007-2_entwicklungsgeschichte-pvc-rohre.pdf (siehe S. 95).

[35] «Dübel.» Page Version ID: 250236513. (11. Nov. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=D%C3%BCbel&oldid=250236513 (besucht am 01. 12. 2024) (siehe S. 101).

[36] A. Wenzler. «KühlhausBerlin, Geschichte.» (), Adresse: https://www.kuehlhaus-berlin.com/de/uber-kuhlhaus/geschichte-2/ (besucht am 27. 11. 2024) (siehe S. 82).

7. Chronologie - Zeitstrahl

Für eine bessere Übersicht wurden die Daten der vorangegangenen Kapitel in zwei Zeitstrahlen zusammengefasst. Häufig sind Anfangs- und Enddaten nicht genau zu bestimmen oder es herrscht Unsicherheit über den Umfang des Einsatzes etc. Diese Bereiche sind auslaufend dargestellt. Bekannte und exakte Daten werden durch scharfe Kanten und gesicherte Bereiche durch deckende Farben symbolisiert.

Die Daten wurden in 7 Kategorien eingeteilt und farblich gekennzeichnet:

- Politik, Gesellschaft, Normen, Vorschriften, Gesetze
- Hersteller. Es wurden nur Zeitbereiche berücksichtigt, in denen Material zur Hausinstallation hergestellt wurde.
- Materialien
- Schalter und Steckdosen
- Anderes Installationsmaterial (Isolierrohre etc.)
- Kabel und Leitungen
- Aderfarben

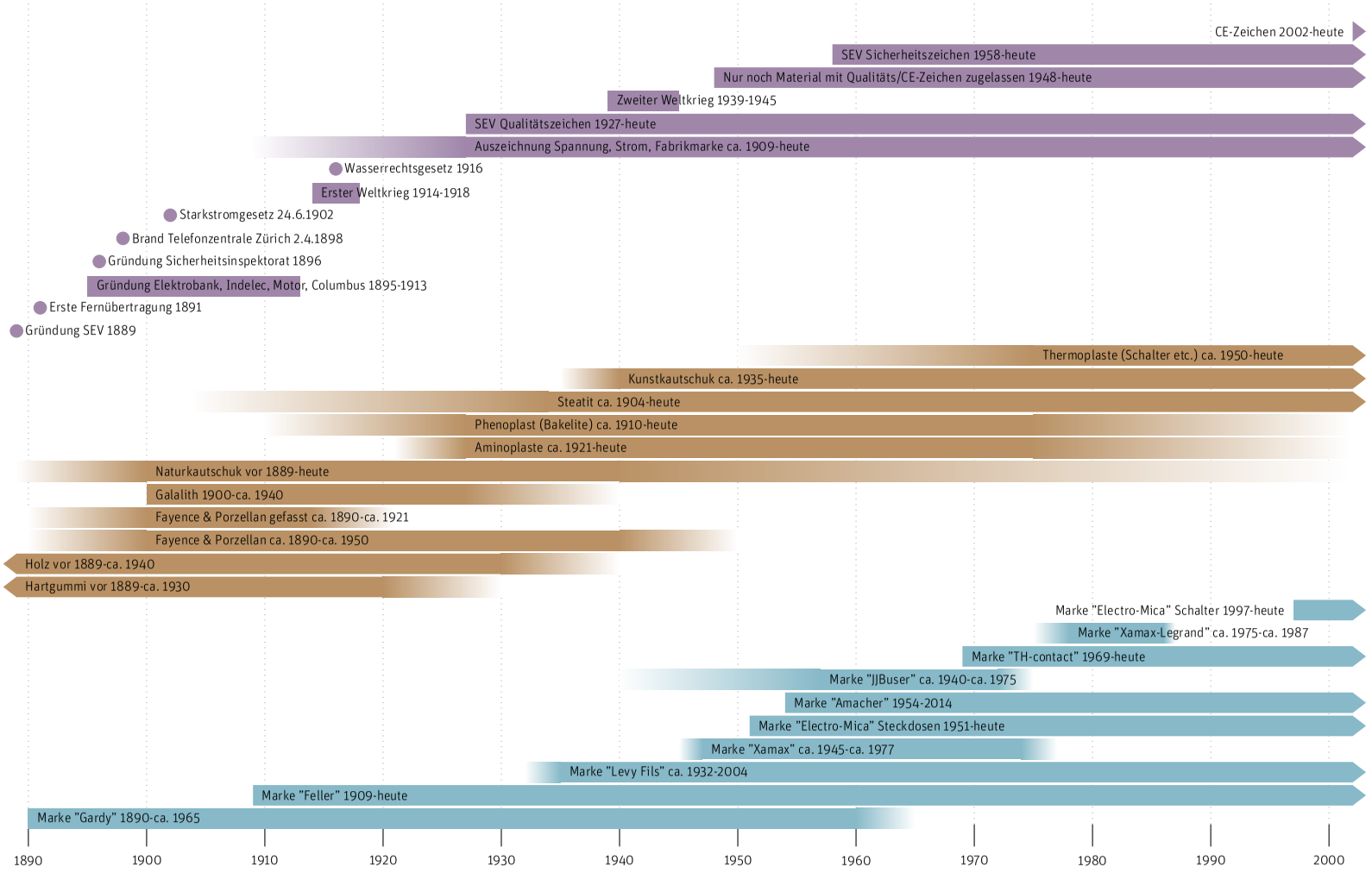


Abbildung 7.1.: Chronologie der Politik, der Hersteller und des Materials

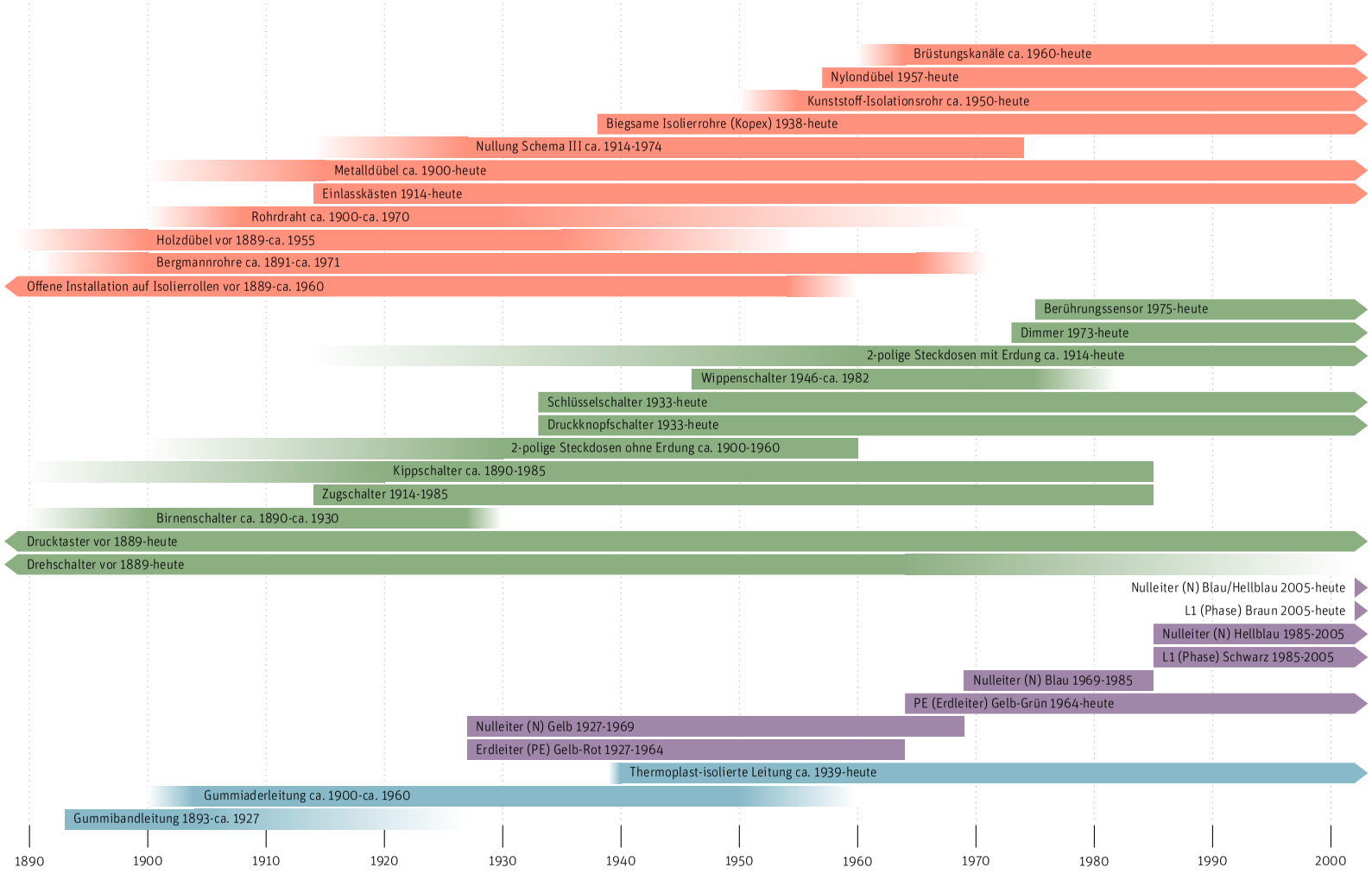


Abbildung 7.2.: Chronologie der Apparate, des Installationsmaterials und der Leitungen

Teil II.

Elektrotechnik

8. Gesetze, Vorschriften und Normen

> *Es wurde bei der Aufstellung dieser Vorschriften u. A. der Zweck verfolgt, auch für die schweizerischen Elektrizitätswerke ein einheitliches Regulativ über die Erstellung von Hausinstallationen im Anschluss an die elektrischen Zentralen zu schaffen, welches, ohne allzusehr auf Einzelheiten einzugehen, über welche verschiedene Ansichten herrschen, dennoch ohne weitere Zusätze allen Anforderungen genügen sollte.*
>
> „Vorschriften über Hausinstallationen“ 1900 [1]

Das „Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG)“[2] definiert den gesetzlichen Rahmen für die Erstellung und den Betrieb dieser Anlagen.

Die Voraussetzungen für das Arbeit an elektrischen Niederspannungsanlagen und deren Kontrolle sind in der „Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen“[8] geregelt, welche auch Niederspannungs-Installations-Verordnung (NIV) genannt wird.

Artikel 3 der NIN[4] definiert die grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit: «Elektrische Installationen müssen nach den anerkannten Regeln der Technik erstellt, geändert, in Stand gehalten und kontrolliert werden. Sie dürfen bei bestimmungsgemässem und möglichst auch bei voraussehbarem unsachgemässem Betrieb oder Gebrauch sowie in voraussehbaren Störungsfällen weder Personen noch Sachen oder Tiere gefährden.»[8] Dabei sind als «anerkannte Regeln der Technik» die Normen der Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC), CENELEC und eventuelle Schweizer Normen genannt.

Als Schweizer Norm gelten die Normen der Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) und die NIN in ihrer letzten Ausgabe von 2020[1]. «Die Niederspannungs-Installationsnorm (NIN) ist der wichtigste Standard für die Elektroinstallationsbranche in der Schweiz. Die Vorschriften betreffen sowohl die Installation neuer elektrischer Anlagen als auch Änderungen und Erweiterungen bestehender elektrischer Anlagen. Die NIN ist der Normenreihe IEC 60364 sehr ähnlich, von der sie die Struktur und einen großen Teil des Inhalts übernimmt. Sie berücksichtigt bestimmte nationale Besonderheiten»[7]

[1] Die NIN 2025 ist kurz vor Fertigstellung der Masterthesis erschienen. Die Änderungen gegenüber der NIN 2020 sind für diese Arbeit aber nicht relevant.

8.1. Bestandsschutz

Eine immer wieder auftauchende Frage ist, ob bestehende Gebäude an aktuelle Sicherheitsnormen angepasst werden müssen oder ob die zur Erstellungszeit gültige Norm angewendet werden kann.

Die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) schreibt dazu: «Bestandesschutz bedeutet, dass rechtmässig erstellte Bauten und Anlagen in ihrem Bestand geschützt sind. Diese dürfen grundsätzlich als sog. altrechtliche Bauten so, wie sie sind, weiterbestehen, unterhalten und weiterhin in der bisherigen Art genutzt werden. Dies, auch wenn sie neuen/heutigen Vorschriften und Normen nicht entsprechen. Die Pflicht zur Nachrüstung ist die Ausnahme.»[5]

Trotzdem kann der der Besitzer bei Schäden nach dem Obligationenrecht (Art. 58) haftbar gemacht werden. Vor allem im Bereich Elektrik gilt der Bestandsschutz nur stark eingschränkt:

«Der Eigentümer einer Anlage ist nach Art. 5 NIV in jedem Fall – auch wenn diese einem anderen Benutzer vermietet ist – für die Erhaltung des ordnungsgemässen Zustands der Elektroinstallation verantwortlich. Dies bedeutet, dass eine Anpassung dann erforderlich ist, wenn Sicherheitsmängel bestehen oder sich die Nutzungsbedingungen im Laufe der Jahre geändert haben.»[3]

Eine weitere Verschärfung für alte Anlagen mit Installationen nach Schema III (siehe Abschnitt 14.1.1 auf Seite 176) und/oder baumwollummantelten Leitungen hat das ESTI mit seiner Weisung 225 verfügt, welche am 1.8.2024 in Kraft getreten ist (siehe [6]). Auszugsweise heisst es: «Alte Anlagen sind auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen, wenn [...] sie für Mensch und Umwelt eine drohende Gefahr darstellen [...] In diesen Fällen wird der Grundsatz des Besitzstandsschutzes durchbrochen.» Weiterhin wird die Haftung bei Schäden auf den Eigentümer übertragen: «Belässt der Eigentümer eine Installation nach Nullung Schema III in Kenntnis der Tatsache, dass diese nicht mehr den Vorschriften von Artikel 3 bzw. 4 NIV entspricht, trägt er insbesondere bei einem Unfall während des Betriebs die Konsequenzen in zivil- und strafrechtlicher Hinsicht.»

Ungeachtet der Gesetzeslage soll noch auf zwei weitere Aspekte aufmerksam gemacht werden. Zum einen beeinträchtigen Sicherheitsmängel eines historischen Gebäudes dessen Gebrauchswert und erschweren eine zeitgemässe Nutzung. Zum anderen haben RestauratorInnen und DenkmalschützerInnen durch ihre Profession eine besondere Verantwortung gegenüber dem Gebäude. Aus Sicht des Autors ist die Inkaufnahme grosser, vermeidbarer Risiken für das Objekt (Elektrik = Brandgefahr) mit den Berufszielen, nämlich dem Erhalt und Schutz des Gebäudes, nur schwer vereinbar.

Literatur

[1] *Vorschriften über Hausinstallationen*, II. Zürich, Schweiz: Verlag des Schweizerischer Elektrotechnischer Vereins, Mai 1900 (siehe S. 113).

[2] «SR 734.0 - Bundesgesetz vom 24. Juni 1902 die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen.» (24. Juni 1902), Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/19/259_252_257/de (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 113).

[3] J. Schmucki. «Installationen nach Nullung Schema III.» ger. (31. Okt. 2017), Adresse: https://www.bulletin.ch/de/news-detail/installationen-nach-nullung-schema-iii.html (besucht am 04. 09. 2024) (siehe S. 114).

[4] Electrosuisse, *NIN 2020 NIBT, Niederspannungs-Installationsnorm, SN 411000:-2020 de*, 2020 (siehe S. 113).

[5] «Wann gilt der Bestandesschutz?» BFU. (ca. 2020), Adresse: https://www.bfu.ch/de/services/rechtsfragen/bestandesschutz-sicherheitsmassnahmen (besucht am 10. 10. 2024) (siehe S. 114).

[6] Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI, «Weisung zur Sanierung von Installationen nach Nullung Schema III,» de, 2024. Adresse: https://www.esti.admin.ch/inhalte/ESTI_225_0824.pdf (siehe S. 114).

[7] ouitonamaceo. «Wie mit der Niederspannungs-Installationsnorm NIN 2020 in elektrischen Anlagen für die Schweiz umgehen?» Trace Software. (5. Sep. 2024), Adresse: https://www.trace-software.com/de/wie-mit-der-niederspannungs-installationsnorm-nin-2020-in-elektrischen-anlagen-fur-die-schweiz-umgehen/ (besucht am 12. 11. 2024) (siehe S. 113).

[8] «SR 734.27 - Verordnung vom 7. November 2001 über... | Fedlex.» (), Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2002/22/de (besucht am 12. 11. 2024) (siehe S. 113).

9. Elektrotechnik/Elektronik

> *Die älteste Vorstellung von dem Wesen der Elektrizität als etwas Stofflichem, das z.B. dem Bernstein durch Reibung entlockt gedacht wurde, ist nach den neuesten Forschungen wieder in den Vordergrund gerückt. Zum Verständnis muß man die kleinsten Bausteine des Weltalls in Betracht ziehen. Die früher für nicht mehr weiter teilbar angesehenen Atome, aus denen sich die einzelnen Körper zusammensetzen, bestehen aller Wahrscheinlichkeit nach aus kleinen Kernen, um die die etwas größer gestalteten Teilchen, die Elektronen in einer oder mehreren Bahnen kreisen, wie die Planeten um ihre Sonne. Die Elektronen der verschiedensten Atome sind gleichartige Gebilde.*
>
> „Siemens Handbücher - Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik“ 1925 [3, S. 1]

Die Arbeit wendet sich an ein breites Publikum. Ein vertieftes elektrotechnisches Wissen ist für das generelle Verständnis der Arbeit keine notwendige Voraussetzung. Es wird jedoch angenommen, dass eine Einführung in die wichtigsten Grundlagenthemen für interessierte, aber fachfremde Leser hilfreich sein kann.

Im Folgenden sollen daher kurz die elektrotechnischen Basisbegriffe und Zusammenhänge dargestellt werden. Als eine weiterführende Lektüre kann zum Beispiel „Elektrotechnik Für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker“[5] empfohlen werden.

9.1. Strom und Spannung

Das was umgangssprachlich als „Strom“ bezeichnet wird, setzt sich aus den zwei physikalischen Grössen Spannung, gemessen in Volt (Abk. V) und meist mit U bezeichnet, und der Stromstärke, gemessen in Ampere (Abk. A) und mit I bezeichnet, zusammen.

Eine Spannung kann bestehen, ohne dass ein Strom fliesst. Umgekehrt kann jedoch kein Strom fliessen, ohne dass auch eine Spannung anliegt. Spannungen werden immer zwischen zwei Punkten einer Schaltung gemessen, man spricht dann von einem „Spannungsabfall über“ einem Bauelement oder Leiter. Die Stromstärke hingegen ist eine Grösse an einem Punkt einer Schaltung. Sie wird daher gemessen, in dem

der Strom durch das Messgerät geleitet wird oder mittels einer um den Leiter gelegten Stromzange. Abb. 9.1 zeigt den Stromkreis mit geöffnetem Schalter. Über der Spannungsquelle werden 5 V gemessen, über dem Widerstand R_1 fällt durch den geöffneten Schalter jedoch keine Spannung ab. Konsequenter Weise fliesst durch ihn auch kein Strom ($I_1 = 0\,\text{A}$).

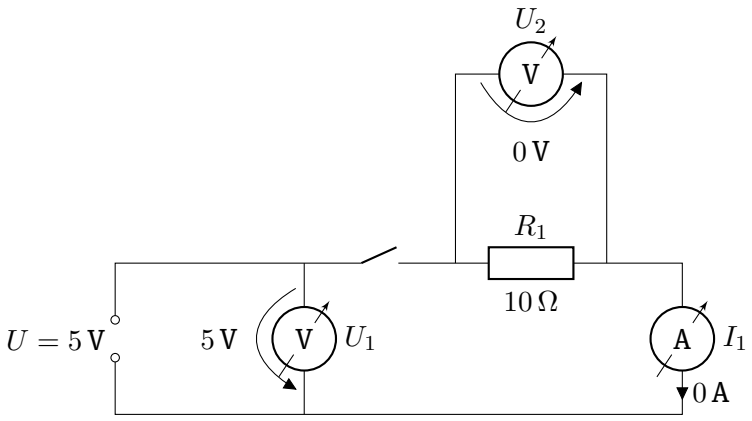


Abbildung 9.1.: Einfacher Stromkreis, geöffnet. Es fliesst kein Strom.

Wird der Schalter geschlossen (Abb. 9.2), so kann durch R_1 ein Strom $I_1 = 500\,\text{mA}$ fliessen und es fällt über ihm eine Spannung von $U_2 = 5\,\text{V}$ ab.

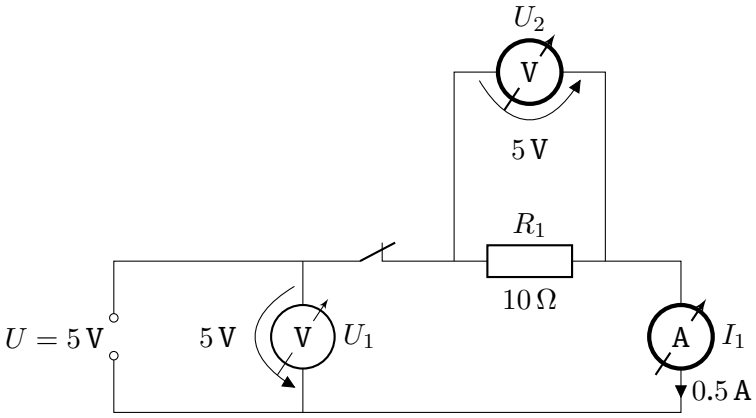


Abbildung 9.2.: Einfacher Stromkreis, geschlossen. Es fliesst ein Strom.

9.2. Leistung

Fliesst durch einen Leiter ein Strom und hat dieser Leiter einen Widerstand, was für alle Materialien zutrifft, so wird elektrische Energie umgesetzt. Praktisch immer entsteht Wärme, je nach Material wird noch zusätzlich Licht, mechanische Energie,

elektromagnetische Strahlung etc. erzeugt.

Die Gesamtleistung, egal in welche Energieform umgewandelt wird, kann für Gleichstrom mit

$$P = U \cdot I \tag{9.1}$$

berechnet werden. Die Zusammenhänge sind bei Wechselstrom komplizierter, so dass hier nicht darauf eingegangen werden kann. Näherungsweise kann unter den Bedingungen einer Hausinstallation jedoch die Gleichstrom-Gleichung (9.1) oben Anwendung finden.

9.3. Widerstand und Ohmsches Gesetz

Jeder Leiter, mit Ausnahme von Supraleitern, die unter den Bedingungen der Hausinstallation noch nicht eingesetzt werden können, setzt dem fliessenden Strom einen Widerstand entgegen. Dadurch entsteht eine „Potentialdifferenz“ zwischen Ein- und Ausgang des Widerstands. Vereinfacht kann man sagen, dass am Eingang eine höhere Spannung anliegt als am Ausgang. Die Differenz wird grösstenteils in Wärme umgesetzt.

Das Ohmsche Gesetz stellt die Zusammenhänge zwischen Strom, Spannung und Widerstand her.

$$R = \frac{U}{I} \tag{9.2}$$

Formt man Gleichung (9.2) nach U um und setzt sie in Gleichung (9.1) ein, kann der Zusammenhang zwischen Leistung, Strom und Widerstand dargestellt werden.

$$P = I^2 \cdot R \tag{9.3}$$

Äquivalent kann man den Zusammenhang zwischen Leistung, Spannung und Widerstand herleiten:

$$P = \frac{U^2}{R} \tag{9.4}$$

Der Widerstand eines festen Leiters wird von dessen Länge, Querschnitt und Material bestimmt. Zur einfachen Berechnung des Widerstands von Leitern mit konstantem Querschnitt dient der materialabhängige, spezifische Widerstand ρ („Rho“), wobei l die Länge und q der Querschnitt des Leiters ist:

$$\rho = \frac{R \cdot q}{l} \tag{9.5}$$

$$\Rightarrow R = \rho \cdot \frac{l}{q} \tag{9.6}$$

Die Einheit des spezifischen Widerstands ist

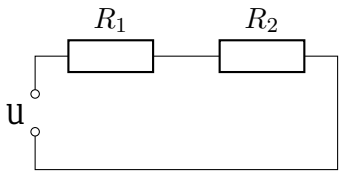
$$[\rho] = \Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}. \tag{9.7}$$

Für Kupfer gilt $\rho_{Cu} = 0.0178\,\Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}$ und für Aluminium $\rho_{Al} = 0.0264\,\Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}$.

9.3.1. Addition von Widerständen

Mehrere Widerstände in einem Stromkreis können „seriell“ (auch „in Reihe“ genannt) oder „parallel“ geschaltet sein. Natürlich sind auch beliebige Kombinationen aus parallel und seriell geschalteten Widerständen möglich.

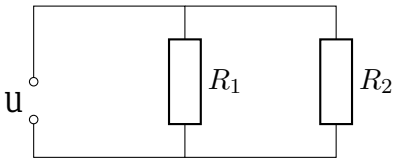
Abb. 9.3 zeigt zwei serielle Widerstände. Der Gesamtwiderstand ist die Summe der beiden Widerstandswerte.



$$R_{ges} = R_1 + R_2$$

Abbildung 9.3.: Serienschaltung zweier Widerstände

In Abb. 9.4 sind zwei parallele Widerstände dargestellt. In diesem Fall berechnet sich der Gesamtwiderstand entsprechend der dargestellten Formel. Zu beachten ist, dass der Gesamtwiderstand immer kleiner als der kleinste Widerstand in der Parallelschaltung ist.



$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

Abbildung 9.4.: Parallelschaltung zweier Widerstände

9.4. Kategorisierung elektrischer Energie

Elektrische Energie kann nach ihren verschiedenen Erscheinungs- und Verwendungsformen eingeteilt werden: nach Höhe der Spannung, nach Höhe des Stroms, nach der Frequenz und der Art der Verteilung.

Es werden verschiedenste Begriffe zur Kategorisierung der elektrischen Energie verwendet, zum Beispiel „Starkstrom“, „Hochspannung“ oder „Drehstrom“. Zum Verständnis historischer, sowie aktueller Literatur ist die genaue Kenntnis der Definition wichtig, sofern diese existieren. Die Existenz einer Definition bedeutet jedoch nicht, dass ab diesem Zeitpunkt alle Publikationen diese auch verwenden. Im umgangsprachliche, aber teils im auch fachlichen Bereich können sich veraltete Ausdrucksweisen sehr lange halten.

In diesem Abschnitt werden die gebräuchlichen Einteilungen erklärt.

9.4.1. Einteilung nach Spannung

Die wahrscheinlich im Alltag gebräuchlichste Unterscheidung zeigt Tabelle 9.1.

Name	AC	DC	Anmerkung
Hochspannung	$\geq$1 kV	$\geq$1.5 kV	Die Hochspannung wird häufig noch in Mittel-, Hoch- und Höchstspannung unterteilt. Hochspannung hat in der Hausinstallation keine Bedeutung, allerdings in einigen Endgeräten (u.a. Röhrenfernseher)
Niederspannung	$\leq$1 kV	$\leq$1.5 kV	Die in der Hausinstallation verwendete Spannung (1-phasig 230 V, 3-phasig 400 V) klassifiziert als Niederspannung. Zur Niederspannung gehört auch die Kleinspannung (s.u.)
Kleinspannung	$\leq$50 V	$\leq$120 V	Spannung, die für Menschen nicht gefährlich ist und daher reduzierte bis keine ($\leq$25 V AC, $\leq$60 V DC) Anforderungen an den Berührungsschutz hat. Englisch „Extra low voltage“ in mehreren Ausprägungen je nach Installation Secure extra low voltage (SELV), PELV, ELV

Tabelle 9.1.: Kategorisierung der elektrischen Energie anhand ihrer Spannung

9.4.2. Einteilung nach Stromstärke und Einsatzgebiet

Es wird gewöhnlich umgangssprachlich zwischen Schwach- und Starkstrom unterschieden.

Bis zur Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips in den 1850-1860er Jahren[1] wurde Elektrizität praktisch nur aus Primärelementen (umgangssprachlich „Batterien“) elektrochemisch erzeugt. Diese waren teuer, so dass die elektrische Energie nur zur Informationsübertragung (Telegrafie, Signalisation, später Telephonie), nicht jedoch zum Antrieb von Maschinen oder zur Licht- oder Wärmegewinnung genutzt wurde. Dies änderte sich mit der nun aus Kohle, Gas, Holz, Wasserkraft usw. vergleichsweise einfach und massenhaft durch „Dynamos“[2] zu erzeugenden Elektrizität. Zur Abgrenzung dieser Einsatzgebiete wurden die Begriffe Schwach- und

[1] Erste wissenschaftliche Darstellung durch Werner von Siemens 1867[1]

[2] Der Fahrrad-„Dynamo“ ist tatsächlich gar kein Dynamo, da er mit einem rotierenden Permanentmagnet arbeitet statt mit Rückkopplung.

Starkstrom gebildet. Der Begriff „Schwachstrom“ bezeichnete den zur Informationsübertragung verwendeten Strom, wohingegen „Starkstrom“ Arbeit verrichtet.

Diese nicht sehr physikalische Definition wurde in der Schweiz 1902 durch das „Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen“ abgelöst. Seit dem gilt folgende Definition (entnommen aus [2, §1, Art. 2]):

- Als „Schwachstromanlagen“ werden solche angesehen, bei welchen normalerweise keine Ströme auftreten können, die für Personen oder Sachen gefährlich sind.
- Als „Starkstromanlagen“ werden solche angesehen, bei welchen Ströme benützt werden oder auftreten, die unter Umständen für Personen oder Sachen gefährlich sind.

Das deutschsprachige Ausland weicht davon historisch und aktuell teilweise ab (siehe [8]). Im Kabelhandbuch heisst es: «Im Bereich der elektrischen Energietechnik ist der Begriff Starkstromkabel üblich. Damit werden Kabel bezeichnet, die zur Energieübertragung eingesetzt werden - unabhängig von der Spannungsebene.»[4, S. 23].

9.4.3. Einteilung nach Verteilung: Ein- und Mehrphasiger Strom

Zum Verständnis dieser ist Kategorisierung ist ein Einblick in die Wechselstromerzeugung notwendig. Wechselstrom wird fast ausschliesslich durch den Antrieb von Generator durch die diversen Primärenergien erzeugt. Durch die Konstruktion der Generatoren mit 3 um 120° verschobenen Spulen wird sogenannter Drehstrom[3,4] mit ebenfalls um 120° gegeneinander verschobener sinusförmiger Wechselspannung erzeugt. Dieser Drehstrom hat diverse Vorteile gegenüber einfacher Wechselspannung, worauf hier jedoch nicht eingegangen werden kann. Abb. 9.5 zeigt einen historischen Generator.

Mit dem erzeugten Drehstrom können diverse Endgeräter direkt angetrieben werden. Dazu zählen u.a. Waschmaschinen, Elektroherd und Holzbearbeitungsmaschinen. Zusätzlich können über eine Stern- oder Dreieckschaltung einzelne Phasen zum Antrieb einphasiger Verbraucher entnommen werden, wozu heute die meisten Elektrogeräte im Haushalt zählen.

Zwischen L1, L2 oder L3 und dem mit dem Sternpunkt verbundenen Neutralleiter liegen 230 V an. Einer der Leiter zusammen mit dem Neutralleiter wird als zweiphasige Leitung in der Hausinstallation eingesetzt. Zwischen L1 und L2, L1 und L3 und L3 und L2 liegen 400 V an (Abb. 9.6).

[3] eigentlich wäre hier „Drehspannung“ richtig, dieser Begriff ist aber ungebräuchlich
[4] auch „Dreiphasenwechselstrom“ genannt

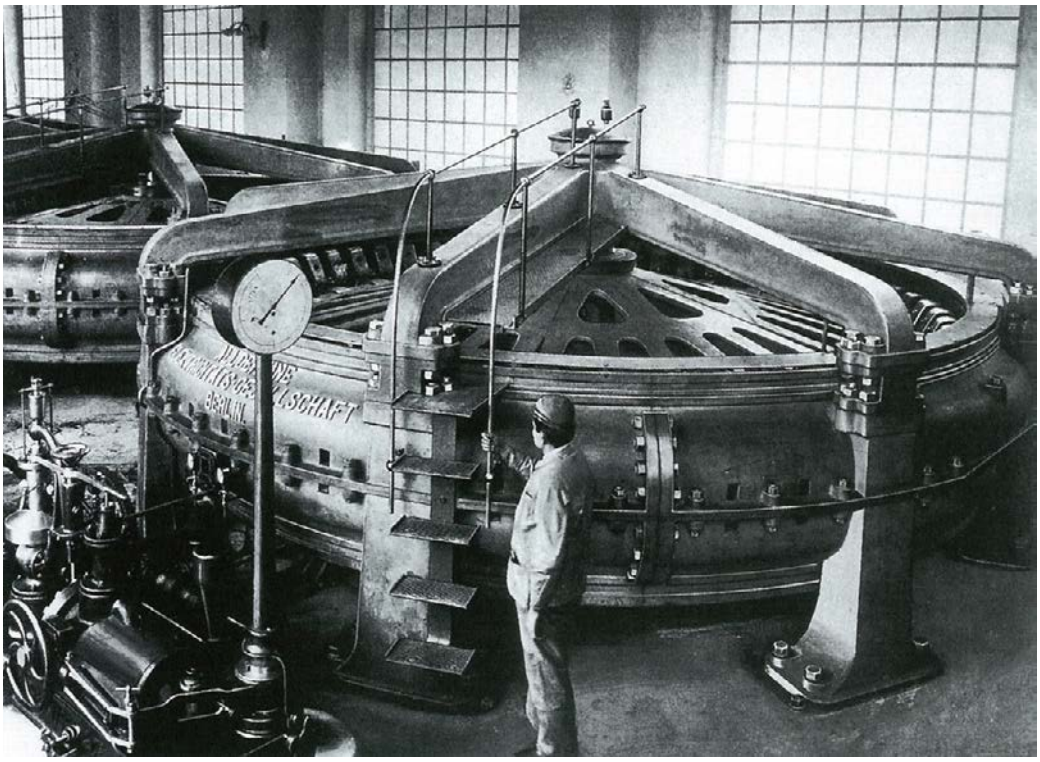


Abbildung 9.5.: Drehstromgenerator im alten Wasserkraftwerk Rheinfelden etwa 1900. Quelle: Wikimedia aus Deutsches Technikmuseum Berlin, Archiv der AEG (Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft)

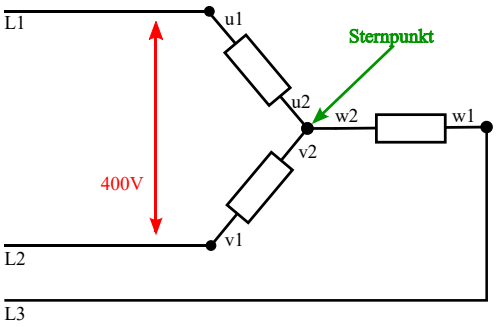


Abbildung 9.6.: Sternschaltung im Drehstromsystem, Bild: Curtis Newton, Wikipedia, CC BY-SA 2.0 de

9.4.4. Einteilung nach Frequenz

Weiterhin ist eine Kategorisierung nach dem zeitlichen Verlauf der Spannung und des Stroms üblich (siehe Tabelle 9.2).

Name	Frequenz	Anmerkung
Gleichspannung/-strom	0 Hz	Bezeichnet eine Spannungs- und Stromquelle, bei der Spannung- und strom konstant bleiben, d.h. sich nicht periodisch ändern. Zum Beispiel liefert eine Batterie Gleichspannung und -strom. Gleichspannung wird häufig mit der Abkürzung des englischen Ausdrucks Direct Current (DC) bezeichnet.
Wechselspannung/-strom	>0 Hz	Von einer Wechselspannung wird gesprochen, wenn Spannung und Strom periodisch ihre Richtung und Amplitude ändern. Ohne Angabe bezeichnen Spannungs- und Stromwerte immer den Effektivwert[5] und nicht die Differenz zwischen Maximum und Minimum. Wechselspannung wird häufig mit der Abkürzung des englischen Ausdrucks Alternating Current (AC) bezeichnet.
Hochfrequenz	>1 kHz	Der Begriff Hochfrequenz bezeichnet eine Wechselspannung und ist nicht einheitlich definiert (siehe [7]). In der Hausinstallation wird Hochfrequenz gezielt nur zur Übertragung von Signalen (zum Beispiel Smarthome/Hausautomatisierung) eingesetzt. Darüber hinaus können moderne Schaltnetzteile als Folge ihrer Funktionsweise hochfrequente Spannung der gelieferten Gleichspannung überlagern. Diese ungewünschte Hochfrequenz kann zu diversen Problemen führen.

Tabelle 9.2.: Kategorisierung nach der Frequenz

Literatur

[1] *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1867*. Berlin: Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften, 1868. Adresse: https://www.digitale-sammlungen.de/de/details/bsb10533218 (besucht am 07. 11. 2024) (siehe S. 121).

[2] «SR 734.0 - Bundesgesetz vom 24. Juni 1902 die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen.» (24. Juni 1902), Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/19/259_252_257/de (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 122).

[3] C. Michalke, *Siemens Handbücher - Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik*, ger. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co., 1925, Bd. 1 (siehe S. 117).

[4] R. R. Cichowski, M. Kliesch und F. Merschel, Hrsg., *Kabelhandbuch*, 9. Auflage, Frankfurt am Main Berlin: EW Medien und Kongresse GmbH, 2017, 496 S., ISBN: 978-3-8022-1147-8 (siehe S. 122).

[5] I. Kasikci, *Elektrotechnik Für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker: Grundlagen und Anwendung in der Gebäudeplanung*, 2nd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018, 1 S., ISBN: 978-3-658-23763-9 (siehe S. 117).

[6] «Wikipedia: Effektivwert.» Page Version ID: 247650858. (13. Aug. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Effektivwert (besucht am 06. 11. 2024).

[7] «Wikipedia: Hochfrequenz.» Page Version ID: 249237841. (8. Okt. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hochfrequenz (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 124).

[8] «Wikipedia: Starkstrom.» Page Version ID: 249921077. (31. Okt. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Starkstrom (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 122).

10. Brandentstehung in elektrischen Anlagen

> *In den Kreisen der Fachleute, die mit der Feuerversicherung zu tun haben, herrscht die Ansicht vor, dass der Feuersgefahr, welche durch elektrische Installationen hervorgerufen werden kann, mehr Aufmerksamkeit als bisher geschenkt werden muss.*
>
> „Die Feuersgefahr in den elektrischen Hausinstallationen“ 1925 [1, S. 1]

Die sehr vertraute Kombination aus Isolatoren und Leitern hat den Zweck, das Fliessen des Stroms zu kanalisieren, d.h. ihm eine Bahn zu bieten, die er nicht verlassen kann. Durch Fehler in der Isolierung oder im Leiter kann diese Bahn beeinträchtigt werden, was meist zu lokaler Erwärmung führt. Abhängig von ihrer Temperatur, der Einwirkungsdauer und der Beschaffenheit der Umgebung stellt diese Erwärmung möglicherweise eine Brandgefahr dar.

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die Mechanismen der Brandentstehung und die Art der Schwachstellen, welche Probleme hervorrufen können. Für einen vertieften Einblick wird die Dissertation von Dahmouni, Youssef mit dem Titel „Brandentstehung in Niederspannungsanlagen“ und die Siemens-Publikation „Brandschutzschalter 5SM6 Technik-Fibel“[5] empfohlen.

10.1. Energie zur Brandentstehung

Die durch den fliessenden Strom bewirkte Temperaturerhöhung hat das Potential, die Isolation und benachbarte Materialien in Brand zu setzen. Dazu muss eine materialabhängige Temperatur erreicht werden, bevor es zu einem Brand kommt. Ob diese Temperatur erreicht werden kann, hängt von der zugeführten Energie einerseits und den lokalen Gegebenheiten andererseits ab. Bedeutende Kenngrössen sind hier die Wärmeleitung und Wärmekapazität des Materials und die Wärmeabfuhr («Kühlung»).

Die „Energie“ (Formelzeichen W) ist als das Produkt aus Arbeit und Zeit definiert (Gleichung (10.1) auf der nächsten Seite) und wird in Joule (J) oder Wattsekunde (W s) angegeben.

$$W = P \cdot t \tag{10.1}$$

Das bedeutet anschaulich, dass eine hohe, aber sehr kurz wirkende Verlustleistung (zum Beispiel durch Spannungsspitzen) eine sehr kleine, wohingegen eine dauerhaft wirkende, aber geringe Verlustleistung eine hohe Energie haben kann.

In der Praxis ist die Einbausituation komplex und die zu erwartende Temperaturerhöhung nicht zu berechnen. Daher werden pauschale Werte für die maximale Verlustleistung definiert. Es gelten Verlustleistungen ab 60 W als «akut brandgefährlich»[4]. Dieser Wert führte auch zur Auslegung der Residual Current operated Circuit-Breaker (RCD) zur Brandverhinderung[1] auf einen Bemessungsdifferenzstrom von 300 mA, was einer maximalen Verlustleistung von $P_V = 230\,\mathrm{V} \cdot 300\,\mathrm{mA} = 69\,\mathrm{W}$ entspricht.

Es ist zu beachten, dass diese Verlustleistung stark räumlich begrenzt auftreten muss, damit sich die kritische Temperaturerhöhung einstellt. Je grösser der Bereich ist, desto besser ist die Wärmeabfuhr in die Umgebung und somit umso geringer die Temperaturerhöhung.

Um die Sicherheit weiter zu erhöhen, wird für dieses Dokument mit einer maximalen Verlustleistung von

$$P_{grenz} = 50\,\mathrm{W} \tag{10.2}$$

gearbeitet.

10.2. Elektrische Zündquellen

Es existieren drei elektrotechnische Mechanismen, die zu einer unzulässigen Erwärmung führen und damit die Isolierung und die Umgebung entzünden können (aus [2]):

1. Erwärmung durch lokal erhöhten Widerstand, Abschnitt 10.2.1
2. Gasentladung/Lichtbogen, Abschnitt 10.2.2 auf Seite 134
3. Kriechstrom, Abschnitt 10.2.3 auf Seite 135

In den nachfolgenden Unterkapitel werden diese Mechanismen detailliert betrachtet.

[1] Für den Berührungsschutz gelten maximal 30 mA

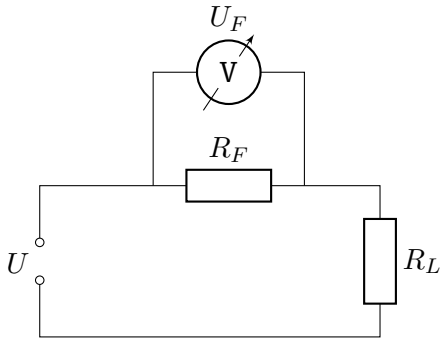


Abbildung 10.1.: Stromkreis mit Lastwiderstand R_L und Widerstand durch Fehlerstelle R_F

10.2.1. Erwärmung durch lokal erhöhten Widerstand

Ein erhöhter Widerstand in der Leitung kann durch Quetschungen, Beschädigungen, Kontaktkorrosion, lose Kontakte usw. entstehen. Über der Fehlstelle fällt eine erhöhte Spannung ab, was zu einer erhöhten Verlustleistung an dieser Stelle und damit einer Temperaturerhöhung führt. Diese Temperaturerhöhung kann bei Kupfer zur Oxidation führen, was wiederum zu einer weiteren Widerstand- und Temperaturerhöhung führt (siehe Phase 1 bis 3 in Abb. 10.3 auf Seite 134). Gleichzeitg ist Kupfer ein Kaltleiter - sein Widerstand steigt mit der Temperatur (siehe Abschnitt 11.1.3 auf Seite 148).

Durch diese zwei Mechanismen ist eine Widerstandserhöhung bei steigender Verlustleistung gegeben. Die Oxidation des Kupfers und damit die dadurch verursachte Widerstandserhöhung ist dauerhaft, während die temperaturbedingte Erhöhung reversibel ist.

Abb. 10.1 stellt diesen Fall dar. R_L ist der Lastwiderstand, z.B. eine Lampe und R_F ist die Fehlstelle. Ist der Leiterquerschnitt verringert (zum Beispiel durch Quetschung), so steigt R_F und über ihm erhöht sich der Spannungsabfall U_F. Gleichzeitig sinkt der Strom durch R_F und R_L. Der Spannungsabfall U_F multipliziert mit dem Stromfluss ergibt die an der Fehlstelle entstehende Verlustleistung.

Die Verlustleistung P_F an einer Fehlstelle kann nur auftreten, wenn durch sie ein Strom fliesst. Als «kritischer Bereich» wird dabei der Widerstandsbereich zwischen R_{lower} und R_{upper} definiert, bei dem die Verlustleistung $P_F \geq P_{grenz}$ ist. Es werden zwei Szenarien betrachtet:

1. Im *Normalbetrieb* ist R_L mindestens so gross, dass der Bemessungsstrom nicht überschritten wird, d.h. dass der Leitungsschutzschalter (LS) nicht trennt[2]. Tatsächlich kann R_L sogar etwas kleiner sein, wie Abschnitt 10.2.1 auf der nächsten Seite zeigt. Existiert ein Fehlstelle, so dass $R_F > 0$ ist, erhöht sich der Gesamtwiderstand R_{ges} und die Stromstärke sinkt. Da ein Teil der Spannung über R_F abfällt (Gleichung (10.3) auf der nächsten Seite), er-

[2] Bei 230 V und einer 13 A-Absicherung ist $R_{Lmin} = \frac{230\,\mathrm{V}}{13\,\mathrm{A}} = 17.7\,\Omega$.

wärmt sich dieser und produziert die Verlustleistung P_F (Gleichung (10.6)). Ab einer gewissen Grösse von R_F ist die Stromstärke soweit gesunken, dass die an ihm abfallende Verlustleistung kleiner als 50 W und damit unkritisch ist. R_{upper} berechnet sich nach Gleichung (10.7).

2. Tritt nach der Fehlstelle ein *Kurzschluss* auf, so fällt die gesamte Spannung U an R_F ab. Ist R_F hinreichend klein (Punkt 1 auf der vorherigen Seite), spricht der LS an und trennt den Stromkreis. Ein grösserer Widerstand verringert die Verlustleistung P_F. Diese fällt aber erst ab R_{upper} unter die kritische Grenze. Fehlstellen-Widerstände über R_{upper} sind nicht mehr kritisch, führen aber zu einem hohen Spannungsabfall im Normalbetrieb, den es aus Gründen jenseits des Brandschutzes zu vermeiden gilt.

Berechnung

Die Reihenschaltung aus R_L und R_F bildet eine Spannungsteiler für U. Der Spannungsabfall über U_F ist wie folgt definiert (s.a. [6, Gl. 5.10, S. 46]):

$$U_F = \frac{U}{R_L + R_F} \cdot R_F \tag{10.3}$$

Die Leistung der Fehlstelle P_F (auch „Verlustleistung“) wird wie gewohnt berechnet. Wird nun U_F durch Gleichung (10.3) ersetzt, folgt daraus die Gleichung (10.6).

$$P_F = U_F \cdot I = U_F \cdot \frac{U}{R_F + R_L} \tag{10.4}$$

$$= \frac{U}{R_L + R_F} \cdot R_F \cdot \frac{U}{R_F + R_L} \tag{10.5}$$

$$P_F = \left(\frac{U}{R_L + R_F}\right)^2 \cdot R_F \tag{10.6}$$

Um die Grenzen des kritischen Bereichs zu bestimmen, wird Gleichung (10.6) nach R_F umgestellt:

$$\Rightarrow\ R_{lower,upper} = \frac{U^2 - 2\,P_{grenz}\,R_L \pm \sqrt{U^4 - 4\,P_{grenz}\,R_L\,U^2}}{2\,P_{grenz}} \tag{10.7}$$

R_L kann etwas kleiner als $R_L = U/I$ gewählt werden, denn P_{grenz} soll bei $R_L + R_F$ und nicht nur bei R_L erreicht werden. Dieses rekursive Problem wurde numerisch gelöst (siehe Listing 4 auf Seite 298). Die Ergebnisse für gängige Konfigurationen zeigt Tabelle 10.1. Die maximale Verlustleistung bei gegebenem R_L folgt aus der ersten Ableitung von Gleichung (10.7):

$$P' = \frac{\partial}{\partial R_F}(P_{grenz}) \tag{10.8}$$

$$= \frac{U^2(R_L - R_F)}{(R_L + R_F)^3} \tag{10.9}$$

U, I		R_L	Normalbetrieb			Kurzschluss		
			R_{lower}	R_{upper}	P_{max}	R_{lower}	R_{upper}	P_{max}
230 V,	16.0 A	14.18 Ω	0.20 Ω	1029.45 Ω	932.7 W	14.4 Ω	1058.0 Ω	3680 W
230 V,	13.0 A	17.40 Ω	0.30 Ω	1022.91 Ω	760.2 W	17.7 Ω	1058.0 Ω	2990 W
230 V,	10.0 A	22.50 Ω	0.50 Ω	1012.50 Ω	587.8 W	23.0 Ω	1058.0 Ω	2300 W
120 V,	5.0 A	22.00 Ω	2.00 Ω	242.00 Ω	163.6 W	24.0 Ω	288.0 Ω	600 W
48 V,	7.0 A	5.84 Ω	1.02 Ω	33.39 Ω	98.7 W	6.9 Ω	46.1 Ω	336 W
48 V,	5.0 A	7.60 Ω	2.00 Ω	28.88 Ω	75.8 W	9.6 Ω	46.1 Ω	240 W
48 V,	2.0 A	11.52 Ω	11.52 Ω	11.52 Ω	50.0 W	24.0 Ω	46.1 Ω	96 W
24 V,	7.0 A	2.41 Ω	1.02 Ω	5.68 Ω	59.8 W	3.4 Ω	11.5 Ω	168 W
24 V,	5.0 A	2.80 Ω	2.00 Ω	3.92 Ω	51.4 W	4.8 Ω	11.5 Ω	120 W
24 V,	2.5 A	9.47 Ω				9.6 Ω	11.5 Ω	60 W
24 V,	2.0 A							48 W
12 V,	5.0 A	2.62 Ω				2.4 Ω	2.9 Ω	60 W
12 V,	2.0 A							24 W

Tabelle 10.1.: Ist der Wert des Übergangswiderstand zwischen R_{lower} und R_{upper} und der Widerstand der Last R_L, so fällt an ihm eine kritische Verlustleistung von $P_F \geq 50$ W ab. Dargestellt für Normalbetrieb über Last und für den Kurzschlussfall. Leere Felder zeigen an, dass bei dieser Spannung und Absicherung ein kritischer Zustand nicht erreicht werden kann.

Die Funktion Gleichung (10.9) hat ihren Nulldurchgang bei $R_L = R_F$, d.h. dort ist das Maximum der Verlustleistung.

Jetzt muss noch der Kurzschlussfall betrachtet werden. Dafür wird in Gleichung (10.7) $R_L = 0$ gesetzt, so dass sich folgende Formel ergibt:

$$P_F = \left(\frac{U}{R_F}\right)^2 \cdot R_F = \frac{U^2}{R_F} \tag{10.10}$$

Umgestellt nach R_F folgt:

$$R_F = \frac{U^2}{P_{grenz}} \tag{10.11}$$

Nachfolgend zeigt ein *Beispiel* mit Nennspannung 230 V und einer Absicherung mit 13 A die Anwendung. Der Worst-Case-Wert des Lastwiderstand von $R_L = 17.4\,\Omega$ wird Tabelle 10.1 auf der vorherigen Seite entnommen.

$$\begin{aligned} R_{low,high} &= \frac{(230\,\mathrm{V})^2 - 100\,\mathrm{W}\cdot 17.4\,\Omega \pm \sqrt{(230\,\mathrm{V})^4 - 200\,\mathrm{W}\cdot 17.4\,\Omega\cdot(230\,\mathrm{V})^2}}{2\cdot 50\,\mathrm{W}} \\ &= \frac{51\,160\,\mathrm{V}^2 \pm 51\,130.4\,\mathrm{V}^2}{100\,\mathrm{W}} \\ R_{lower} &= \frac{29.6\,\mathrm{V}^2}{100\,\mathrm{W}} = 0.3\,\Omega \\ R_{upper} &= \frac{102\,290.4\,\mathrm{V}^2}{100\,\mathrm{W}} = 1022.9\,\Omega \end{aligned}$$

Die im Normalbetrieb bei schlechtmöglichsten Bedingungen an R_F erzeugte Verlustleistung kann ebenfalls der Tabelle entnommen werden. Alternativ kann sie aus den bekannten Grössen mit Gleichung (10.6) auf Seite 130 bestimmt werden. P_{max} tritt bei $R_L = R_F$ auf und berechnet sich wie folgt:

$$P_{max} = \left(\frac{U}{2\,R_L}\right)^2 \cdot R_L = \frac{U^2}{4\,R_L} \tag{10.12}$$

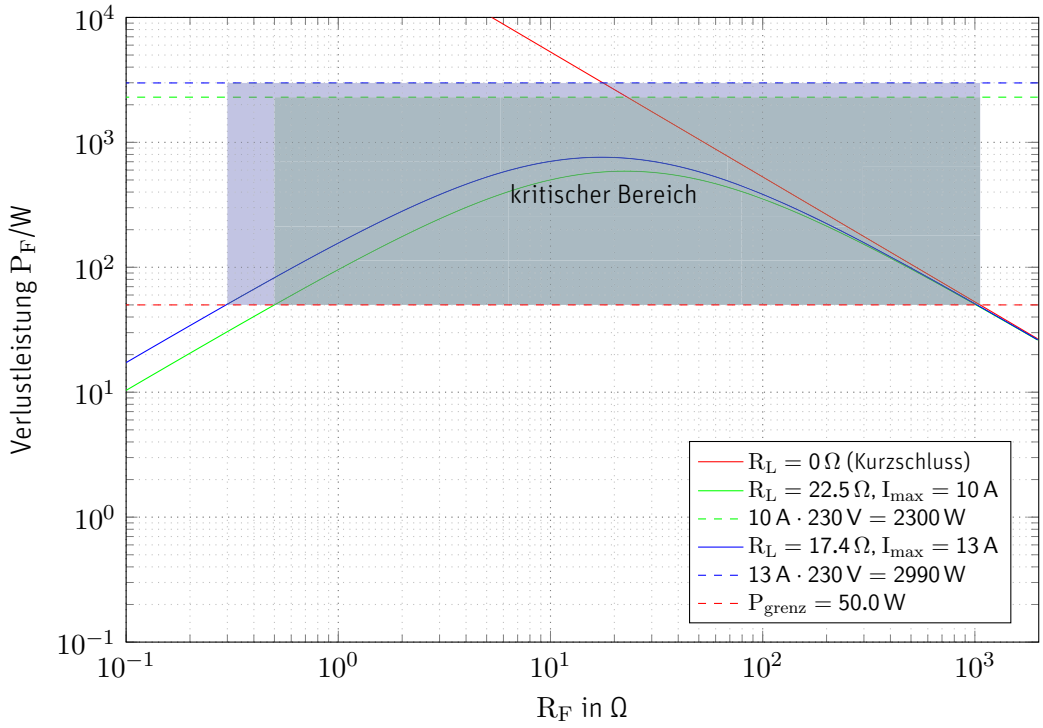
$$= \frac{(230\,\mathrm{V})^2}{4\cdot 17.4\,\Omega} = 760\,\mathrm{W} \tag{10.13}$$

Der minimale Widerstand, um bei Kurzschluss mindestens 50 W Verlustleistung zu erzeugen, wird durch Gleichung (10.11) auf der vorherigen Seite geliefert:

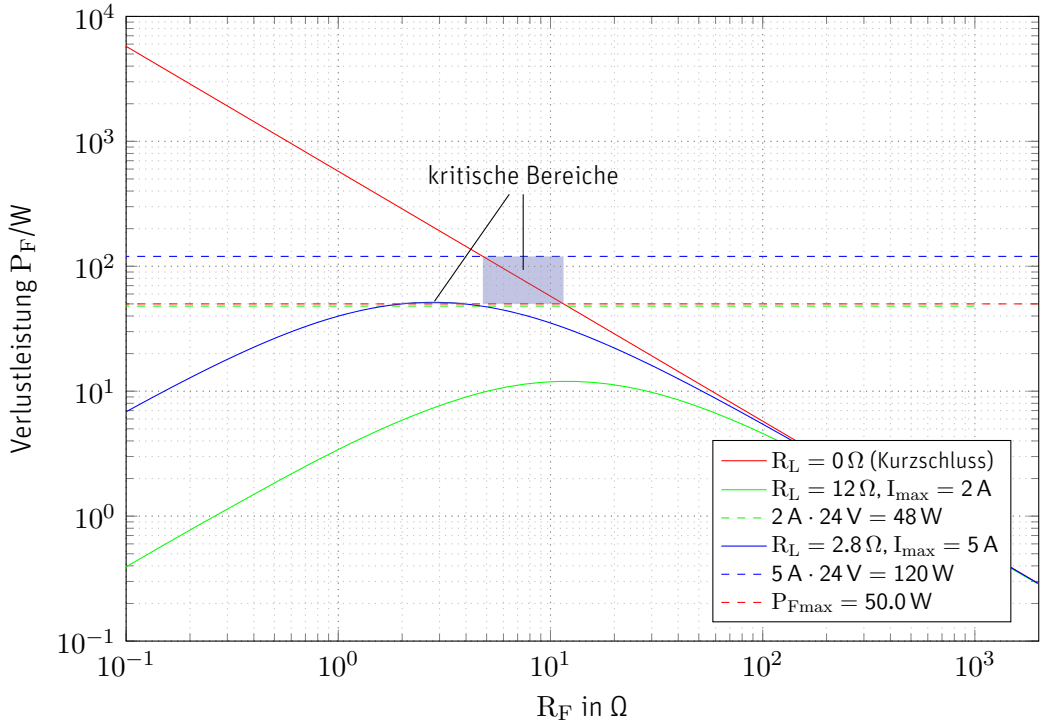
$$R_F = \frac{(230\,\mathrm{V})^2}{50\,\mathrm{W}} = 1058\,\Omega$$

Der Zusammenhang zwischen dem Widerstand R_F und seiner Verlustleistung P_F werden für die zwei Szenarien in Abb. 10.2 für 230 V und 24 V dargestellt. Die rote Kurve stellt den Kurzschlussfall dar, die grünen und blauen Kurven zwei unterschiedliche Absicherungen bei der entsprechenden Spannung. Die jeweils kritischen Bereiche sind grün und blau markiert. Für Abb. 10.2b(24 V) fällt auf, dass im Normalbetrieb R_F bei 2 A niemals kritisch werden kann. Auch bei einem Bemessungsstrom von 5 A wird die Grenze nur in einem sehr schmalen Bereich minimal überschritten ($R_F \in [2\,\Omega, 4\,\Omega]$, $P_{max} = 51.4\,\mathrm{W}$). Nur im Kurzschlussfall der 5 A-Variante kann $P_F > 50\,\mathrm{W}$ werden, niemals jedoch die 2 A-Variante.

Der kritische Bereich ist bei einer 24 V-Installation um mehr als zwei Zehnerpotenzen kleiner als bei einer mit 230 V.

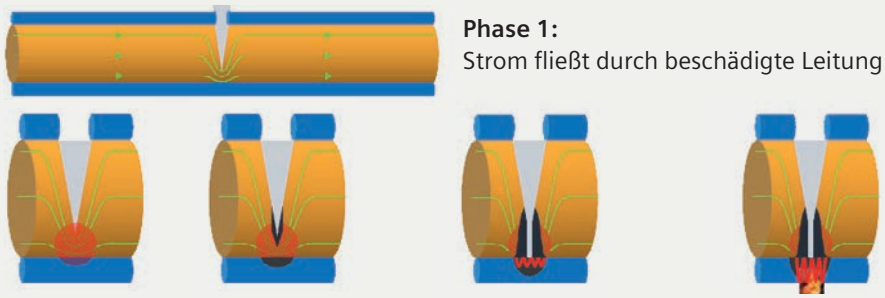


(a) Bei 230 V



(b) Bei 24 V

Abbildung 10.2.: Verlustleistung in Abhängigkeit vom Widerstand



Phase 1:
Strom fließt durch beschädigte Leitung

Phase 2:
Engpass:
Leitung und Isolierung werden heiß

Phase 3:
bis ca. 1.250 °C
Heißes Kupfer oxidiert zu Kupferoxid, Isolierung karbonisiert

Phase 4:
bis ca. 6.000 °C
Kupfer schmilzt und vergast kurzzeitig (z. B. bei Sinusscheitel)

Phase 5:
ca. 6.000 °C
Stabiler Lichtbogen über karbonisierte Isolierung

Abbildung 10.3.: Phasen 1 – 5 der Entstehung eines seriellen Lichtbogens durch eine Leiterverengung, Quelle [5, Bild 9, S. 18]

10.2.2. Gasentladung/Lichtbögen

Weist ein Stromkreis eine Unterbrechung auf, so bildet die Luftstrecke einen Widerstand, über dem eine Spannung abfällt. Es entsteht also eine Potentialdifferenz zwischen den „losen Enden", besser „Elektroden". Durch die Potentialdifferenz werden die vorhandenen, freien Elektronen im Luftspalt so stark beschleunigt, dass sie durch Kollision weitere freie Elektronen erzeugen, was bei einer ausreichend hohen Potentialdifferenz lawinenartig zunehmen kann („Stossionisation"). In der Folge bildet sich ein stark ionisiertes Plasma, wodurch das Gas leitfähig wird. Es ist eine starke Licht- und Temperaturentwicklung zu beobachten.

Lichtbögen (eng. „electric arc") treten im Alltag in verschiedenen Formen auf: zum Beispiel als Blitz, beim Elektroschweissen, als Schaltfunken, als Lichtbögen an Stromabnehmern von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (sogenanntes „Bügelfeuer") oder in Lichtbogenfeuerzeugen.

Treten Lichtbögen in elektrischen Anlagen ungewollt auf, wird von „Fehlerlichtbögen" gesprochen. Je nach Form des Auftretens wird zwischen seriellen und parallelen Fehlerlichtbögen unterschieden (siehe [5, S. 14ff]).

Durch die hohen Temperaturen eines Lichtbogens von 6500 bis 50 000 K[3] steigt die Brandgefahr. Entscheidend für eine Entzündung umliegenden Materials ist jedoch die durch den Lichtbogen erzeugte Energie. Siemens schreibt hier: «Unterhalb von 2 A [bei 230 V, Anm. d. Verf.] hat selbst ein stabiler Lichtbogen kaum die nötige Leistung, um das Kabel zu entzünden, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung stark abnimmt.»[5, S. 25].

[3] «Brandgefahr durch Elektroinstallationen in modernen mehrgeschossigen Holzgebäuden»[8, S. 5]

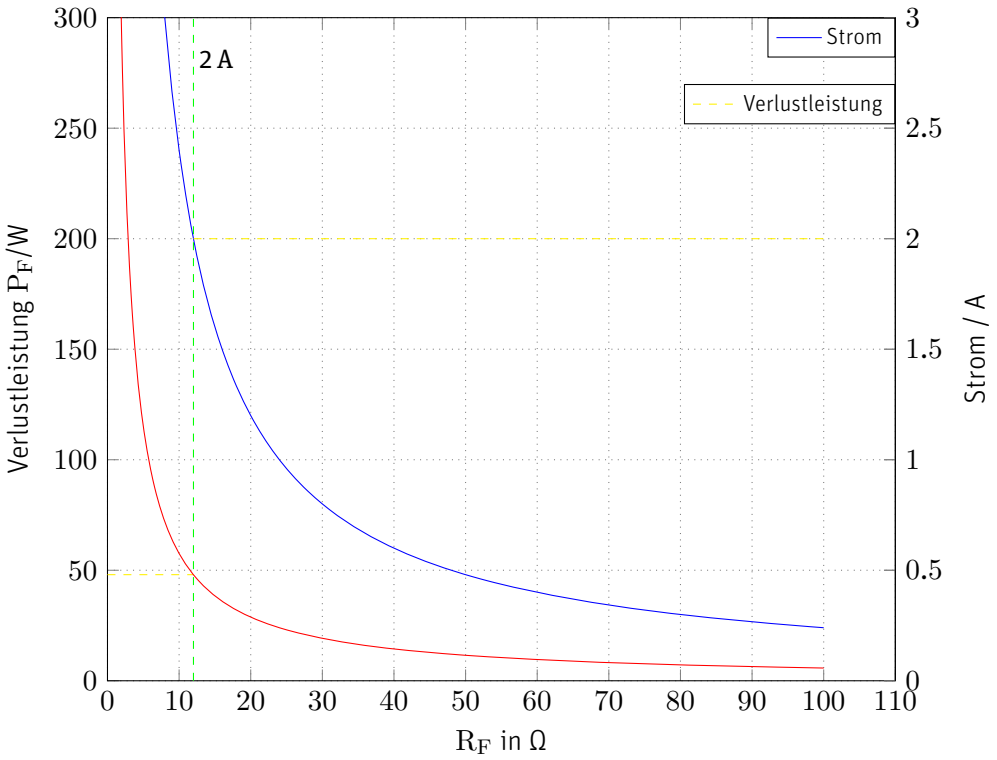


Abbildung 10.4.: Verlustleistung in Abhängigkeit vom Widerstand und des sich einstellenden Stroms bei 24 V

Dieser Fall wird ausführlich im Kapitel 12 auf Seite 159 behandelt.

10.2.3. Kriechstrom

Über die Zeit lagern sich Fremdschichten auf elektrischen Installationen und Geräten ab. Trifft Luftfeuchtigkeit auf diese, als Fremdschicht bezeichneten Ablagerungen, so können die darin enthaltenen Elektrolyte einen Stromfluss auf der Oberfläche ermöglichen. Dieser Strom wird sehr bildhaft als Kriechstrom bezeichnet. Je länger die Kriechstrecke, desto grösser der Widerstand und desto kleiner der fliessende Strom.

Der Ionenfluss erwärmt die Fremdschicht und die enthaltene Feuchtigkeit verdampft. Dadurch erhöht sich der Widerstand der Kriechstrecke bis einige Stellen ganz trocken sind und den Stromfluss wie ein Schalter trennen. An diesen Stellen kann es zu Gasentladungen (Lichtbogen) kommen, was die Isolatoroberfläche schädigt (siehe [2, S. 73]).

Wie Abb. 10.4 zeigt, sinkt durch den Trocknungsprozess die Verlustleistung, wenn kein weiterer Widerstand im Stromkreis enthalten ist (Kurzschluss über Kriechstrom). Zur Demonstration ist dieser Fall für $R_F = 12\,\Omega$ dargestellt (grün unter-

brochen). Die Schnittstelle mit der blauen Kurve markiert die dann vorherrschende Stromstärke von 2 A und der Schnittpunkt mit der roten Kurve die (Verlust-)Leistung von 48 W.

Tritt der Kriechstrom im Strompfad auf (seriell), so kann das Modell aus Abb. 10.1 auf Seite 129 angewendet werden. Entsteht der Kriechstrom I_F jedoch zwischen zwei Leitern (parallel, zum Beispiel über Isolationsrollen zwischen P und N), kommt die Ersatzschaltung in Abb. 10.5 zur Anwendung.

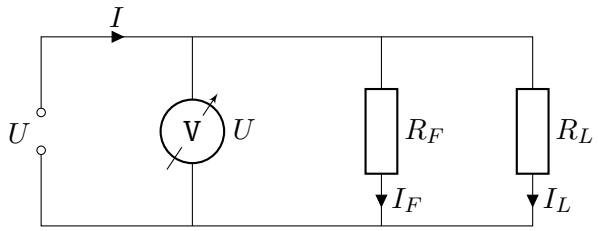


Abbildung 10.5.: Stromkreis mit Lastwiderstand R_L und Widerstand durch Fehlerstelle R_F

$$I = I_F + I_L \tag{10.14}$$

$$I = \frac{U}{R_F} + \frac{U}{R_L} \tag{10.15}$$

Dann ist die Verlustleistung definiert durch:

$$P_F = U \cdot I_F \tag{10.16}$$

$$= U \cdot \frac{U}{R_F} \tag{10.17}$$

Durch die Strombegrenzung[4] kann die Gesamtleistung nicht beliebig steigen. Daher ist die maximale Verlustleistung an $P_F = U \cdot I_{max}$, bei 230 V und 10 A Absicherung also 2300 W und $R_{lower} = 23\,\Omega$, bei Grenzverlustleistung P_{grenz} ist $R_{upper} = \frac{(230\,\mathrm{V})^2}{50\,\mathrm{W}} = 1058\,\Omega$.

Normen

Der Widerstand der Kriechstrecke hängt von der Grösse der Elektroden, der Dicke der Fremdschicht, der Länge der Kriechstrecke, der Art und Konzentration der Ionen und der Temperatur ab. Diese Faktoren, mit Ausnahme der Länge der Kriechstrecke, sind in der Praxis schwierig zu bestimmen. Aus diesem Grund werden in der SN EN IEC 60664-1:2020 Verschmutzungsgrade und minimale Kriechstrecken in Abhängigkeit der anliegenden Spannung festgelegt.

Die Einteilung der Verschmutzung in Verschmutzungsgrade geschieht wie folgt (aus [9, S. 3]):

[4] LS oder Strombegrenzung des Netzteils

1 Es tritt keine oder nur trockene, nichtleitfähige Verschmutzung auf. Die Verschmutzung hat keinen Einfluss.

2 Es tritt nur nichtleitfähige Verschmutzung auf. Gelegentlich muss mit vorübergehender Leitfähigkeit durch Betauung gerechnet werden.

3 Es tritt leitfähige Verschmutzung auf oder trockene, nichtleitfähige Verschmutzung, die leitfähig wird, da Betauung zu erwarten ist.

4 Die Verunreinigung führt zu einer beständigen Leitfähigkeit, z. B. hervorgerufen durch leitfähigen Staub, Regen oder Schnee.

Je nach Isolierstoffgruppe (I-III) (siehe [7]), Verschmutzungsgrad und Spannung ergeben sich einzuhaltende, minimale Kriechstromstrecken. Für den höchsten, in bewohnten Innenräumen zu erwartenden Verunreinigungsgrad 3, 230 V Wechselspannung und die Isolierstoffgruppe III sind minimale Kriechwege von 4 mm festgelegt. Bei 24 V DC und der schlechtesten Isolierstoffgruppe IIIb sind mindestens 1.70 mm erforderlich.

Gefahrenbeurteilung

Wie Dahmouni schreibt, entstehen Kriechwege häufig zwischen «geerdeten großflächigen Körpern (z.B. Motorgehäuse, Autokarosserie und Leiterbahnen) und spannungsführenden Leitern ..., selten zwischen zwei Kabeln. Jedes dieser Kabel müßte an der gleichen Stelle einen Isolationsfehler aufweisen.»[2, S. 70].

Auch Crastan nennt in „Elektrische Energieversorgung 1“ vor allem Freiluftisolatoren, die starker Verschmutzung und Niederschlägen ausgesetzt sind, als Quelle für Kriechüberschläge[3, S. 123].

Ein Kriechstrom benötigt sowohl Ionen, als auch Feuchtigkeit. In trockenen, wettergeschützten Gebäuden treten diese Bedingungen maximal in Bädern, Kellern oder Waschküchen auf. Doch selbst diese Bedingungen lassen keine, im Sinne des Brandschutzes[5] gefährlichen Kriechströme zu. Dahmouni stellt fest, dass eine leichte Befeuchtung «durch eine feuchte Fremdschicht (z.B. mit einem feuchten Tuch)» nicht ausreicht, «um energiereiche Entladungen zu erzeugen und damit eine Entzündung des Isolierstoffes einzuleiten»[2, S. 74].

Hinzu kommt, dass mit Ausnahme von Küche und Badezimmern eine Feuchtigkeitszunahme vergleichsweise langsam stattfinden dürfte, so dass eine eventuelle Kriechstrecke austrocknet, bevor eine kritische Temperatur oder kritische Spannungs/-Stromkombination erreicht wird.

Eine weitere häufige Brandursache, die auf Kriechströme zurückzuführen ist, bildeten die Röhrenfernseher. Durch die abnehmende Verbreitung dieser Technik dürfte

[5] Unabhängig vom Brandschutz können die entstehenden Kriechströme jedoch Menschen und Tiere gefährden. Die Beschäftigung damit ist jedoch nicht Gegenstand dieses Kapitels.

diese Brandursache zukünftig nur noch eine sehr untergeordnete Rolle spielen.

Abschliessend kann festgestellt werden, dass Kriechströme aus Sicht des Brandschutzes in Niederspannungsinstallationen wahrscheinlich keine Gefahr darstellen.

Literatur

[1] H. Germiquet, *Die Feuersgefahr in den elektrischen Hausinstallationen*. Bern, 1925, ETH Bibliothek, eth000072631 (siehe S. 127).

[2] Y. Dahmouni, «Brandentstehung in Niederspannungsanlagen,» Diss., Universität Hannover, Hannover, 1999 (siehe S. 128, 135, 137).

[3] V. Crastan, *Elektrische Energieversorgung 1: Netzelemente, Modellierung, stationäres Verhalten, Bemessung, Schalt- und Schutztechnik* (Netzelemente, Modellierung, stationäres Verhalten, Bemessung, Schalt- und Schutztechnik), 4. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015, ISBN: 978-3-662-45985-0 (siehe S. 137).

[4] V. Pankrath, «Brandgefahr durch fehlerhafte elektrische Verbindungen (1),» 2015. Adresse: https://www.ifs-ev.org/archiv/literatur/das_elektrohandwerk_17-2015.pdf (siehe S. 128).

[5] «Brandschutzschalter 5SM6 Technik-Fibel,» 2016. Adresse: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/288/109482288/att_904838/v1/Brandschutzschalter-5SM6---Technik-Fibel_4457_201612091159190307.pdf (besucht am 09. 11. 2024) (siehe S. 127, 134).

[6] I. Kasikci, *Elektrotechnik Für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker: Grundlagen und Anwendung in der Gebäudeplanung*, 2nd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018, 1 S., ISBN: 978-3-658-23763-9 (siehe S. 130).

[7] «Bedeutung der Kriechstromfestigkeit von Isolierstoffen | cmc.de,» CMC Klebetechnik | cmc.de. (29. Sep. 2020), Adresse: https://www.cmc.de/en/blog/know-how-5/importance-of-tracking-resistance-of-insulating-materials-for-developers-172 (besucht am 11. 11. 2024) (siehe S. 137).

[8] T. Engel, K. Moosmüller und N. Werther, «Brandgefahr durch Elektroinstallationen in modernen mehrgeschossigen Holzgebäuden,» *Bautechnik*, Jg. 98, Sep. 2020. DOI: 10.1002/bate.202000076 (siehe S. 134).

[9] «Bemessung der Luft- und Kriechstrecken nach VDE / IEC und UL, Technische Informationen,» Apr. 2024 (siehe S. 136).

11. Erwärmung eines Kabels

> *Der Einfluss der Erwärmung des Leiters auf die Isoliermaterialien ist ein ganz beträchtlicher, ...*
>
> „Handbuch der Elektrotechnik“ 1904 [1, S. 20]

Der Stromfluss durch einen Leiter erzeugt durch dessen Widerstand eine (Verlust-) Leistung, die sich als Wärmeleistung manifestiert. Dies führt zur Temperaturerhöhung im Leiter. Es muss darauf geachtet werden, dass diese Temperaturerhöhung nicht zu Funktionsbeinträchtigungen, einem erhöhten Brandrisiko oder Verbrennungen beim Berühren führt. Im Denkmalkontext kann eine übermässige Wärmeentwicklung auch die sensiblen Architekturoberflächen durch Erhitzung beschädigen oder zu verstärkter Schmutzablagerung durch Konvektion führen.

Gleichzeitig entsteht durch den Widerstand und die Verlustleistung ein Spannungsabfall, der möglichst gering sein sollte, i.d.R. $< 3\,\%$ der Nennspannung.

Auch bei einer Umstellung auf 24 V DC ist der Spannungsabfall von Bedeutung. Einerseits, wie oben erwähnt, auf Grund der mit der Erwärmung verbundenen Risiken, andererseits, um die Leuchtmittel mit einer ausreichend hohen Betriebsspannung versorgen zu können.

Für den praktischen Einsatz ist seit den Anfängen der Normung die maximale Strombelastbarkeit bei Niederspannung für die verschiedenen Leiterquerschnitte nach Anzahl der Leiter im Bündel und nach Isoliermaterial definiert. Dies ermöglicht eine Bemessung des Leiters ohne aufwändige Rechnungen und ohne die Kenntnis von Materialkennwerten. Für historische Leitungen sind aktuelle Tabellen nur eingeschränkt verwendbar:

- Aktuelle Tabellen gelten nur für moderne Isolationsmaterialien, historische (z.B. Gummiaderleitungen) sind darin nicht enthalten.
- Die teils sehr kleinen historischen Leiterquerschnitte sind heute nicht mehr zulässig und daher im Normenwerk nicht aufgeführt.
- Die Normungen gelten für neues Material. Einflüsse der Degradation sind nicht berücksichtigt.
- Die Einbausituationen, welche für die Berücksichtigung der Abfuhr der Verlustwärme massgeblich sind, haben sich geändert. Historische Verlegearten, wie Isolierrollen, fehlen in den Tabellen.

Häufig wird auch folgende einfache Bemessungsformel für Gleichstrom bei Dauerbelastung genannt[1]:

$$A = 2\,l\,\frac{I}{\kappa \cdot U_a} \tag{11.1}$$

A ist der minimale empfohlene Leiterquerschnitt, l ist die einfache Leitungslänge und κ Leitfähigkeit[2] des Leiters in Siemens pro Meter ($\mathrm{S\,m^{-1}}$) und U_a der maximale Spannungsabfall in Prozent.

Für eine 30 m lange Kupferleitung mit einer Maximalbelastung von 5 A ergibt sich folgender minimaler Leiterquerschnitt A (Gleichung (11.2)):

$$A = 2\ \cdot 30\,\mathrm{m}\ \frac{5\,\mathrm{A}}{5.87 \times 10^7\,\mathrm{S\,m^{-1}} \cdot 3\,\%} = 1.7036\,\mathrm{mm^2}, \tag{11.2}$$

was einem minimalen Durchmesser von $d = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} \sim 1.5\,\mathrm{mm}$ entspricht.

Diese Gleichung berücksichtig jedoch weder die Verlegesituation, noch das Isolationsmaterial, Isolationsdicke oder Effekte der Degradation. Auch die resultierende Leiter- und Leitungstemperatur, welche die maximale Belastbarkeit begrenzt, ist nicht ersichtlich.

In Anbetracht des meist unbekannten Aufbaus der Isolierung, der historisch variierenden chemischen Zusammensetzungen (siehe Abschnitt 5.3 auf Seite 62) und des unbekannten Status der Degradierung sowie dessen Einflusses auf die elektrischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften erscheint es sinnvoll, eine möglichst niedrige Grenztemperatur zu definieren. Sie sollte in jedem Fall signifikant unterhalb der für Neuinstallationen geltenden Temperaturen liegen. Gleichzeitig muss eine gewisse Temperaturerhöhung über die Raumtemperatur (max. 40 °C) aus physikalischen Gründen ermöglicht werden[3]. Es wird daher folgendes Maximum definiert:

- Dauerbetrieb $\vartheta_{max} = 55\,^{\circ}\mathrm{C}$

In diesem Kapitel soll die entstehende Temperatur der offen zwischen Isolatoren aufgespannten, baumwollummantelten historischen Leitung analytisch abgeschätzt werden. Dies ermöglicht es auch, die Einflussgrössen besser zu verstehen und durch Anpassung entsprechender Parameter eine „Worst-Case“ Abschätzung vornehmen zu können.

Es werden sowohl der Betrieb unter Nennlast („stationär“, 5 A), als auch der Kurzschlussfall („instationär“, 15 A) betrachtet.[4]

[1] https://intratec-shop.de/kabelquerschnitt-berechnen

[2] Für Kupfer $5.87 \times 10^7\ \mathrm{S\,m^{-1}}$

[3] Ein Stromfluss führt immer zu einer Verlustleistung und damit zu Wärme. Lässt man dies nicht zu, so ist kein Stromfluss möglich

[4] Tritt ein Kurzschluss auf, so sollte die Stromversorgung oder der LS den Stromkreis unterbrechen. Interessant ist also nur die Temperaturentwicklung bis zum Unterbruch und nicht die Temperatur, welche sich im stationären Betrieb mit derart hohen Stromstärken einstellen würde.

11.1. Analytische Abschätzung der Erwärmung

Basierend auf dem Script von Arthur Ruh[5], Professor emeritus für Physik der Hochschule Rapperswil/Schweiz, seiner online publizierten Berechnung der Temperaturerhöhung eines Kabels [14] und einem intensiven Austausch per Mail mit dem Autor ist nachfolgende Berechnung entstanden.

Der Zusammenhang zwischen dem Strom I, der Spannung U über einem Verbraucher und dessen Leistung P ergibt sich aus

$$I = \frac{P}{U} \tag{11.3}$$

Ist R_L der ohmsche Widerstand der Leitung ist deren Verlustleistung

$$P_V = R_L \cdot I^2 \tag{11.4}$$

Aus Gleichungen (11.3) und (11.4) kann folgende Gleichung für die Verlustleistung hergeleitet werden

$$P_V = \frac{R_L P^2}{U^2} \tag{11.5}$$

Die Verlustleistung ist also umgekehrt proportional zum Quadrat der Spannung, d.h. eine Halbierung der Spannung lässt die Verlustleistung um das 4-fache ansteigen.

Um die Höhe dieser Verlustleistung abschätzen zu können, muss der Widerstand der Leitung bestimmt werden. Er ist eine Funktion der Länge l, des Leiterquerschnitts q und des spezifischen Widerstands ρ des Leiters (für Kupfer kann näherungsweise angenommen werden $\rho_{Cu} = 0.0178\,\Omega\,\mathrm{mm^2\,m^{-1}}$):

$$R_L = \rho \cdot \frac{l}{q} \tag{11.6}$$

Damit kann die Verlustleistung als

$$P_V = \rho \cdot \frac{l\,P^2}{q\,U^2} \tag{11.7}$$

ausgedrückt werden.

Ziele ist es, die Entzündung der Isolation und umliegenden Materials auszuschliessen. Die aus der Verlustleistung resultierende Wärme gibt der Leiter über die Isolation an die Umgebung ab. Die höchste Temperatur ist daher an der Leiteroberfläche zu erwarten, weswegen diese im Folgenden abgeschätzt werden soll. Zur Vereinfachung wird das Problem auf einen eindimensionales reduziert, d.h. in einem ersten Schritt auf eine ebene (Abschnitt 11.1.1 auf der nächsten Seite) und in einem weiteren auf eine zylindrische Wand (Abschnitt 11.1.2 auf Seite 147).

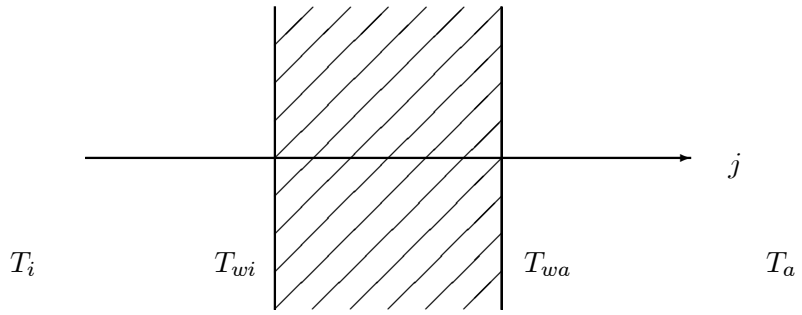


Abbildung 11.1.: Wärmedurchgang durch eine Wand. Quelle: „Script Wärmelehre“ 2003 [5, S. 68]

11.1.1. Wärmedurchgang durch eine ebene Wand

Die vom Leiter durch den Stromfluss erzeugte Wärme dringt durch die Isolation und erwärmt schlussendlich die das Kabel umgebende Luft. Der Wärmedurchgang durch eine Wand, hier die Isolation, kann wie in Abb. 11.1 schematisch dargestellt werden. T ist die Differenz der Temperaturen innen und aussen, relativ weit entfernt von den Wandoberflächen.

$$T = T_i - T_a \tag{11.8}$$

Mit Gl. 252 aus [5, S. 69] folgt für den Wärmedurchgang durch eine ebene Wand:

$$j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} T = \frac{\dot{Q}}{A} \tag{11.9}$$

j ist die Wärmestromdichte in W/m^2, α_i und α_a sind die Wärmeübergangszahlen an den Oberflächen innen und aussen, d ist die Dicke der Wand und λ ist der Wärmeleitkoeffizient des Wandmaterials. Anders ausgedrückt ist die Wärmestromdichte j ebenfalls der Quotient aus dem Wärmestrom $\dot{Q}$ und der Fläche A. Der Querschnitt des Leiters ist annähernd kreisförmig, so dass für die Berechnung der Oberfläche ein Zylinder angenommen wird.

$$A_L = \pi \, d \, l \tag{11.10}$$

Bei einem Kabel grenzt die „Wand innen“ nicht an einen Luftraum, sondern an die Leiteroberfläche. Der Term α_i fällt deshalb weg und T_i ist nicht die Lufttemperatur weit weg von der Wand, sondern die Oberflächentemperatur des Leiters. Durch den zweischichtigen Aufbau der Isolierung muss die Gleichung so erweitert werden, dass beide $\frac{d}{\lambda}$ Berücksichtigung finden, also (d_G für Gummi, d_B für Baumwolle etc.):

$$j = \frac{1}{\frac{d_G}{\lambda_G} + \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{1}{\alpha_a}} T \tag{11.11}$$

Nach [14] wird die Leistung eines Kabels über Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung an die Umgebung abgegeben. Vernachlässigt man bei einer offenen Installation die Wärmeleitung an den Isolatoren, so ist die Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion gegeben durch:

$$\dot{Q}_K = \alpha A_L T \tag{11.12}$$

α ist die Wärmeübergangszahl und T ist die gesuchte Temperaturdifferenz an der Leiteroberfläche. Der Wärmetransport durch Strahlung ist

$$\dot{Q}_S = \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4)A_L \tag{11.13}$$

Dabei ist T die Temperatur der Kabeloberfläche, T_0 die Temperatur der Umgebung und σ die Stefan-Boltzmann-Konstante mit einem Wert von $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$

Mit $T = T_0 + T$ kann die Differenz $T^4 - T_0^4$ entwickelt werden:

$$\begin{aligned} T^4 - T_0^4 &= (T_0 + T)^4 - T_0^4 && (11.14)\\ &= 4T_0^3T + 6T_0^2T^2 + 4T_0T^3 + T^4 && (11.15)\end{aligned}$$

Unter der Annahme von $T_0 \gg T$ können die Terme rechts von $4\,T_0^3 \cdot T$ vernachlässigt werden, so dass gilt:

$$T^4 - T_0^4 \approx 4\,T_0^3 \cdot T \tag{11.16}$$

Damit wird der Wärmetransport durch Strahlung zu

$$\dot{Q}_S = \varepsilon\,\sigma\,4T_0^3\,T\,A_L \tag{11.17}$$

Die Energiebilanz liefert die Beziehung

$$P_V = \dot{Q}_K + \dot{Q}_S \tag{11.18}$$

Jetzt kann aus Gleichungen (11.7), (11.12), (11.17) und (11.18) auf Seite 143, auf dieser Seite, auf dieser Seite und auf dieser Seite folgende Beziehung gebildet werden:

$$\rho \cdot \frac{l\,P^2}{q\,U^2} = \alpha\,T\,A_L + \varepsilon\,\sigma\,4T_0^3T\,A_L \tag{11.19}$$

Diese Gleichung nach T aufgelöst ergibt

$$T = \frac{\rho\,P^2}{\pi\,d\,q\,U^2(\alpha + 4\,\varepsilon\,\sigma\,T_0^3)} \tag{11.20}$$

Zur Lösung der Gleichungen (11.11) und (11.20) auf der vorherigen Seite und auf dieser Seite müssen plausible Werte für die Wanddicke d, den Wärmeleitkoeffizienten λ und die Wärmeübergangszahl α_a gefunden werden.

Für den Wärmeübergang von Rohren an Luft liefert die Formelsammlung von Anton Schweizer die folgenden Werte [11]:

$$\alpha_a = 4 \text{ bis } 10\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} \tag{11.21}$$

Der kleine Wert gilt für eine Aluminiumverkleidung, der grosse für stark oxidiertes Blech. Sowohl sichtbares Licht als auch Infrarotstrahlung wird von Aluminium gut reflektiert, von stark oxydiertem Blech dagegen nur schwach. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz (s. [5, S. 58]) besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Emissionsvermögen und der Absorptionszahl eines Körpers. Das heisst, dass das gut reflektierende Aluminium, das nur wenig absorbiert, auch wenig (Infrarotstrahlung) emittiert. Das relativ stark absorbierende oxydierte Blech strahlt dagegen mehr. Dass oxidiertes Blech eine höhere Wärmeübergangszahl hat als Aluminium, bedeutet offenbar, dass in der Wärmeübergangszahl α der Wärmetransport durch Strahlung durch Anton Schweizer bereits berücksichtigt ist.

Um eine möglichst grosse Sicherheitsmarge in der Berechnung zu haben, wird der kleinere Wert angenommen, d.h. $\alpha_a = 4\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$.

Jetzt kann der Strahlungsteil mit Gleichung (11.17) auf der vorherigen Seite separat gerechnet werden. Für das Emissionsverhältnis der Leiteroberfläche wird der Emissionsgrad von reiner Baumwolle angenommen $\varepsilon_{cotton} = 0.771$. Hier wird bewusst mit einem für die Leitertemperatur ungünstigen Wert gerechnet. Reine Baumwolle ist deutlich heller, als die vorgefundene Oberfläche der Leitung und es wird daher erwartet, dass die reale Temperatur unter der analytisch abgeschätzten liegt.

$$\frac{\dot{Q}_S}{A_L \cdot T} = 0.771 \cdot 5.67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}} \cdot 4 \cdot (293\,\mathrm{K})^3 = 4.399\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} \quad (11.22)$$

Der Wärmeübergang durch Konvektion + Strahlung ist mit

$$\alpha_a = 4.400\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} + 4\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} = 8.400\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} \quad (11.23)$$

rund doppelt so gross wie der Wärmeübergang durch Konvektion alleine, was recht gut mit den Tabellenwerten übereinstimmt.

Für die Wärmeleitfähigkeit von Kautschuk und Gummi nennt der „VDI-Wärmeatlas“[8, S. 702/D6] diesen Wert: [10]:

$$\lambda_{G1} = 0.13 \text{ bis } 0.17\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}. \quad (11.24)$$

Die Wärmeleitfähigkeit von Textilien werden in einer Klausur des Instituts für Textiltechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen [6, S. 4] erwähnt:

$$\lambda_B = 0.25\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}. \quad (11.25)$$

Wird nun noch für die Dicke des Textilmantels und die Dicke der Kautschuk-Gummi-Schicht je 0.5 mm angenommen, so ergibt sich für den Nenner von Gleichung (11.11) auf Seite 144:

$$\begin{aligned}\frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_G}{\lambda_G} + \frac{1}{\alpha_a} &= \frac{5 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}}{0.25\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}} + \frac{5 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}}{0.13\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}} + \frac{1}{10\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}} \\ &= 0.002\,\mathrm{m^2\,K\,W^{-1}} + 0.0038\,\mathrm{m^2\,K\,W^{-1}} + 0.1\,\mathrm{m^2\,K\,W^{-1}} \\ &= 0.1058\,\mathrm{m^2\,K\,W^{-1}}\end{aligned}$$

Offensichtlich sind die Wärmewiderstände der beiden Isolierungen gegenüber dem Wärmewiderstand des Wärmeübergangs vernachlässigbar klein. Selbst eine theoretische Erhöhung der Schichtdicke um den Faktor 10 ändert diesen Umstand nicht. Damit kann auch die Temperaturdifferenz zwischen Leiteroberfläche und Kabeloberfläche vernachlässigt werden.

Wird nun die Gleichung (11.20) auf Seite 145 so modifiziert, dass der Strahlungsterm weggelassen und dafür der höhere Wert für die Wärmeübergangszahl verwendet wird, ergibt sich die Beziehung

$$T = \frac{\rho\, P^2}{\pi\, \alpha_a\, d\, q\, U^2} \tag{11.26}$$

Mit den für die Isolierung angenommenen Werten der Schichtdicken wird der Aussendurchmesser des Kabels $d = 2.9\,\mathrm{mm}$. Wie vorausgesetzt, ist $q = 0.64\,\mathrm{mm}^2$ und $U = 24\,\mathrm{V}$. Damit ergibt sich für die Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebungstemperatur:

$$T = \frac{0.0178\,\Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1} \cdot P^2}{\pi \cdot 8.4\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} \cdot 2.9 \times 10^{-3}\,\mathrm{m} \cdot 0.64\,\mathrm{mm}^2\,(24\,\mathrm{V})^2} \tag{11.27}$$

$$T = 630.9 \times 10^{-6}\,\mathrm{K\,W^{-2}} \cdot P^2 \tag{11.28}$$

Im Normalbetrieb mit maximal 5 A ist ein Temperaturanstieg um

$$T = 630.9 \times 10^{-6}\,\mathrm{K\,W^{-2}} \cdot (24\,\mathrm{V} \cdot 5\,\mathrm{A})^2 = 9.09\,\mathrm{K} \tag{11.29}$$

zu erwarten. Im Kurzschlussfall fliessen kurzfristig maximal 15 A. Der zu erwartende Temperaturanstieg beträgt

$$T = 634.3 \times 10^{-6}\,\mathrm{K\,W^{-2}} \cdot (24\,\mathrm{V} \cdot 15\,\mathrm{A})^2 = 82\,\mathrm{K}. \tag{11.30}$$

11.1.2. Wärmedurchgang durch eine zylindrische Wand

Für den Wärmedurchgang durch zylindrische Wände findet die Gleichung (267) aus [5, S. 70] Anwendung und wie in Gleichung (11.26) wird der Strahlungsterm mit r_i weggelassen:

$$\dot{Q} = 2\,\pi\,l\,\frac{1}{\sum\limits_s \frac{1}{\lambda_s} \ln\frac{r_{sa}}{r_{si}} + \frac{1}{r_a \alpha_a}}\,T \tag{11.31}$$

Weiterhin wird die Beziehung

$$T_i - T_a = T \tag{11.32}$$

aus [5, S. 71] verwendet.

Damit ist T direkt die interessierende Temperaturdifferenz zwischen Leiteroberfläche und Umgebungstemperatur.

Es wird wieder der dünnste Leiter gerechnet:

$$r_{1i} = 0.45\,\mathrm{mm}$$
$$r_{1a} = 0.95\,\mathrm{mm}$$
$$r_{2i} = 0.95\,\mathrm{mm}$$
$$r_{2a} = 1.45\,\mathrm{mm}$$
$$\lambda_1 = 0.15\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$$
$$\lambda_2 = 0.25\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$$
$$\alpha_a = 8.4\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$$

Mit diesen Werten ergibt sich

$$\dot{Q} = 2\,\pi\,l\,\frac{1}{\frac{1\,\mathrm{m\,K}}{0.15\,\mathrm{W}}\ln\frac{0.95}{0.45} + \frac{1\,\mathrm{m\,K}}{0.25\,\mathrm{W}}\ln\frac{1.45}{0.95} + \frac{1\,\mathrm{m^2\,K}}{1.45\times10^{-3}\,\mathrm{m}\cdot 8.4\,\mathrm{W}}}\,T \tag{11.33}$$

$$= 2\,\pi\,l\,\frac{1}{88.77\,\mathrm{W^{-1}\,m\,K}}\,T \tag{11.34}$$

Setzt man dies mit der Gleichung (11.7) auf Seite 143 gleich, folgt

$$P_V = \rho\cdot\frac{lP^2}{qU^2} = 2\pi l\frac{1}{88.77\,\mathrm{W^{-1}\,m\,K}}T \tag{11.35}$$

$$\Rightarrow T = \rho\cdot\frac{88.77\,\mathrm{W^{-1}\,m\,K}}{2\pi qU^2}\cdot P^2 \tag{11.36}$$

$$= \frac{1.58\,\mathrm{W^{-1}\,K\,\Omega\,mm^2}\cdot 14.4\times10^3\,\mathrm{W^2}}{2316.2334\,\mathrm{mm^2\,V^2}} \tag{11.37}$$

$$= 9.82\,\mathrm{K} \tag{11.38}$$

Dieser Wert liegt nur 8 % über dem entsprechenden Wert für eine ebene Wand (siehe Gleichung (11.29) auf der vorherigen Seite), weshalb weiterhin die Formel für letzteres verwendet wird.

11.1.3. Temperaturabhängigkeit des Widerstands

Kupfer ist ein Kaltleiter, genau wie Aluminium oder Stahl, hat also einen positiven Temperaturkoeffizienten. Sein Widerstand steigt mit steigender Temperatur, was zu einer erhöhten Verlustleistung führt. Gleichung (11.27) auf der vorherigen Seite gilt daher nur für $T = 20\,°\mathrm{C}$-Leitertemperatur.

Für die Berechnung des temperaturabhängigen spezifischen Widerstands ist folgende Formel anzuwenden:

$$\rho(T) = \rho(20\,°\mathrm{C})\cdot(1 + \alpha_{Material}\cdot(T - 20\,°\mathrm{C})) \tag{11.39}$$

$$\alpha_{Copper} = 3.9\times10^{-3}\,\mathrm{K^{-1}} \tag{11.40}$$

Die Zunahme der Temperatur durch den steigenden Leiterwiderstand geht mit einer verstärkten Wärmeabfuhr durch die höhere Temperaturdifferenz zur Umgebung und einer erhöhten Abstrahlung einher. Oberhalb einer nicht näher bestimmten Stromstärke wird die Temperatur steigen bis der Leiter so stark erhitzt ist, dass er entweder seine Festigkeit verliert und reisst oder schmilzt. Unterhalb dieser Schwelle stellt sich schlussendlich ein Gleichgewicht ein („Beharrungszustand“), was sich durch eine konstante Leitertemperatur manifestiert. Die Bestimmung dieses Fixpunkts wurde numerisch durchgeführt. Listing 3 auf Seite 296 zeigt den verwendeten Programmcode, Tabelle 11.1 die Ergebnisse.

$\varnothing_{Leiter}$	$\varnothing_{Leitung}$	5A	15A
0.9 mm	2.9 mm	29.5 °C	141.0 °C
2.0 mm	4.0 mm	21.3 °C	32.6 °C

Tabelle 11.1.: Erwartete stationäre Leitungstemperaturen für die beiden vorgefundenen Leitungstypen bei Nennstrom und Kurzschluss

11.1.4. Instationärer Zustand

Im Falle eine Kurzschlusses würde die Temperatur der Leitung ohne Sicherung bis zu der in Tabelle 11.1 abgeschätzten Temperatur steigen. Die Überstromsicherung der Spannungsversorgung würde den Kurzschlussfall erkennen und den Stromkreis trennen. Es soll nachfolgend abgeschätzt werden, ob dies rechtzeitig vor dem Erreichen einer kritischen Temperatur geschieht. Als kritisch werden 90 °C angesehen (aus „Handbuch Werkstoffe der Elektrotechnik“[3, S. 65], Klasse Y). Die Formeln für die Temperaturentwicklung (⇒ „instationär“) wurden dem Bulletin des SEV (1976)[4] und einer Publikation der HTW Dresden [13, S. 10, Absch. 3.3.3] entnommen:

$$\vartheta = \vartheta_{end}(1 - e^{-t/\tau}) + \vartheta_0 \tag{11.41}$$

Die Zeitkonstante τ («tau») ist folgendermassen definiert:

$$\tau = \frac{c_P \cdot \varrho \cdot A}{(\alpha_S + \alpha_K) \cdot u} \,. \tag{11.42}$$

Dabei sind α_S und α_K die bekannten Wärmeübergangszahlen für Konvektion und Strahlung (siehe Gleichung (11.21) auf Seite 145), A die Querschnittsfläche und u der Umfang der Leitung. Weiterhin gilt:

- c_P: spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck

  $c_{P_{Cu}} = 0.42\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}}$[13]

  $c_{P_{Gummi}} = 1.38\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}}$[13]

  $c_{P_{Baumwolle}} = 1150\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}} = 1.150\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}}$[9]

- ϱ: Dichte

$$\varrho_{Cu} = 8.3\,\mathrm{g\,cm^{-3}}\text{[13]}$$
$$\varrho_{Gummi} = 1.1\,\mathrm{g\,cm^{-3}}\text{[13]}$$
$$\varrho_{Baumwolle} \approx 200\,\mathrm{g\,m^2}/0.5 \times 10^{-3}\,\mathrm{m} = 400 \times 10^3\,\mathrm{g\,m^{-3}} = 0.4\,\mathrm{g\,cm^{-3}}\text{[12]}$$

Es handelt sich bei der Leitung um eine Kompositkonstruktion. Aus Gründen der Vereinfachung wird sie jedoch als homogener Körper betrachtet. Dabei tragen die obigen Materialkennwerte proportional zum Anteil ihrer Querschnittsfläche am Gesamtquerschnitt zu den Kennwerten dieses fiktiven Materials bei. Die Querschnittsflächen der einzelnen Schichten ergeben in Summe den Gesamtquerschnitt:

$$A = A_{Cu} + A_{Gummi} + A_{Baumwolle} \tag{11.43}$$
$$= \frac{\pi}{4} \cdot d_{Cu}^2 + \frac{\pi}{4} \cdot (d_{Gummi}^2 - d_{Cu}^2) + \frac{\pi}{4} \cdot (d_{Baumwolle}^2 - d_{Gummi}^2) \tag{11.44}$$

Daraus abgeleitet wird die Berechnung für den prozentualen Anteil der jeweiligen Schicht:

$$x_{Cu} = \frac{d_{Cu}^2}{d^2} = 9.63\,\% \tag{11.45}$$
$$x_{Gummi} = \frac{d_{Gummi}^2 - d_{Cu}^2}{d^2} = 33.29\,\% \tag{11.46}$$
$$x_{Baumwolle} = \frac{d_{Baumwolle}^2 - d_{Gummi}^2}{d^2} = 57.07\,\% \tag{11.47}$$

Die durchschnittliche Dichte und spezifische Wärmekapazität wird nun mit Hilfe dieser Verteilung bestimmt.

$$\varrho = 9.63\,\% \cdot 8.3\,\mathrm{g\,cm^{-3}} + 33.29\,\% \cdot 1.1\,\mathrm{g\,cm^{-3}} + 57.07\,\% \cdot 0.4\,\mathrm{g\,cm^{-3}} \tag{11.48}$$
$$= 1.4\,\mathrm{g\,cm^{-3}} \tag{11.49}$$
$$c_P = (9.63\,\% \cdot 0.42 + 33.29\,\% \cdot 1.38 + 57.07\,\% \cdot 1.150)\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}} \tag{11.50}$$
$$= 1.1562\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}} \tag{11.51}$$

Jetzt können die bestimmten Werte in Gleichung (11.42) auf der vorherigen Seite eingesetzt und die Zeitkonstante τ berechnet werden:

$$\tau = \frac{1.1562\,\mathrm{W\,s\,g^{-1}\,K^{-1}} \cdot 1.4\,\mathrm{g\,cm^{-3}} \cdot \pi \cdot (1.45\,\mathrm{mm})^2}{8.4\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}} \cdot \pi \cdot 2.9\,\mathrm{mm}}$$
$$= 140\,\mathrm{s} \tag{11.52}$$

Es ist ersichtlich, dass selbst in dem Fall, dass die hier verwendeten geschätzten Materialkonstanten stark von den tatsächlichen abweichen, die Zeitkonstante immer noch im Bereich eines mindestens einstelligen Sekundenwertes liegt.

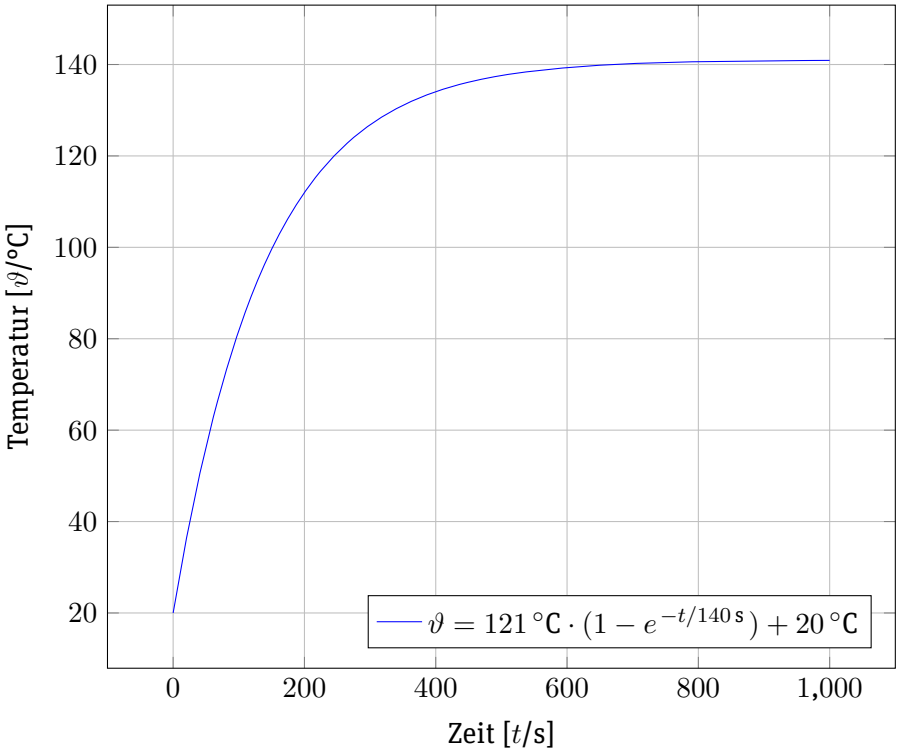


Abbildung 11.2.: Temperaturentwicklung im Kurzschlussfall (I=15 A) in Abhängigkeit von der Zeit

Konkret bedeutet das, dass zur Abschaltzeit von $t = t_0 + 25$ ms die Temperatur erst um rund 0.02 °C gestiegen ist (siehe Gleichung (11.53)), was sich auch mit abweichenden Materialkonstanten nicht signifikant ändert. Abb. 11.2 zeigt die Temperaturentwicklung bei Kurzschluss im Bereich von 0 bis 10 min.

$$\begin{aligned}\vartheta &= (141\,°C - 20\,°C) \cdot (1 - e^{-25\times10^{-3}\,s/140\,s}) + 20\,°C \\ &= 121\,°C \cdot (1 - e^{-1.786\times10^{-4}}) + 20\,°C \\ &= 0.0216\,°C + 20\,°C \end{aligned} \tag{11.53}$$

11.2. Experimentelle Verifikation

Die in Abschnitt 11.1.1 auf Seite 144, Abschnitt 11.1.4 auf Seite 149 und Abschnitt 11.1.3 auf Seite 148 hergeleiteten Beziehungen sollen experimentell überprüft werden.

Es stand folgende textilummantelte Gummiader-Leitung zur Verfügung:

- Produktionszeitraum ca. 1936-1950
- Ursprünglich im Bergmannrohr verlegt, äusserlich keine Alterungsspuren.

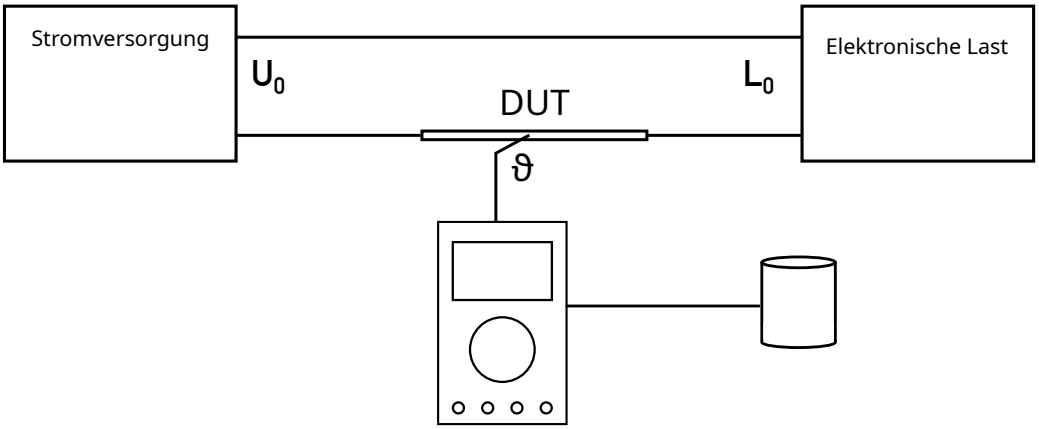


Abbildung 11.3.: Testaufbau Experiment Leitertemperatur, Device under test (DUT) = Device under Test = getestete Leitung

- $d_{Leiter} = 1.15\,\text{mm}$
- $d_{Leitung} = 4.1\,\text{mm}$
- Farbe: Rot

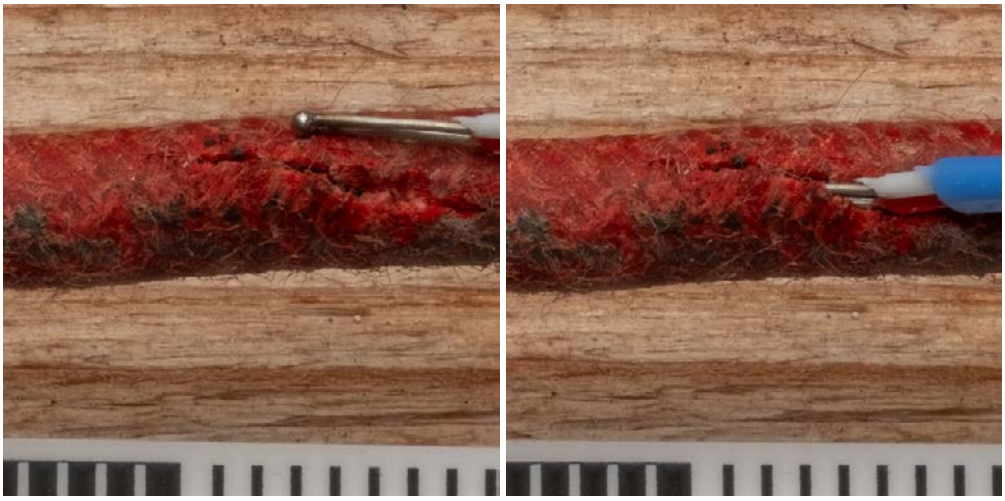
Mit diesen Werten wird bei eine Belastung von 14 V und 15 A und den Materialwerten aus Abschnitt 11.1.4 auf Seite 150 eine Maximaltemperatur von $\vartheta_{max} = 61\,°\text{C}$ und ein instationärer Anstieg mit $\tau = 197\,\text{s}$ errechnet.

Die Leitung wurde auf Isolierrollen im Abstand von 1 m mit Stahldraht ($d = 0.75\,\text{mm}$) im Kreuzbund (Abb. 6.8 auf Seite 85) befestigt. Der Abstand wurde bewusst gewählt, da dies erstens nach [2, S. 61] der maximal erlaubte Abstand zweier Isolierrollen ist[5] und zweitens von den Isolierrollen ein kühlender Effekt erwartet und somit bei mittiger Messung und maximalem Abstand dieser Einfluss minimiert wird.

Die überstehenden Enden der Leitung wurden in Lüsterklemmen geführt, die mit dem restlichen Testaufbau über 2.5 mm^2 Leitungen verbunden wurden (siehe Abb. 11.3). Als Stromversorgung kam ein „Uni-T UDP6730 Series Digital Control Power Supply“ (max. 360 W) und als elektronische Last ein „Siglent SDL1000X Programmable DC Electronic Load“ (max. 200 W) zum Einsatz. Mit dieser Kombination sind Lasttests bei 15 A bis 14 V möglich.

Die Temperaturmessung wird mit einem Typ-K-Thermoelement vorgenommen, welches über einen Schnitt in die Isolierung möglichst nah an den Leiter gebracht wird (siehe Abb. 11.4). Das Thermoelement ist mit einem Logging-Multimeter „Brymen BM869s“ verbunden, welches die Temperaturdaten an einen Laptop zur Sammlung und Auswertung sended.

[5] In der Schweiz 1.2 m



(a) Makroaufnahme des Schnitt in die Leitungsisolation und des K-Type Thermosensors

(b) Makroaufnahme des in den Schnitt eingesetzten Thermosensors

Abbildung 11.4.: Temperaturmessung am Kabel, Fotos: André Lison 2024

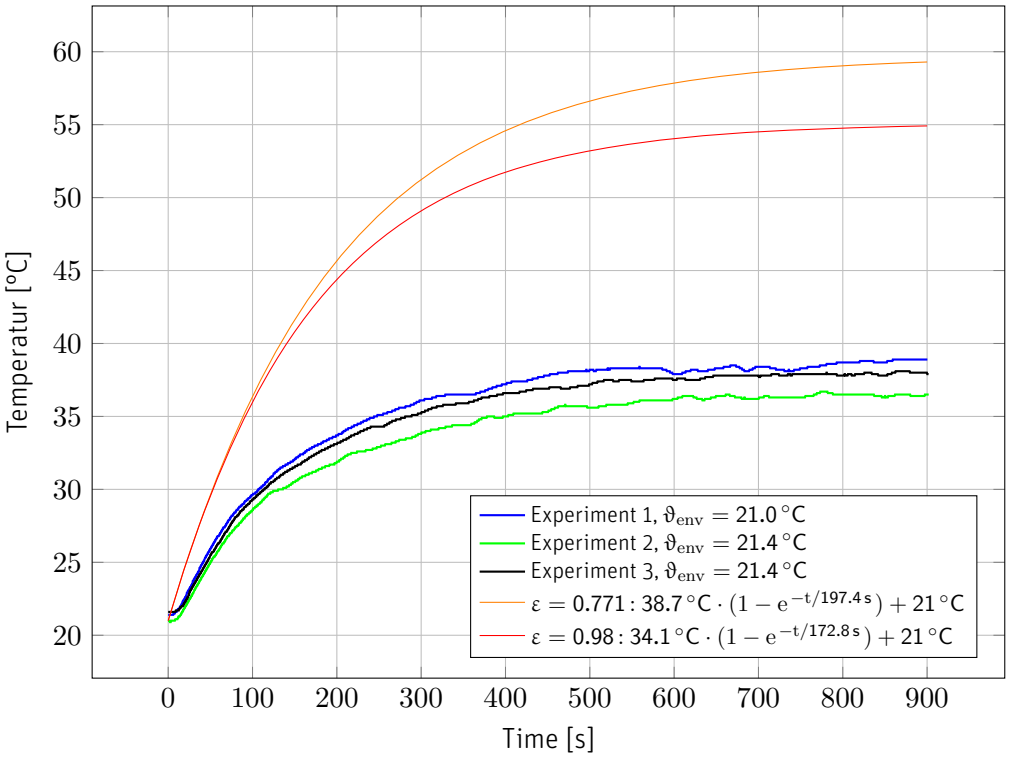


Abbildung 11.5.: Erwärmung eines Leiters bei 14 V und 15 A

Die Verluste in den Zuleitungen und dem DUT führen zu einem Spannungsabfall und einer Verlustleistung, wodurch die vorgesehene Stromstärke von 15 A nicht erreicht

wird. Die an der elektronischen Last abgelesenen Werte für Spannung (13.3 V) und Strom (14.73 A) wurden in die Berechnung (siehe Listing 3 auf Seite 296) und weiter in Abb. 11.5 auf der vorherigen Seite übernommen.

11.2.1. Korrektur des Emmissionswerts

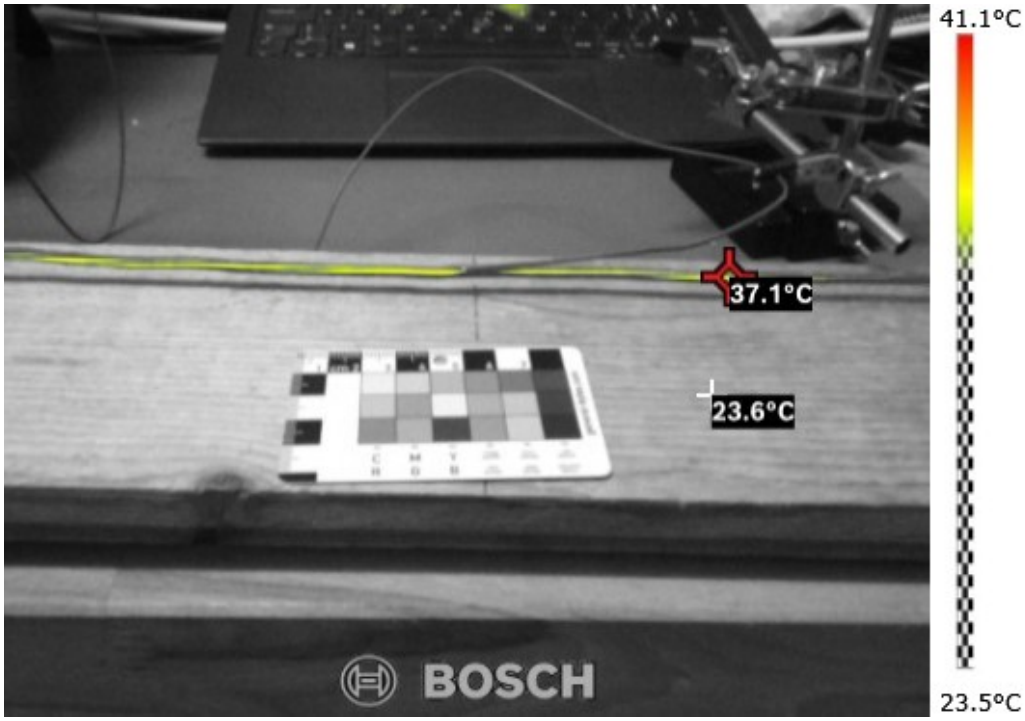


Abbildung 11.6.: Thermografieaufnahme des Kabels im Experiment 3, 12:09:58, Foto: André Lison 2024

Eine parallel durchgeführte Thermografiemessung der Leitung (Abb. 11.6) mit einer Wärmebildkamera „GTC 400 C Professional“ hat gezeigt, dass ein Emissionsgrad von 0.771 für die Baumwollummantelung zu hohe Werte liefert. Wird dieser Emmissiongrad eingestellt, ist die gemessene Temperatur[6] 41.1 °C. Gleichzeitig wurden mit dem Thermoelement 36.3 °C bestimmt. Eine Erhöhung des Emissionsgrads auf 0.98 hat die gemessene Temperatur auf 37.1 °C korrigiert, was deutlich näher am Thermoelement-basierten Wert ist.

Die Anpassung des Emmissionsgrads ist auch in Übereinstimmung mit publizierten Emmissionsgradtabellen, z.B. aus VDI-Wärmeatlas[8, S. 1087] ist. Die textile Hülle ist laut Literatur in der Regel mit Leinöl (s. Abschnitt 5.3.2 auf Seite 64) mit Pigmentzusatz imprägniert, was zu $\varepsilon \geq 0.9$ führt.

Die Berechnungen wurden entsprechend angepasst und das Abb. 11.5 auf der vor-

[6] Experiment 3, 12:09:58, Bild RB00557

herigen Seite um diese Kurve ergänzt.

11.2.2. Ermittlung von τ

	$t_{0\,\%}$	$t_{95\,\%}$	t	τ
Experiment 1	15:19:14	15:30:21	11:07 = 667 s	222 s
Experiment 2	11:57:40	12:07:44	10:04 = 604 s	200 s
Experiment 3	12:43:25	12:52:23	08:58 = 538 s	179 s
Berechnet mit $\varepsilon = 0.771$ (s.o.)	-	-	-	197 s
Berechnet mit $\varepsilon = 0.98$ (s.o.)	-	-	-	173 s

Tabelle 11.2.: Ermittlung von τ aus den Messdaten

11.2.3. Fehlerbetrachtung

Das zur Temperaturmessung verwendete Thermoelement Typ K hat je nach Klasse[7] einen Fehler von 0.4 %+1.5 °C bis 0.75 %+2.5 °C[15]. Möglicherweise muss zusätzlich mit einem Messfehler der Thermospannung von 0.3 %+1.5 °C gerechnet werden (siehe [7]).

Weiterhin konnte nicht ermittelt werden, ob das Thermoelement nah genug am Leiter platziert werden konnte. Ein grösserer Abstand hätte niedrigere Temperaturmessungen zur Folge.

Die thermische Trägheit des Thermoelements verzögert das Bestimmen der veränderliche Temperaturwerte, was u.U. ursächlich für den im Vergleich zur Berechnung langsameren Anstieg bei $t = 0s$ bis ca. $t = 15s$ erklären könnte.

Weitere Fehlerquellen stellen die zusätzliche Wärmekapazität des Thermoelement und seiner Anschlüssen und die Vergrösserung des Leitungsquerschnitts dar, was laut analytischer Berechnung ebenfalls zu einer niedrigeren Temperaturbestimmung führt.

Zusätzlich hat die faserige Baumwollbeflechtung eine deutlich grössere Oberfläche, als der angenommene, perfekte Zylinder (Gleichung (11.10) auf Seite 144). Dies begünstigt eine stärke Wärmeabgabe in die Umgebung, was zu tieferen Kabeltemperaturen führt.

[7] Klasse des verwendeten Thermoelelements unbekannt

11.3. Fazit

Die Leitertemperaturen im Dauerbetrieb und im Kurzschlussfall bis zur Abschaltung bleiben in einem so niedrigen Bereich, dass keine Gefahr für die Leitung, die Umgebung und Lebewesen besteht.

Literatur

[1] C. Heinke, *Handbuch der Elektrotechnik* (Handbuch der Elektrotechnik v. 6, no. 1). S. Hirzel, 1904. Adresse: https://books.google.ch/books?id=t8pLAAAAYAAJ (siehe S. 141).

[2] P. Stern, *Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft*, ger. Literarisches Bureau der Siemens-Schuckertwerke, 1922 (siehe S. 152).

[3] W. Oburger und E. Vrana, *Handbuch Werkstoffe der Elektrotechnik*. München, Wien, Schaffhausen: Reinhold Schmidt-Verlag, 1954 (siehe S. 149).

[4] W. Gehret, J. P. Heimgartner und E. Müller, «Probleme der Kabelerwärmung bei intermittierendem Betrieb,» *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins*, 6 1976. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-915142 (siehe S. 149).

[5] Prof. Arthur Ruh, *Script Wärmelehre*. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 17. Dez. 2003 (siehe S. 143, 144, 146, 147).

[6] Yumpu.com. «Klausur Technische Textilien WS 2010/2011,» yumpu.com. (ca. 2011), Adresse: https://www.yumpu.com/de/document/read/9211029/klausur-technische-textilien-ws-2010-2011 (besucht am 25. 09. 2024) (siehe S. 146).

[7] Brymen Technology Corporation, Hrsg., *User's manual BM867s BM869s*, en. Brymen Technology Corporation, 2013 (siehe S. 155).

[8] Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen und Verein deutscher Ingenieure, Hrsg., *VDI-Wärmeatlas* (Springer Reference), 11. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer Vieweg, 2013, ISBN: 978-3-642-19981-3 (siehe S. 146, 154).

[9] A. Schweizer. «Wärmekapazität verschiedener Materialien.» (ca. 2020), Adresse: https://www.schweizer-fn.de/stoff/wkapazitaet/wkapazitaet_baustoff_erde.php (besucht am 05. 10. 2024) (siehe S. 149).

[10] A. Schweizer. «Wärmeleitfähigkeit von Baumaterial.» (ca. 2020), Adresse: https://www.heise.de (besucht am 25. 09. 2024) (siehe S. 146).

[11] A. Schweizer. «Wärmeübergangskoeffizienten von Gasen.» (ca. 2020), Adresse: https://www.schweizer-fn.de/stoff/wuebergang_gase/wuebergang_gase.php (besucht am 25. 09. 2024) (siehe S. 145).

[12] P. Sündermann. «Wofür steht das g/m² bei Textilien? | fwtex.» (15. Juli 2020), Adresse: https://www.fwtex.de/neuigkeiten/wissen/wofuer-steht-das-g-m2-bei-textilien/ (besucht am 05. 10. 2024) (siehe S. 150).

[13] R.-D. Rogler und K. Schellenberger, «Versuch HS2, Erwärmung einer Freileitung bei Wechsellast,» 2021. Adresse: https://www2.htw-dresden.de/~rogler/free/erwaerm_dyn.pdf (siehe S. 149, 150).

[14] Prof. Arthur Ruh. «Erwärmung eines Kabels.» (2024), Adresse: https://www.twintech.ch/aruh/papers7/Kabelrolle.pdf (besucht am 25. 09. 2024) (siehe S. 143, 145).

[15] *Thermoelement*, in *Wikipedia*, Page Version ID: 244133557, 17. Apr. 2024. Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermoelement (besucht am 29. 10. 2024) (siehe S. 155).

12. Lichtbögen

Aeusserlich characterisirt sich das Bogenlicht durch ein intensives bläuliches, hie und da etwas flackerndes Licht; es wird durch den elelectrischen Lichtbogen gebildet, welcher zwischen zwei Kohlenstäben, die einige mm Distanz von einander haben, immer entsteht, wenn der electrische Strom eine bestimmte Intensität erlangt.

„Ueber die neuere Gestaltung der electrischen Beleuchtung und der Kraftübertragung in der Praxis: Vortrag“ 1887 [1]

12.1. Lichtbögen in der Hausinstallation

Abbildung 12.1.: Lichtbogen bei 3 kV zwischen zwei Nägeln[1]

Einmal von historischen Bogenlampen und kaum noch verwendeten Glimmlampen abgesehen, hat der Lichtbogen in der Hausinstallation keine Anwendung.

Hauptsächlich tritt er als Schaltlichtbogen[2](umg. «Schaltfunke») in Schaltern und anderen Kontakten (z.B. Steckkontakten) und als Störlichtbogen zwischen zwei Leitern oder Erde/PE auf.

Auf Grund der starken Wärmeentwicklung eines Lichtbogens besteht prinzipiell erhöhte Brandgefahr. In klassischen 230 V-Installationen ist dieses Phänomen gut untersucht und wird u.a. mit Hilfe von Isolationsmessungen, angepassten Schalterkonstruktionen und seit einiger Zeit zusätzlich durch Brandschutzschalter, eng. Arc fault detection device (AFDD), adressiert.

12.2. Theoretische Grundlagen

In der Publikation „DC-Arc Models and Incident-Energy Calculations“[9] aus „IEEE Transactions on Industry Applications“ schreiben die Autoren: «Die Lichtbogenphysik ist komplex und die physikalischen Konstanten sind für praktisch auftretende

[1] License: Achim Grochowski – Achgro, CC BY 3.0 `https://creativecommons.org/licenses/by/3.0` via Wikimedia Commons

[2] für mehr Informationen: Schalter für die Elektrotechnik und Elektronik, Neue Zürcher Zeitung[5]

Störlichtbögen in Energieanlagen schwierig zu definieren. Daher wurde das derzeitige Wissen hauptsächlich auf Basis von Beobachtungen und Analysen elektrischer Messungen entwickelt.»

Entsprechend werden die interessierenden Grössen mit Näherungsformeln beschrieben, die möglicherweise nicht alle auftretenden Phänomene berücksichtigen. Für eine Abschätzung der Gefährlichkeit von Gleichstrom-Lichtbögen sind sie jedoch ausreichend genau.

12.2.1. Lichtbogen-Phasen

Die Lebenszeit eines Lichtbogen lässt sich grob in 2 Phasen einteilen:

1. Aufbau des Lichtbogens: Bei einer Potentialdifferenz grösser der sogenannten Breakdown-Spannung U_B formiert sich der leitende Plasma-Kanal $\rightarrow$ „Zündbedingung“.
2. Konstantes „Brennen“ (eng. „static arc“): Unter bestimmten Umständen kann ein Lichtbogen den Plasmakanal dauerhaft aufrecht erhalten und einen ununterbrochenen Stromfluss ermöglichen. Für die dafür erforderliche Spannung gilt $U_{arc} \leq U_B$.

Phase Punkt 1 kommt regulär beim Öffnen oder Schliessen mechanischer Kontakte vor. Da die anschliessende Phase Punkt 2 sehr kurz ist, wird nur eine geringe Energiemenge freigesetzt, die durch mechanische Abschirmungen (z.B. Schaltergehäuse) keine Gefahr darstellt.

Eine längere oder sogar dauerhafte Phase Punkt 2 stellt jedoch eine ernste Gefahr dar, weil eine nicht unerhebliche Wärmeentwicklung umliegendes Material in Brand setzen kann.

Es müssen also die Bedingungen für beide Phasen erfüllt sein («Aufbau» & «Brennen»), damit ein Lichtbogen zur Brandgefahr wird.

Für beide Phasen existieren unterschiedliche physikalische Formeln, welche nachfolgend betrachtet werden.

12.2.2. Bestimmung der Durchbruch-/Breakdown-Spannung U_B in Gasen

Für die Berechnung der Breakdown-Voltage wird das Paschen-Gesetz[13], [18] angewendet.

$$U_B = pd \, \frac{B}{\ln(pd \cdot A) - \ln\big(\ln(1 + \gamma^{-1})\big)} \tag{12.1}$$

Hierbei ist p der Gasdruck, d der Elektrodenabstand und A und B sind Materialkonstanten des umgebenden Gases. Für den Fall einer Hausinstallation (Luft und Cu-Leiter/Elektroden) haben sie folgende Werte[11, S. 45]:

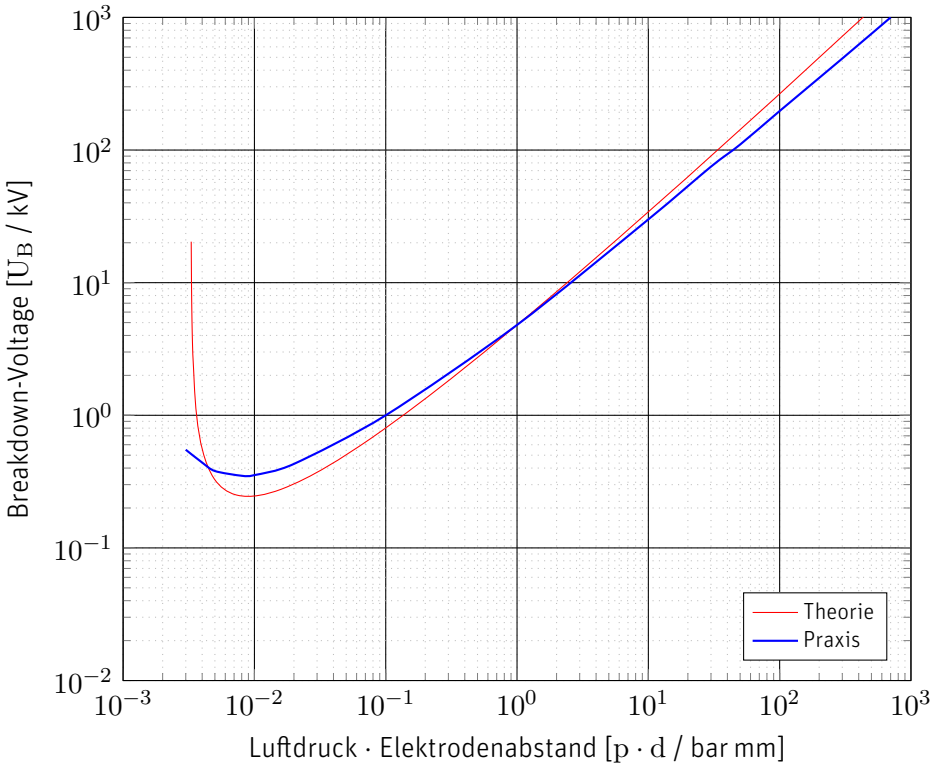


Abbildung 12.2.: Paschenkurve für Luft und Kupfer, aus [11, S. 46]

- $\gamma = 0,025$
- $A = 1130\,\mathrm{mm}^{-1}\,\mathrm{bar}^{-1}$
- $B = 27.4\,\mathrm{kV}\,\mathrm{mm}^{-1}\,\mathrm{bar}^{-1}$

Wird in Abhängigkeit vom Produkt aus Elektrodenabstand d und Luftdruck p die Durchbruchspannung aufgetragen, ergibt sich die sogenannte Paschen-Kurve (siehe Abb. 12.2). Eine wichtige Erkenntnis aus der Paschen-Kurve ist, dass die Durchbruchspannung vor und nach dem Minimum wieder sehr schnell steigt.

In der Praxis weichen die Messwerte etwas von der dargestellten Paschen-Kurve ab. Die Literatur nennt hier recht konsistent experimentell ermittelte minimale Durchbruchspannungen von $U_B = 320$ bis $352\,\mathrm{V}$ und Elektrodenabstände von $d_{min} = 6 \times 10^{-3}$ bis $8 \times 10^{-3}\,\mathrm{mm}$ ([10, S. 101], [11, S. 46], [14, S. 565], [18]). Auch steigt die Durchbruchspannung bei Abständen $< d_{min}$ deutlich langsamer an (siehe [11, S. 46]).

12.2.3. Bestimmung der Arc-Spannung U_{arc} in Gasen

Ist der Plasmakanal durch Stossionisation aufgebaut, sinkt die notwendig Spannung zur Aufrechterhaltung des Kanals U_{arc} unter die Breakdown-Spannung U_B.

Es existieren diverse Näherungsformeln um die Lichtbogenspannung U_{arc} zu bestimmen. Einen guten Überblick über die verfügbaren Modelle liefert „DC-Arc Models and Incident-Energy Calculations“[9] und „Comparison of Equations of the VI Characteristics of an Electric Arc in Open Air“[15].

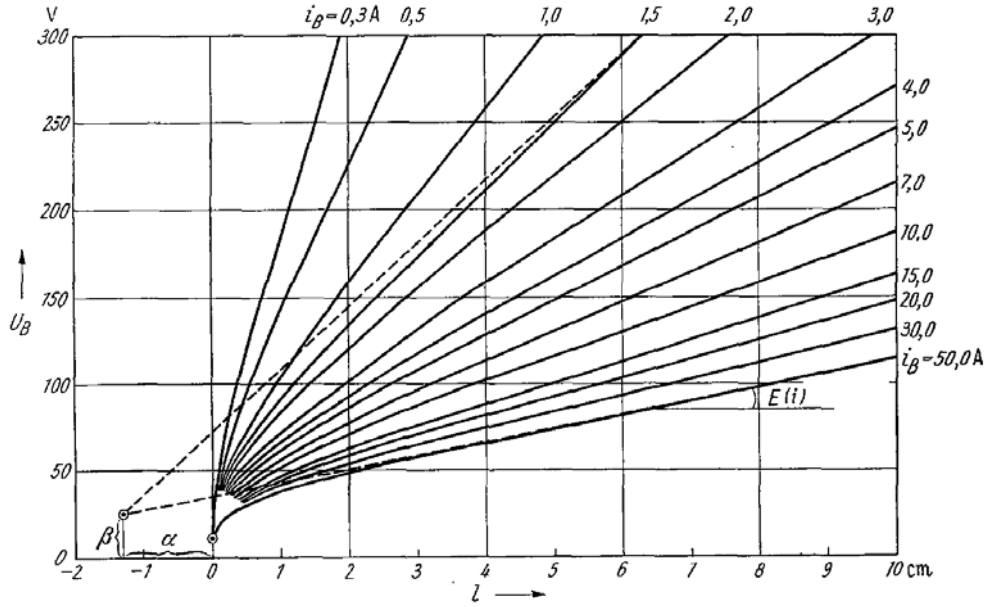


Fig. 1. Bogenspannung als Funktion der Bogenlänge für frei in Luft brennende Lichtbögen (Kupferelektroden)

Abbildung 12.3.: Bogenspannung als Funktion der Bogenlänge, Wilhelm Rieder[4]

Der überwiegende Teil der Formeln wurde auf Grund von Messungen mit einem Elektrodenabstand > 1 mm entwickelt. Dass für diese Konfigurationen die notwendige minimale Spannung vergleichsweise hoch ist, erklärt sich aus der Tatsache, dass die elektrische Feldstärke als treibende Kraft des Lichtbogens umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes ist (Gleichung (12.2)).

$$E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \tag{12.2}$$

Es ist jedoch prakisch ausgeschlossen, dass grössere Elektrodenabstände bei 24 V zünden, weshalb die Messwerte für diese Abstände hier nicht relevant sind.

Die Strom-Spannungs-Kennlinie verhält sich unterhalb 3 bis 5 cm Elektrodenabstand nichtlinear. Schon Nottingham legte dies in „A New Equation for the Static Characteristic of the Normal Electric Arc“[2, S. 4] nahe, ebenso Rieder in „Leistungsbilanz der Elektroden und Charakteristiken frei brennender Niederstrombögen“[4] (siehe Abb. 12.3).

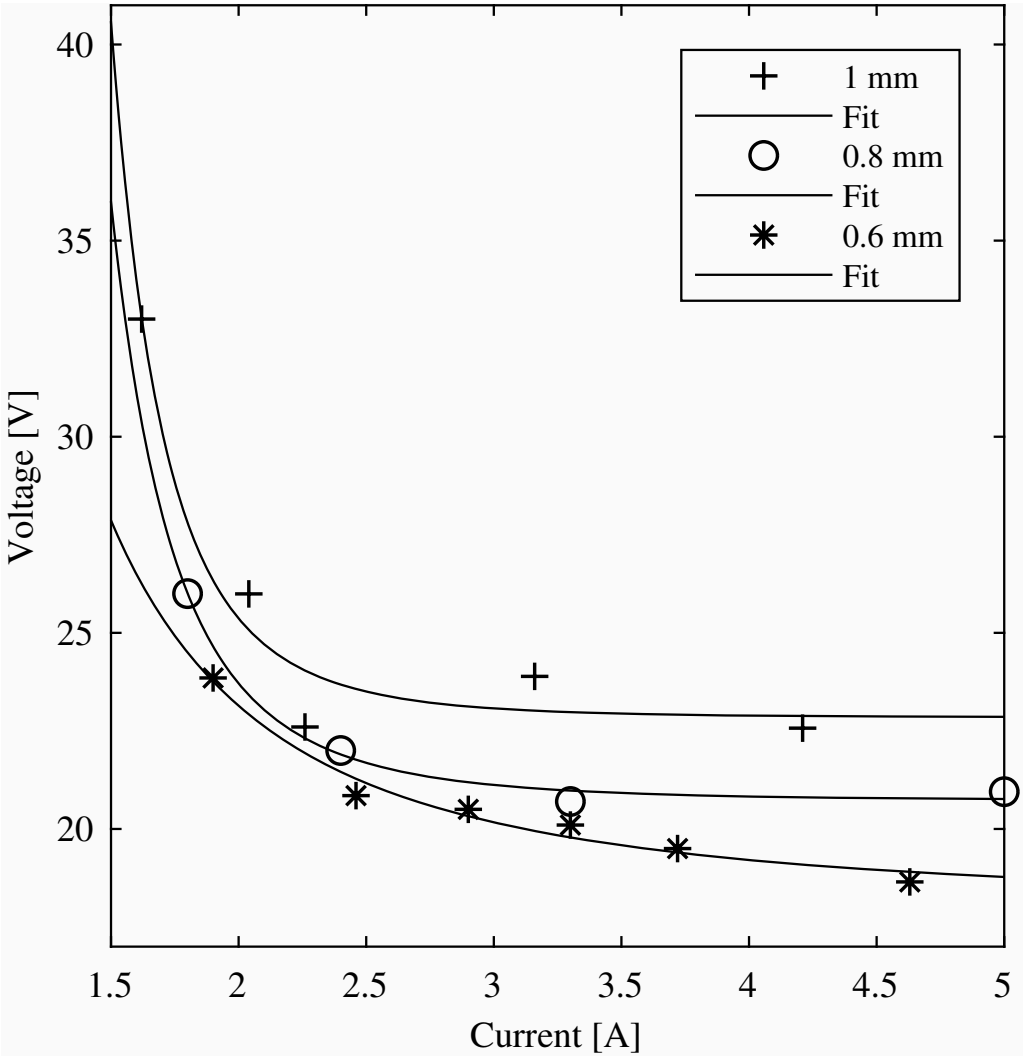


Abbildung 12.4.: «Static characteristic of an arc with copper electrodes. Fit curves are obtained using Andrea equation.»[15, Fig. 10]

Andrea, Schweitzer und Carvou stellen in [15] Messungen mit Kupferelektroden und 0.6 mm Abstand vor, die anscheinend zeigen, dass einmal gezündete Lichtbögen unter 24 V und 5 A stabil brennen können (Abb. 12.4). Die dargestellte Spannung ist allerdings nicht die Versorgungsspannung V_{DC}, sondern der Spannungsabfall V_{arc} über dem Lichtbogen. V_{DC} ist jedoch signifikant höher als V_{arc}. Leider macht das Paper dazu keine Angaben.

12.2.4. IEEE

Nicht unerwähnt bleiben sollen die Berechnungsvorschriften der Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) zu sogenannten Arc-Flashs, einer Art elek-

trischer Explosion, welche aus einem Störlichtbogen resultieren kann[7]. Sie gelten im Spannungsbereich von 208 bis 15×10^3 V und sind daher im Kontext einer 24 V-Installation nicht anwendbar.

12.3. Elektrische Festigkeit von festen Isolierstoffen

Nicht nur in Luft sind Durchschläge möglich, sondern auch durch festes Material, hier meist Isolierstoffe. Es existiert jedoch kein geschlossenes Modell, wie für den Durchbruch in Gasen (vgl. Abschnitt 12.2.2 auf Seite 160).

Generell sind drei Durchschlagmechanismen zu beobachten (aus [11, S. 50] und [10, S. 116ff]):

1. Der rein elektrische Durchschlag
2. Der Wärmedurchschlag
3. TE-Durchschlag infolge Alterung und Materialerosion („Alterungsdurchschlag“)

Ein *Elektrischer Durchschlag* (Punkt 1) erscheint bei den hier auftretenden Spannungen und Isolierstoffdicken als äusserst unwahrscheinlich.

Auch der *Wärmedurchschlag* (Punkt 2) ist bei der sehr geringen Verlustleistungen und den daraus folgenden Temperaturen (siehe Kapitel 11 auf Seite 141) praktisch nicht möglich.

Schon durch das hohe Alter der Isolierungen ist der *Alterungsdurchschlag* die wahrscheinlichste Variante. Er wird «nach langer Beanspruchung durch Fehlstellen (Fehlstellendurchschlag) ausgelöst»[10, S. 120]. Vor allem die (in der Regel unbekannte) thermische Belastung trägt zu Alterung massgeblich bei: «Dagegen werden die meisten Isolierstoffe (besonders solche aus Zellulose [meist Baumwolle oder Papier, Anm. d. Verf.]) mechanisch zerstört, wenn sie einer zu hohen Temperatur ausgesetzt werden. Der Grad der Zerstörung ist eine Funktion der Zeit und der Temperatur. Die Zerstörung besteht im Brüchigwerden oder Verkohlen der Trägerstoffe und im Herausdestillieren des Binde- oder Imprägniermittels.»[3, S. 63] In Anbetracht der weit überschrittenen Lebendsdauerkennlinien und fehlenden Kenntnisse über die vorausgegangenen Beanspruchungen ist eine seriöse analytische Abschätzung nicht möglich.

Ein Durchschlag kann das organische Isolationsmaterial karbonisieren und damit eine leitende, graphitähnliche Brücke zwischen den Leitern bilden (siehe [6, S. 72] und [16]). In Niederspannungsinstallationen kann diese Graphitbrücke Lichtbögen ermöglichen, die jedoch in 24 V nicht auftreten. Die Graphitbrücke stellt durch ihre Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand des Graphits $\rho = 2$ bis $5\,\Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}$) eine Kurzschlussbrücke dar, welche durch die Strombegrenzung keine Gefahr darstellt.

Beispiel: Eine 0.5 mm lange Graphitstrecke mit einem Querschnitt $q = 0.5\,\text{mm}^2$ hat gemäss Gleichung (9.6) auf Seite 119 einen Widerstand von:

$$R = 2 \text{ bis } 5\,\Omega\,\text{mm}^2\,\text{m}^{-1} \cdot \frac{5 \times 10^{-4}\,\text{m}}{0.5\,\text{mm}} \tag{12.3}$$

$$= 0.002 \text{ bis } 0.005\,\Omega \tag{12.4}$$

Die Graphitbrücke wirkt als Kurzschluss, wodurch der Strom über den Bemessungsstrom anwächst und die Strombegrenzung auslöst. Erst eine um den Faktor 1000 verlängerte Brücke, d.h. $l = 500\,\text{mm}$ erzeugt eine kritische Verlustleistung (siehe Tabelle 10.1 auf Seite 131). Es ist jedoch ausgeschlossen, dass eine derart lange Graphitstrecke entstehen kann.

12.4. Lichtbögen in einer 24 V-SELV-Installation

Die in Abschnitt 12.2 auf Seite 159 erarbeiteten Grundlagen sollen auf eine 24 V-SELV-Installation mit einem maximalen Strom von 5 A angewendet werden.

1. Durchbruchspannung U_B (Abschnitt 12.2.2 auf Seite 160): Die minimale Durchbruchspannung gilt nur für Kontaktabstände in einem sehr schmalen Bereich. Jenseits dieses Bereichs steigt die Durchbruchspannung schnell um mehrere Faktoren an. Schon die Durchbruchspannung von meist weit über ∼340 V liegt jedoch deutlich über der Betriebsspannung von 24 V. Es erscheint einerseits extrem unwahrscheinlich, dass die Betriebsspannung um mehr als 300 V ansteigt. Andererseits sollte ein Durchbruch auf Grund von kurzeitiger Überspannung durch die Stromversorgung[3] abgefangen werden. Fazit: *Unter den gegebenen Bedingungen einer 24 V-SELV-Installation ist eine Lichtbogenzündung nicht zu erwarten.*
2. Stabiler Lichtbogen bei U_{arc} (Abschnitt 12.2.3 auf Seite 162): Es existieren weder analytisch Modelle, noch experimentelle Studien die belegen, dass Lichtbögen bei 24 V/5 A stabil brennen können.
3. Durchschlag bei festen Isolierstoffen (Abschnitt 12.3): Der rein elektrische und der Wärmedurchschlag werden als unwahrscheinlich eingestuft. Hingegen kann der Alterungsdurchschlag nicht generell ausgeschlossen werden. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit gering und die Auswirkungen unkritisch (siehe Abschnitt 12.3).

[3] z.B. Siemens SITOP 6EP1333-3BA00 Ausgangsüberspannungsschutz < 35 V

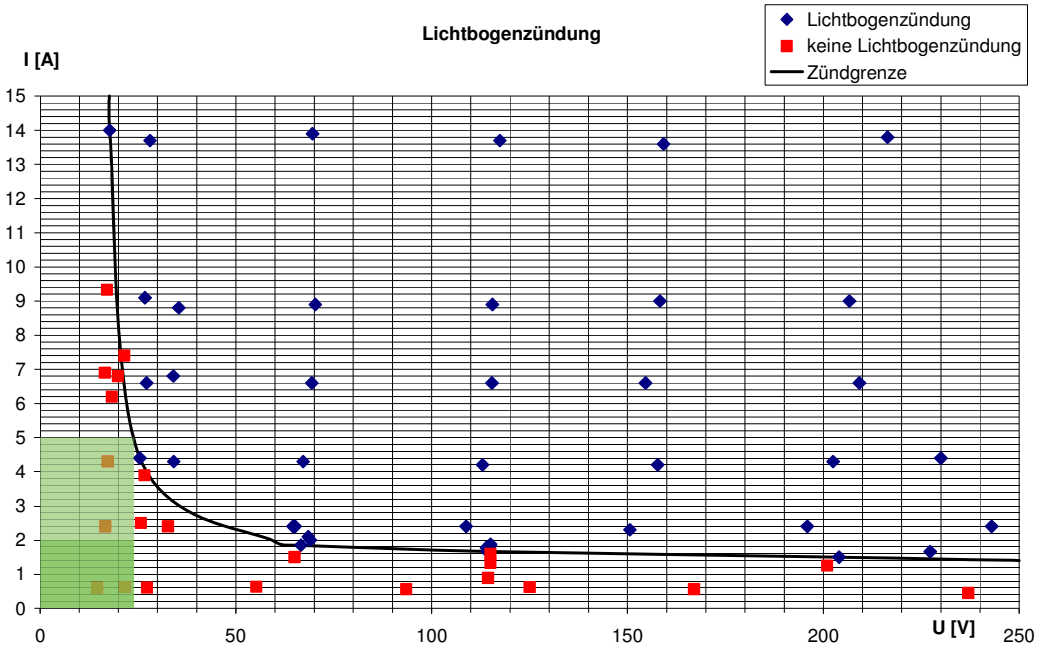


Abbildung 12.5.: Lichtbogen-Zündgrenze, ermittelt auf der Basis von Kupferelektroden, grüne Markierungen zeigen den Bereich 24 V/2 A & 5 A, Quelle: Jan Zornikau/TÜV Rheinland[8].

12.5. Weitere Referenzen

12.5.1. TÜV Rheinland

Der in 2015 publizierte Leitfaden „Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung“ ist in einer Zusammenarbeit des TÜV Rheinland, des Fraunhofer-Instituts, der Berner Fachhochschule und anderer entstanden.

Er enthält ebenfalls Versuchsdaten zur Lichtbogenzündung unter Gleichstrom in einem weiten Spannungs- und Strombereich (siehe Abb. 12.5 aus [12, S. 39, Bild 2-2]). Die Bereiche von 24 V/2 A und 24 V/5 A wurden grün markiert.

Aus Abb. 12.5 ist ersichtlich, dass keine Lichtbögenzündung bei 24 V bis zu einer maximalen Stromstärke von rund 5 A möglich ist.

12.5.2. Institut für Energie- und Mobilitätsforschung IEM/Photovoltaiksysteme, BFH Burgdorf

Im Projekt „Brandprävention an PV-Anlagen mit Lichtbogendetektoren für die Gebäudeversicherung Bern“[17] im Institut für Energie- und Mobilitätsforschung IEM/-Photovoltaiksysteme unter Herrn Prof. Dr. Christof Bucher wurden Wechselrichter-integrierte Lichtbogendetektoren für modulseitige Serienlichtbögen getestet. Diese

integrierten AFDD können Lichtbögen im Gleichspannungsteil der Anlage detektieren. Auf Anfrage, ob er Lichtbögen bei 24 V für möglich hält, antwortete Herr Bucher (s.a. Abschnitt A auf Seite 283):

> «Ein Lichtbogen ist bei 24 V praktisch ausgeschlossen. Zudem würde ich behaupten, dass ein Lichtbogen bei 24 V in der Realität nicht stabil brennen kann.»

12.5.3. Siemens

Auf Anfrage teilte Siemens mit, dass sie die Gefahr eines Lichtbogens im 24 V-DC-Stromkreis als sehr gering einschätzen. Eine AFDD kann zwar primärseitig vor der SIEMENS-SITOP-Stromversorgung eingesetzt werden, ein Lichtbogen auf Sekundärseite wird aber wahrscheinlich nicht erkannt. Auch ist Siemens kein AFDD für 24 V bekannt.

12.6. Fazit

Die Zündung eines Lichtbogens an Luft ist bei 24 V nicht möglich. Sollte eine Zündung durch kurzzeitige, extreme Überspannung doch geschehen, wird der Lichtbogen nicht stabil brennen können. Von einem Lichtbogen geht also in einer 24 V-Installation bei den verwendeten, niedrigen Stromstärken keine Gefahr aus.

Die Gefahr eines Durchschlags durch das gealterte Isolationsmaterial steigt mit der Spannung. Bei 24 V ist ein Durchschlag allerdings sehr unwahrscheinlich. Generell kann der Gefahr mit einer Isolationsmessung zwischen den zwei Leitern (Prüfspannung 250 V) begegnet werden, die Schwachstellen in der Isolation aufdeckt.

Literatur

[1] V. Wietlisbach, «Ueber die neuere Gestaltung der electrischen Beleuchtung und der Kraftübertragung in der Praxis: Vortrag,» *Schweizerische Bauzeitung*, 7 13. Aug. 1887. DOI: https://doi.org/10.5169/seals-14408 (siehe S. 159).

[2] W. B. Nottingham, «A New Equation for the Static Characteristic of the Normal Electric Arc,» *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, Jg. XLII, S. 302–310, 1923. DOI: 10.1109/T-AIEE.1923.5060874 (siehe S. 162).

[3] W. Oburger und E. Vrana, *Handbuch Werkstoffe der Elektrotechnik*. München, Wien, Schaffhausen: Reinhold Schmidt-Verlag, 1954 (siehe S. 164).

[4] W. Rieder, «Leistungsbilanz der Elektroden und Charakteristiken frei brennender Niederstrombögen,» *Zeitschrift für Physik*, Jg. 146, S. 629–643, 1956. Adresse: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:121043088 (siehe S. 162).

[5] A. P. Speiser, «Schalter für die Elektrotechnik und Elektronik,» *Neue Zürcher Zeitung*, 18. Mai 1994. Adresse: https://www.e-newspaperarchives.ch/?a=d&d=NZZ19940518-01.2.79.10 (siehe S. 159).

[6] Y. Dahmouni, «Brandentstehung in Niederspannungsanlagen,» Diss., Universität Hannover, Hannover, 1999 (siehe S. 164).

[7] «IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations,» *IEEE Std 1584-2018 (Revision of IEEE Std 1584-2002)*, S. 1–134, 2002. DOI: 10.1109/IEEESTD.2018.8563139 (siehe S. 164).

[8] J. Zornikau, «Untersuchung der Entstehung von Lichtbögen in Photovoltaik-Modulen und Bewertung der Risiken,» Diplomarbeit, HAW-Hamburg, Hamburg-Bergedorf, 1. Okt. 2007 (siehe S. 166).

[9] R. F. Ammerman, T. Gammon, P. K. Sen und J. P. Nelson, «DC-Arc Models and Incident-Energy Calculations,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, Jg. 46, Nr. 5, S. 1810–1819, 2010. DOI: 10.1109/TIA.2010.2057497 (siehe S. 159, 162).

[10] V. Crastan, *Elektrische Energieversorgung 1*, en, 3. Aufl. Berlin, Germany: Springer, Nov. 2011 (siehe S. 161, 164).

[11] Prof. Dr.-Ing. Thomas Leibfried. «Hochspannungstechnik.» (2011), Adresse: https://www.ieh.kit.edu/nrd/bee/BEE_5.pdf (besucht am 08.10.2024) (siehe S. 160, 161, 164).

[12] A. Sepanski, H. Schmidt, H. Thiem u.a., «Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung, LEITFADEN,» März 2015. Adresse: https://xn--feuerwehr-siebenbumen-m2b.de/wp-content/uploads/2018/01/Brandrisiko_in_PV-anlagen.pdf (siehe S. 166).

[13] R. Massarczyk, P. Chu, C. Dugger, S. Elliott, K. Rielage und W. Xu, «Paschen's law studies in cold gases,» *Journal of Instrumentation*, Jg. 12, Nr. 06, P06019,

Juni 2017. DOI: 10.1088/1748-0221/12/06/P06019. Adresse: https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/12/06/P06019 (siehe S. 160).

[14] P. G. Slade, Hrsg., *Electrical contacts*, en, 2. Aufl. Boca Raton, FL: CRC Press, Dez. 2017 (siehe S. 161).

[15] J. Andrea, P. Schweitzer und E. Carvou, «Comparison of Equations of the VI Characteristics of an Electric Arc in Open Air,» in *2019 IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, 2019, S. 76–81. DOI: 10.1109/HOLM.2019.8923912 (siehe S. 162, 163).

[16] T. Engel, K. Moosmüller und N. Werther, «Brandgefahr durch Elektroinstallationen in modernen mehrgeschossigen Holzgebäuden,» *Bautechnik*, Jg. 98, Sep. 2020. DOI: 10.1002/bate.202000076 (siehe S. 164).

[17] «Brandprävention an PV-Anlagen mit Lichtbogendetektoren für die Gebäudeversicherung Bern.» (2023), Adresse: https://www.bfh.ch/de/forschung/forschungsprojekte/2022-970-730-130/ (besucht am 06. 11. 2024) (siehe S. 166).

[18] Wikipedia. «Paschen-Gesetz — Wikipedia, die freie Enzyklopädie.» [Online; Stand 8. Oktober 2024]. (22. Juni 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Paschen-Gesetz (besucht am 08. 10. 2024) (siehe S. 160, 161).

13. Gefahrstoffe

> *In solchen Fällen [feuchten Räumen, Anm. d. Verf.] waren Gummiaderleitungen am besten geeignet, deren Beflechtung mit Bleimennige-Leinölfirnis durchtränkt war. Hierbei wirkte offenbar auch die keimtötende Eigenschaft der Bleimennige mit.*
>
> „Die Entwicklung der Starkstrom-Installationsleitungen“ 1971 [4, S. 323]

Verglichen mit anderen Gewerken im Haus ist die Hauselektrik relativ schadstoffarm. Trotzdem gibt es einige Materialien, die Gefahrenpotential bergen. Nachfolgende Betrachtung gibt eine Orientierung, ist aber möglicherweise nicht vollständig. Vor allem Kunststoffe enthalten häufig unbekannte Inhaltsstoffe, die potentiell gesundheitsgefährdend sind.

13.1. PCB

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind sehr stabile Verbindungen, die kaum abgebaut werden und sich durch ihre gute Fettlöslichkeit «über die Nahrungsketten in den Fettgeweben von Fischen und Säugetieren»[6] anreichern. Sie verfügen über ein breites Spektrum von chronisch toxischer Wirkung[6].

In dem in dieser Arbeit betrachteten Teil der Hausinstallation sind sie nicht direkt zu finden, können aber in Kondensatoren von Elektromotoren, Leuchtstofflampen, Blindleistungskompensationen oder in sonstigen Leistungskondensatoren vorkommen. Auch Isolieröle von Transformatoren und Weichmacher für Kunststoffe können PCB enthalten.

Hinweise zur Erkennung und Entsorgung von PCB-haltigen Kondensatoren liefert die Publikation „Kondensatorenverzeichnis“ [6].

13.2. PAK

Die Verwendung von Bitumen, Asphalt und Teer als Imprägnierung und Isolation von Isolierrohren und Leitungen ist bereits in Abschnitt 6.3.2 auf Seite 88 und Abschnitt 5.3.2 auf Seite 63 beschrieben worden. Diese Stoffe enthalten in verschiedenem Masse Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). In Form von Russ

gelangte PAK auch in Gummierzeugnissen, wie Gummigriffe und Kabelummantelungen.

Einige PAK-Moleküle können Krebs verursachen. Die Aufnahme durch den Menschen geschieht in der Regel über PAK-haltige Partikel, welche sich aus dem Material, zum Beispiel durch Alterung, lösen. Eine gute Einführung in das Thema PAK bietet die Publikation „Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)“[7] des Bundesamt für Gesundheit BAG.

13.3. Asbest

In Häusern, welche vor 1990 erbaut wurden, ist mit Asbest in zahllosen Materialien zu rechnen. Die Elektroinstallation ist keine Ausnahme.

Asbest ist stark hykroskopisch und daher als elektrische Isolierung schlecht geeignet[1, S. 66]. So ist die Verwendung als „Faserisolation“ schon in den Hausinstallationsvorschriften von 1909 nur in «trockenen Räumen mit Temperaturen über 60 °C»[2, S. 16] erlaubt, was nur auf spezielle Gewerbe- und Industrieräumlichkeiten zutreffen dürfte.

Dementsprechend wurde Faserasbest („Asbestpappe“) nur als Brandschutz unter Steckdose und Schaltern, hinter Sicherungskästen und Warmwasser-Boilern, unter Vorschaltgeräten von Leuchtstoffröhren[3, S. 52] etc. verbaut. Siehe dazu auch „Asbest im Haus“[5, S. 8].

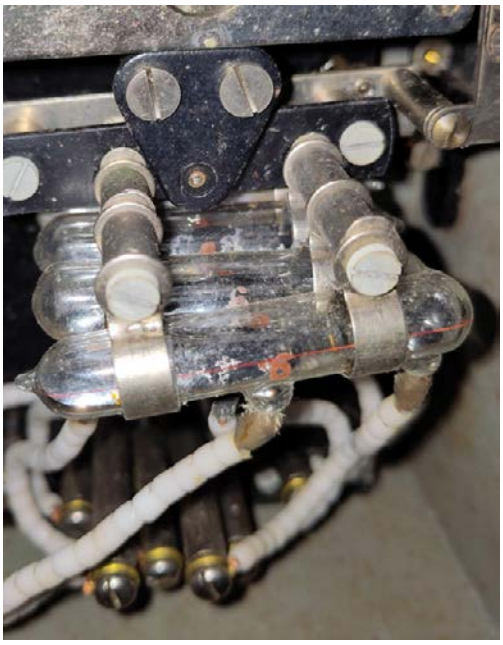
Asbest kann auch als Zuschlagstoff in einer ganzen Reihe von Bau- und Kunststoffen enthalten sein. Darunter sind Bakelit, Pertinax, Hartgummi, Lignat und Eternit, um nur einige zu nennen. Selbst Baumwolle ist es zugesetzt worden[1, S. 66f]. Mit Ausnahme der Baumwolle setzen die vorgenannten Materialien die Asbestfasern erst bei Bearbeitung, Bruch oder fortgeschrittener Degradation frei.

13.4. Ortho-Trikresylphosphat

Das Weich-PVC „Igelit“ enthielt Ortho-Trikresylphosphat als Weichmacher, welcher zu Nervenlähmungen führen kann[8], [9]. Wie akut das Problem in Hausinstallationen heute noch ist, ist unbekannt. Nach Hartwig[9] kann auf Grund mangelnder Datenlage auch kein biologischer Arbeitsstoff-Toleranz-Wert (BAT-Wert) abgeleitet werden.

Trotz des vermutet geringen Einsatzes von Igelit in der Schweiz, besteht die Möglichkeit, dass auch anderen Fabrikate und Kunststoffe dieser Weichmacher zugesetzt wurde.

(a) GE silent switch, Foto: Max from MuseumOfTheObsolete on Etsy



(b) Drei Quecksilber-Schalter in einem fernsteuerbaren Schalter, Foto: André Lison 2024

Abbildung 13.1.: Verschiedene Quecksilberschalter

13.5. Schwermetalle

Es wurden und werden verschiedene Schwermetalle in der Elektroinstallation eingesetzt. Am augenscheinlichsten ist das Kupfer, welches als Leiter u.a. in Kabeln dient. Darüber hinaus wurde auch Zink verwendet (Abschnitt 5.2 auf Seite 61), ebenfalls ein Schwermetall. Für Temperaturschalter, Treppenlichtschalter, Motorschalter, fernsteuerbare Schalter (Abb. 13.1b) und in den USA für geräuschlose Lichtschalter (Abb. 13.1a) wurde Quecksilber in Glasröhrchen mit zwei Kontakten gefüllt. Entweder beim Erreichen einer bestimmten Temperatur oder Neigung des Röhrchens hat das Quecksilber beide Kontakte verbunden und den Stromfluss ermöglicht (Abb. 13.1).

Ein häufig in der Elektroinstallation anzutreffendes Schwermetall ist das Blei. Es wurde im grossem Umfang für den Korrosionsschutz von Bergmannrohren (Abschnitt 6.3.2 auf Seite 88) und für Kabelummantelungen verwendet. Ausserdem wurden bleibasierte Pigmente, wie etwas Bleimennige und Bleiweiss, zur Färbung der Textilummantelung und zum Anstrich von Rohren etc. eingesetzt.

Literatur

[1] C. Heinke, *Handbuch der Elektrotechnik* (Handbuch der Elektrotechnik v. 6, no. 1). S. Hirzel, 1904. Adresse: https://books.google.ch/books?id=t8pLAAAAYAAJ (siehe S. 172).

[2] *Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, 1909 (siehe S. 172).

[3] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen 1946, mit Aenderungen und Ergänzungen seit 1937*, VI - Publ. Nr. 152. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1946 (siehe S. 172).

[4] J. Geyler, «Die Entwicklung der Starkstrom-Installationsleitungen,» in *Technikgeschichte*, Ser. Technikgeschichte 38, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1971, 317ff (siehe S. 171).

[5] «Asbest im Haus,» Techn. Ber., Nov. 2005. Adresse: https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/chem/themen-a-z/asbest_im_haus.pdf.download.pdf/Asbest_im_Haus_DE.pdf (siehe S. 172).

[6] R. Arnet, E. Kuhn und U. Näf, *Kondensatorenverzeichnis, Erkennung und Entsorgung PCB-haltiger Kondensatoren*, Mai 2011. Adresse: https://www.chemsuisse.ch/de/fachliches/pcb (siehe S. 171).

[7] «Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK),» Techn. Ber., Okt. 2020. Adresse: https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/chem/themen-a-z/factsheet-polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak.pdf.download.pdf/factsheet-polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak-de.pdf (siehe S. 172).

[8] «Igelit.» Page Version ID: 247350577. (3. Aug. 2024), Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Igelit&oldid=247350577 (besucht am 27. 12. 2024) (siehe S. 172).

[9] A. Hartwig, MAK Commission, et al und M. Arand, «Trikresylphosphat, Summe allerortho-Isomere – Evaluierung von Untersuchungsergebnissen in biologischem Material,» DOI: https://doi.org/10.34865/bb7830d6_1or (siehe S. 172).

14. Probleme historischer Elektroinstallationen

> *Der Gegensatz zur Gegenwart, auf dem der Alterswert beruht, verrät sich vielmehr in einer Unvollkommenheit, einem Mangel an Geschlossenheit, einer Tendenz auf Auflösung der Form und Farbe, welche Eigenschaften denjenigen moderner, das heißt neuentstandener Gebilde schlankweg entgegengesetzt sind.*
>
> „Der moderne Denkmalkultus“ 1903 [1, S. 22]

In diesem Kapitel werden die aus Sicht des Autors wichtigsten Beanstandungen von historischen und ursprünglich normkonformen Elektroinstallationen betrachtet.

Generell kann eine als sicher geltende Installation mit fortschreitender Zeit diesen Status verlieren, weil sie

- entweder nicht an die weiterentwickelten Normen angepasst wurde[1]
- und/oder sich ihr Zustand verschlechtert hat.

Entsprechend wird dieses Kapitel in diese zwei Bereiche aufgeteilt.

14.1. Verlust der Normkonformität

Die Normen dienen der Sicherheit von Personen, Lebewesen und Sachen. Die „Sicherheit“ ist aber keine absolute Kategorie, sondern immer ein praktischer, ökonomischer, technischer, ethischer und gesellschaftlicher Kompromiss. Die Massstäbe verschieben sich je nach erlangtem Wissen über Gefahren und der technisch-ökonomischen Möglichkeiten.

Exemplarisch seien die Kriegszeiten betrachtet. Obwohl die Schweiz nicht direkt in die Weltkriege involviert war, so hatten sie doch negative Auswirkungen auf die Handelsbeziehungen mit dem Ausland und der Verfügbarkeit von Rohstoffen, Zwischen- und Endprodukten. Gleichzeitig wurden viele Ressourcen in die Steigerung der Verteidigungsfähigkeit gesteckt, die dem zivilen Sektor dadurch fehlten. Um Material zu sparen, wurden die Anforderungen in den Vorschriften vorübergehend entsprechend gelockert: Gummischlauchleiter mussten nur noch mit Umflechtung oder

[1] siehe Abschnitt 8.1 auf Seite 114

Abbildung 14.1.: Nulleiterbrücke (grün-gelb) in geöffneter Steckdose, Castello Trefolgi, Foto: André Lison 2024

gummierten Baumwollband umgeben werden, thermoplastische Isolierstoff wurden zugelassen, obwohl Erfahrung und Prüfvorschriften fehlten, die Blechstärke der Isolierrohre und Querschnitte von Erdungsleitern wurde reduziert, Aluminiumleiter zugelassen, Schmelzeinsätze (LS) konnten durch den Hersteller repariert werden usw. (siehe [3] und [4]).

In diesem Abschnitt werden Konstruktionen und Geräte betrachtet, welche bei ihrer Inbetriebsetzung den damals gültigen Normalien entsprachen, jedoch durch ihren technischen Stillstand hinter der Normenentwicklung so stark zurückgeblieben sind, dass ein unveränderter Betrieb kritisch zu hinterfragen ist. Eine vollständige Aufzählung ist kaum möglich. Der Autor konzentriert sich daher auf häufige und gleichzeitig gravierende Normenabweichungen, basierend auf seinen Erfahrungen.

14.1.1. Netzform

Das erste grosse Thema in Bezug auf die Normkonformität ist die Netzform.

Für den Schutz von Personen und Lebewesen bei indirekter Berührung stromführender Teile wurde der Schutzleiter, häufig PE genannt, eingeführt. Der Schutzleiter soll im Fehlerfall einen Kurzschluss herbeiführen und den LS auslösen, sodass eine Berührung keine Gefahr mehr darstellt. Zur Illustration soll ein Beispiel dienen: Löst sich in einem Gerät ein stromführender Leiter und berührt das Metallgehäuse, dann

setzt es dieses unter Spannung. Eine Berührung wäre lebensgefährlich. Das Gehäuse ist jedoch mit dem Schutzleiter „geerdet“, wodurch ein Kurzschluss entsteht und die Sicherung den Stromfluss trennt.

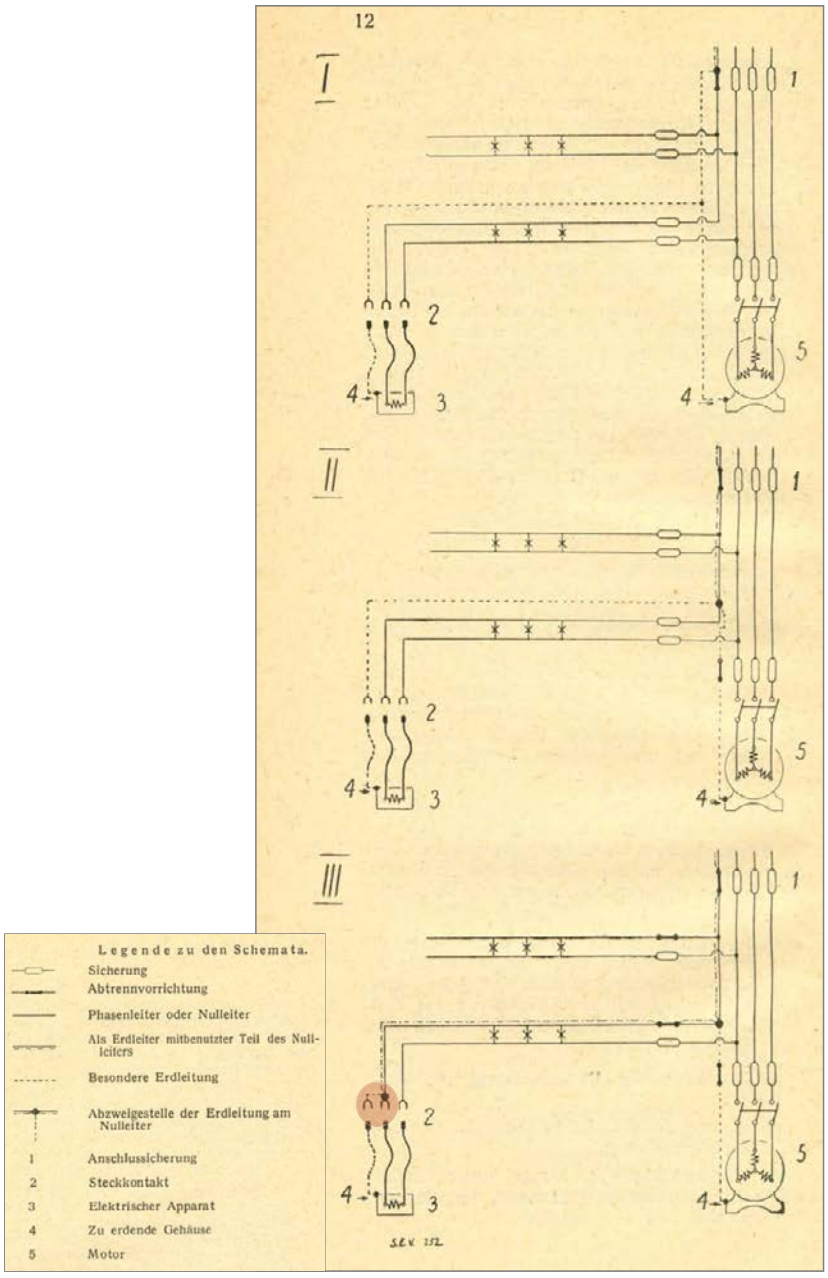


Abbildung 14.2.: Schema I (Terre neutre séparé, separate neutrale Erde (TN-S)), II (Terre neutre combiné séparé, separate kombinierte neutrale Erde (TN-C-S)) und III (Terre neutre combiné, kombinierte neutrale Erde (TN-C)). Roter Kreis zeigt Nullungsbrücke (siehe Abb. 14.1). Quelle: „Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen“ 1927 [2, S. 12f]

Eine Installation mit einem separaten PE-Leiter wird heute meist als TN-C-S-System ausgeführt. Der erforderliche, separate Leiter bedeutet zusätzliche Kosten und Platzbedarf und wurde deshalb historisch gerne eingespart. Stattdessen hat man den Neutralleiter[2] gleichzeitig als PE-Leiter verwendet. Dafür wurde eine Verbindung zwischen der N und PE-Buchse in der Steckdose hergestellt[6, S. 105], zu sehen in Abb. 14.1 auf Seite 176. Der Leiter mit der nun kombinierten Funktion wird folgerichtig als „PEN"-Leiter bezeichnet. Das daraus resultierende Netzsystem ist historisch als „Nullung Schema III" (Abb. 14.2 auf der vorherigen Seite) oder auch „klassische Nullung", heute als TN-C-System bekannt.

Obwohl das Schema III erstmal seine Funktion zu erfüllen scheint, so ergeben sich in gewissen Situation gefährliche Zustände. Wenn der Neutralleiter unterbrochen wird[3] oder beide Leiter vertauscht werden (auch an entfernten Stellen, wie etwa im „Sicherungskasten"), dann liegt Spannung am Gehäuse an, verbunden mit der Gefahr des Körperschlusses. Auch kann bei Installationen nach Schema III weder eine Isolationsmessung durchgeführt, noch RCD oder AFDD als zusätzlicher Schutz eingebaut werden.

«Bis zirka 1960 wurden Installationen ohne separaten Schutzleiter erstellt. Seit 1974 ist die Nullung Schema III in Neuanlagen nicht mehr zulässig»[16]. Zwischenzeitlich wurde die Kontrollperiode für Schema III-Installationen von 20 auf 5 Jahre verkürzt und seit 2024 wird der Rückbau und Ersatz durch eine zeitgemässe Installation weiter forciert (siehe Abschnitt 8.1 auf Seite 114).

14.1.2. Steckdosen

Ältere Steckdosen, vor allem der noch häufig verbaute Typ 12, verfügen nicht über einen Kragen, der das Berühren der Steckkontakte beim Ein- und Ausstecken verhindert (Abb. 14.4). Nach dem 31.12.2016 dürfen Steckdosen ohne Schutzkragen (T12) nicht mehr in Verkehr gebracht, neu installiert, erstetzt oder versetzt werden. Einzig der Reparaturersatz von Frontplatten und Abdeckplatten ist weiterhin erlaubt, allerdings nicht aus ästhetischen Gründen[13, S. 11, Kapitel 5].

14.1.3. Leitungen

Betrachtet man die Querschnittsreihe historischer HV, so fallen die teilweise sehr kleinen Querschnitte auf (0.6 bis 1.1 mm^2, siehe Abb. 5.2 auf Seite 61), welche heute nicht mehr verwendet werden dürfen. Folgendes Beispiel soll das Problem verdeutlichen: Wird eine Leitung mit einem Leiterquerschnitt $q = 0.6\,\text{mm}^2$ bei 30 °C Umgebungstemperatur und mit einem angenommene Durchmesser inklusive Isolation

[2] Der mit dem Neutralpunkt verbunden Leiter, d.h. bei einer Sternschaltung der Mittel-/Sternpunkt, siehe Abb. 9.6 auf Seite 123

[3] ausführliche Erklärung in „Vorsicht bei Neutralleiterunterbrüchen" 1994[9]

Abbildung 14.3.: Steckdosen, links ohne (Typ T12) und rechts mit Schutzkragen (Typ T13), Foto: André Lison 2024

Abbildung 14.4.: Steckdose ohne Kragen: Berührung der Kontakte beim Einstecken möglich. Foto: André Lison, 2024

von 2.5 mm mit 10 A belastet, so resultiert daraus eine stationäre Temperatur von fast 143 °C.[4]

14.1.4. Anderes Installationsmaterial

Unabhängig von konkreten Normverletzungen ist wahrscheinlich der Grossteil der historischen Elektroinstallation schon alleine deswegen nicht mehr normkonform, weil dafür keine aktuelle, gültige Prüfbescheinigung vorliegt. Ob dies eine Pflicht zum Austausch impliziert oder ob ohne konkreten Anhaltspunkt oder Verdacht bezüglich Gefährdung das Material weiter betrieben werden kann, scheint eine juristische Fragestellung zu sein, der in dieser Arbeit nicht nachgegangen werden kann.

14.2. Degradation

Die Degradation beschreibt das Alterungsverhalten von Materialien und Objekten durch die Zerlegung oder Umbau von chemischen Verbindungen und den daraus resultierenden Verlust des Originalmaterials. Die Auswirkungen sind meist optischer und mechanischer Natur. In der Hausinstallation muss auch noch die Veränderung der elektrischen Eigenschaften durch Alterung berücksichtigt werden. Im Niederspannungsbereich und bei in der Hausinstallation üblichen Stromstärken interessiert meist nur der ohmsche Widerstand und nicht die Dielektrizität. Ausserdem muss durch die zwangsläufig auftretenden Verlustleistungen ein grössere Temperaturbereich als üblich in die Betrachtungen einbezogen werden.

Porzellan und Steatit sind, von mechanischen Beschädigungen abgesehen, sehr beständig und geben in der Regel keinen Anlass zu Sicherheitsproblemen. Kupfer, sofern nicht in Kontakt mit Schwefel, bildet eine Oxidschicht, die eine weitere Korrosion verhindert, ebenso Aluminium und Zink. Stahl kann stark korrodieren und wurde daher meist nur an unkritischen Stellen verwendet (z.B. Schraubbefestigungen).

Anders sieht dies bei den polymeren Werkstoffen aus, die einer starken Alterung unterliegen. Atmosphärische Bedingungen können die Alterung beschleunigen. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind (aus [7]):

- Sonnenstrahlung
- Sauerstoff
- Ozon
- Wärme
- Luftfeuchtigkeit

[4] Die Berechnung wurde mittels der in Kapitel 11 auf Seite 141 vorgestellten Methode durchgeführt.

- Niederschläge
- Schwefeldioxid
- Stickoxide
- Staubablagerungen

Materialien in Ausseninstallationen sind daher naturgemäss deutlich stärker beansprucht als solche im Haus.

Man war sich dessen schon früh bewusst und hat versucht, u.a. mit Stabilisatoren und Pigmenten gegenzusteuern und die Degradation zu verlangsamen. Wie bereits in Abschnitt 5.3.4 auf Seite 69 erwähnt, haben Weichmacher ebenfalls einen grossen Einfluss. Zusätzlich können sie auch selbst degradieren.

14.2.1. Leitungen

Leiter

Wie in Abschnitt 5.3.2 auf Seite 63 „Naturkautschuk“ beschrieben, schützt eine Zinnschicht das Kupfer vor im vulkanisierten Kautschuk enthaltenen Schwefel. Im theoretischen Fall, dass die Zinnschicht nicht dick genug ist, zum Beispiel durch Produktionsfehler, kann der Schwefel das Kupfer angreifen und den Leiterquerschnitt reduzieren. Es liegen keine Zahlen dazu vor, ob dies auch heute noch ein Problem darstellt oder ob der Fehler bei betroffenen Kabel bereits in den letzten Jahrzehnten aufgetreten ist und durch Ersetzen der Leitung behoben wurde.

Isolierrohre

Die ersten PVC-Rohre bestanden aus weichmacherfreiem PVC-U (s. Abschnitt 5.3.4 auf Seite 70). Bemerkenswert ist, dass eine rund 60 Jahre später durchgeführte Untersuchung der damals installierten Druckleitungen und Hauswasserinstallationen ergab, dass diese in hervorragendem Zustand waren. Es wurde eine Restlebensdauer von weiteren 100 Jahren abgeleitet[10]. Dabei waren sie durch ihren Einsatz in der Industrie bei 4 bis 5 bar deutlich höheren Belastungen ausgesetzt, als beim Einsatz als Elektro-Installationsrohr. Dieser Exkurs zeigt, dass Plastikrohre nicht zwingend eine deutlich kürzere Lebensdauer auweisen müssen als Metallrohre.

Metallene Isolierrohre aus Stahl und Stahlmantelleitungen sind anfällig für Korrosion (siehe Abb. 6.16 auf Seite 92). Vor allem bei Unterputzverlegung in feuchten Wänden oder im Aussenbereich kann die Zerstörung signifikante Ausmasse annehmen.

(a) Stark korrodierte Stahlmantelleitung an Aussenfassade, Ehemaliges Kühlhaus Berlin, Bj 1901[18], Leitung whs. nicht bauzeitlich

(b) Flexible Abdeckung an Feuchtraumschalter defekt, Theater Winterthur (Bj. 1976-79)

Abbildung 14.5.: Degradationen, Fotos: André Lison 2024

Abbildung 14.6.: Makroaufnahme einer flexiblen Gummiaderleitung für eine Zuglampe. Die kautschukummantelten Adern sind mit einem Seil zur Zugentlastung verdrillt und abschliessend mit einem Gewebe umhüllt. Die Kautschukisolation ist mehrfach gebrochen. Foto: André Lison 2024

Isolation

Für die baumwollummantelten Leitungen, unabhängig ob Gummiader- oder Gummibandleitungen gilt, dass sowohl die Ummantelung, als auch der Kautschuk über die mindestens 60 Jahre Lebensdauer stark gealtert sind. Dem Autor sind keine Untersuchungen zu den Degradationsmechanismen in diesen Leitungen bekannt. Allerdings können plausible Annahmen über Abläufe auf Grund der annähernd bekannten Zusammensetzung der einzelnen Schichten getroffen werden.

Als erstes degradiert das Leinöl in der Baumwolltränkung. Durch die Einwirkung von (Luft-)Sauerstoff, (UV)-Licht und Feuchtigkeit schreitet die Degradation fort und reduziert die Menge des organischen Materials des Ölfilms[11, S. 250]. Auch andere Tränkungsmittel (Harze, Wachse, andere Öle, vgl. Abschnitt 5.3.2 auf Seite 63) degradieren über die Zeit.

In der Folge wird die abschirmende Wirkung der Baumwollisolierung und später des bitumengetränkten Bandes reduziert und Luft-Sauerstoff und Ozon können bis zum Kautschuk vordringen. Auch über die ungeschützten Kabelenden ist das Eindringen verstärkt möglich. Durch Autooxidation des Kautschuks und Ozonolyse werden das Elastomernetzwerk und auch die Vernetzungsbrücken bei vulkanisierten Mischungen zerstört[17]. In Gummibandleitungen (siehe Abschnitt 5.3.2 auf Seite 63) oder bei ungenügender Verzinnung kann das den Kautschuk berührende Kupfer als Katalysator (”Kautschukgift”)[17][5, S. 96] wirken und die Reaktion zusätzlich beschleunigen. Ob die in Schaltern auftretenden Schaltfunken und das dadurch in geringen Mengen erzeugen Ozon einen messbaren Effekt auf die Alterung der angeschlossenen Leitung hat, ist nicht bekannt.

Zur ebenfalls vorhandenen Depolymerisation kommt bei den thermoplastischen Isolierungen (vor allem PVC) der Verlust der Weichmacher durch Entmischung, was ebenfalls zu einer Versprödung führt.

Die Temperatur spielt bei der Degradation eine beschleunigende Wirkung: «Die Lebensdauer von Betriebsmitteln wird durch viele Faktoren bestimmt. Für Kabelanlagen ist insbesondere die Kabeltemperatur, die wiederum durch den aktuell fließenden Strom und die Umgebungsbedingungen bestimmt wird, eine entscheidende Größe»[15, S. 36] Wie bereits in Kapitel 11 auf Seite 141 rechnerisch dargelegt, ist bei Belastungsstromstärke und auch darunter mit einer Erwärmung zu rechnen. Diese Temperaturerhöhung beschleunigt die ablaufenden chemischen Reaktionen nach Arrhenius exponentiell und führt damit zur verstärkten Radikalbildung und Autooxidation[12, S. 35ff].

PVC hat zudem die Eigenschaft, auch bei tiefen Temperaturen zu verspröden. Mittels Weichmachern wird heute die Einfriertemperatur auf –10 bis –30 °C gesenkt[15, S. 61]. Bei historischen Isolationen ist dieser Schutz vermutungsweise nicht oder nur eingeschränkt gegeben, so dass die Versprödungsgrenze deutlich höher liegen wird. In historischen Gebäuden ist die dauerhaft Beheizung aller Räume über die

gesamte Lebensdauer nicht garantiert, so dass von in der Vergangenheit aufgetretenen, PVC-schädigenden tiefen Temperaturen ausgegangen werden muss.

Weder bei Hart-, noch bei Weich-PVC ist die Veränderung der elektrischen Eigenschaften mit fortschreitender Degradation sehr ausgeprägt. «Erst in einem fortgeschrittenen Abbaustadium machen sich stärkere Veränderungen der elektrischen Eigenschaften auch bei Weich-PVC bemerkbar».[7, S. 179]

Die Versprödung hat Rissbildung zur Folge - zum Teil bis zum Leiter. Die Risse reduzieren den Isolationsquerschnitt, was für sich alleine bereits kritisch sein kann. Zusätzlich können sich die Risse mit Feuchtigkeit, Schmutz und biogenen Ablagerungen füllen. Verfügt diese Mischung über einen ausreichend hohe Anzahl freier Ionen, so kann ein signifikanter Stromfluss stattfinden - die Isolation ist durchbrochen. Dies kann zu Erd-, Kurz- oder Körperschlüssen führen. In Niederspannungsleitungen ergibt sich bei Erd- und Kurzschlüssen die Gefahr der Karbonisierung der Isolation und Entstehung von Lichtbögen (siehe Abschnitt 10.2.2 und Kapitel 12 auf Seite 134 und auf Seite 159).

14.2.2. Schalter und Steckdosen

Schalter- und Steckdosengehäuse bestehen in der Regel aus Porzellan, Duro- oder Thermoplasten.

Wie bereits erwähnt, ist Porzellan in Hinblick auf die Alterung unkritisch. Chronologisch folgen die Duroplaste in den Ausprägungen Pheno- und Aminoplaste.

Die Beständigkeit der Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) („Bakelite“) «ist von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig», besonders «von der Art und der Menge des jeweiligen Füllstoffs (Harzträgers) und von der Qualität des Harzes. Ergebnisse von Versuchen lassen erkennen, daß Preßmassen vom Novolak-Typ gegen Bewitterung beständiger sind als Resol-Preßmassen»[7, S. 252f]. Als Folge der Degradation dunkelt das Material stark nach, verzeichnet signifikante Einbussen bei der Biegefestigkeit (bis zu 50 %), verliert an Glanz und später erodiert die Oberfläche[7, S. 252f]. Der Isolationswiderstand nimmt ab, bei Bewitterung u.U. sehr stark: «nach 30 Monaten Bewitterung am Schwarzen Meer [war] der Isolationswiderstand von PF-Preßstoffen um 85 % gesunken»[7, S. 255], was jedoch in Anbetracht des sehr hohen Ausgangswert von $\rho_{PF} = 1 \times 10^9$ bis $1 \times 10^{10}\ \Omega$ m[14, S. 407] für den Betrieb mit Niederspannung bedeutungslos ist[5].

Die angesprochene Abnahme der Biegefestigkeit verringert sich trotz der Zerstörung der Oberfläche nur sehr langsam[7, S. 254].

Melamin-Formaldehyd-Harze (MF), die zu den Amino-Plaste zählen, sind sehr alterungsstabil. Es tritt wie bei den PF ein Glanzverlust in Folge Alterung ein. Eine Abnahme der Biege- und Schlagzähigkeit konnte von Doležel nur unter extremer

[5] Zum Vergleich PVC: $\rho_{PVC} = 1 \times 10^{12}$ bis $1 \times 10^{13}\ \Omega$ m [14, S. 620]

Abbildung 14.7.: Craquelé auf Bedienhebel eines Duroplast-Drehschalters, Makroaufname von Schalter in Abb. 4.8 auf Seite 38, Foto: André Lison 2024

Bewitterung in Panama festgestellt werden[7, S. 258]. Ähnliches kann für die elektrischen Eigenschaften gesagt werden.

Gehäuse aus Thermoplast unterliegen ähnlichen Degradationsneigungen, wie die thermoplastischen Kabelisolierungen (siehe Abschnitt 14.2.1 auf Seite 183). Aufgrund des geringeren Weichmacheranteils besteht jedoch eine reduzierte Gefahr für die Weichmachermigration. Andererseits sind sie durch ihre Einbausituation stärker dem (UV)-Licht ausgesetzt, was eine Hauptursache für die Zerstörung des PVC ist[7, S. 169]. Zeichen und Auswirkungen der Degradation sind Verfärbungen, sowie eine Abnahme der Zugfestigkeit und Dehnbarkeit[7, S. 174]. Abb. 14.5b auf Seite 182 zeigt die Zerstörung des Spritzschutzes eines Feuchtraumschalters die Kombination aus durch Degradation und mechanischer Einwirkung. Die elektrischen Eigenschaften verändern sich, wie bereits oben erwähnt, nicht sehr stark.

Im Unterschied zum meist verbauten Kabel kann die Festigkeitsabnahme der Steckdosen- und Schaltergehäuse geprüft werden. Kritisch untersucht werden sollte der Knauf bei Schaltern. Ein Brechen während der Betätigung könnte die Berührung stromführender Teile ermöglichen. Vor allem Hartgummi und Bakelite sind prinzipbedingt anfällig, wie Abb. 14.7 zeigt.

Ein weitere Schwachstelle ist die Kontaktierung der Drähte, welche in der Regel durch Schraubklemmen erfolgt. Diese können durch zu grossen Kraftaufwand beim Festziehen zerstört werden. Einerseits sind die filigranen Backen nicht sehr stabil

und deformieren schnell, andererseits belastet ein zu grosses Drehmoment das Gewinde[6] so stark, das es ausreissen kann. In diesem Fall kann die Leitung nicht mehr festgeklemmt und der Apparat nicht weiterverwendet werden.

Unkritisch in Bezug auf die Sicherheit, aber ein Zeichen von Verschleiss ist der Abbrand der Kontaktflächen. Durch den Schaltfunken wird in Schaltern an den Kontaktflächen fortlaufend Material umgebaut. Durch den meist verwendeten Wechselstrom gleicht sich die Materialwanderung zwischen den Kontakten aus. In extremen Fällen können die Kontakte jedoch so stark beschädigt werden, dass ein sauberes Schalten nicht mehr möglich ist.

[6] meist Messing oder Kupfer aber auch Stahl[8, S. 28]

Literatur

[1] A. Riegl, *Der moderne Denkmalkultus*. Wien und Leipzig: W. Braunmüller, 1903 (siehe S. 175).

[2] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, II. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), Jan. 1928 (siehe S. 177).

[3] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Kriegsbedingte Aenderungen der Hausinstallationsvorschriften des SEV*, Publ. Nr. 161 (a)-(d). Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 20. Nov. 1940 (siehe S. 176).

[4] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Kriegsbedingte Vorschrift Nr. 1 des SEV zur Einsparung von Leitermaterial in Hausinstallationen*, Publ. Nr. 165. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 31. Okt. 1942 (siehe S. 176).

[5] W. Ehlers, *Kabel-Herstellung, Kabelaufbau, Werkstoffe, Verfahrenstechnik*, ger, 1st ed. 1956. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1956, ISBN: 3-642-92670-3 (siehe S. 183).

[6] *Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Diese Vorschriften treten am 1. Juli 1961 in Kraft*, I. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1. Sep. 1960 (siehe S. 178).

[7] B. Doležel und C.-M. v. Meysenbug, *Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi*, 1. Aufl. München: Hanser, 1978, 684 S., ISBN: 978-3-446-12394-6 (siehe S. 180, 184, 185).

[8] H. Birke, «Klemmen, lösbare Anschluß- und Verbindungselemente für elektrische Leitungen,» *Schadenprisma*, 1993, ISSN: 0343-3560. Adresse: https://www.schadenprisma.de/archiv/artikel/klemmen-loesbare-anschluss-und-verbindungselemente-fuer-elektrische-leitungen/ (siehe S. 186).

[9] W. U. Frey, «Vorsicht bei Neutralleiterunterbrüchen, Die Sicherheit von Niederspannungsinstallationen unter spezieller Berücksichtigung von Neutralleiterunterbrüchen,» *Bulletin des SEV, des VSE*, Jg. 85, Nr. 1, S. 41, Jan. 1994, ISSN: 1420-7028. DOI: 10.5169/seals-902527. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-902527 (siehe S. 178).

[10] R. E. Nowack, E. Barth, I. Otto und E. W. Braun, «60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U),» de, *krv Nachrichten*, 1995, *1* (siehe S. 181).

[11] J. D. J. van den Berg, K. J. van den Berg und J. J. Boon, «Chemical changes 1n curing and ageing oil paints,» *ICOM Committee for Conservation 12th Triennial Meeting Lyon: 29th August to 3 September 1999*, Jg. I, 1999 (siehe S. 183).

[12] G. W. Ehrenstein und S. Pongratz, *Beständigkeit von Kunststoffen* (Edition Kunststoffe). München: Hanser Verlag, 2007, 1 S., ISBN: 978-3-446-21851-2 978-3-446-41149-4. DOI: 10.3139/9783446411494 (siehe S. 183).

[13] P. Bryner, D. Hofmann, M. Marfurt u. a., *NIN COMPACT NIBT*, 2014 (siehe S. 178).
[14] G. Wypych, *Handbook of polymers*, eng, Toronto, 2016 (siehe S. 184).
[15] R. R. Cichowski, M. Kliesch und F. Merschel, Hrsg., *Kabelhandbuch*, 9. Auflage, Frankfurt am Main Berlin: EW Medien und Kongresse GmbH, 2017, 496 S., ISBN: 978-3-8022-1147-8 (siehe S. 183).
[16] J. Schmucki. «Installationen nach Nullung Schema III, Bestandesschutz vs. technische Anpassung.» (31. Okt. 2017), Adresse: https://www.bulletin.ch/de/news-detail/installationen-nach-nullung-schema-iii.html (siehe S. 178).
[17] B. Richter und U. Blobner, «Schadensanalyse von Elastomerbauteilen: Einwirkung von Kautschukgiften,» *Industriearmaturen*, 01 Jan. 2021. Adresse: http://elastomer-institut.de/wp-content/uploads/2021/09/FB_Industriearmaturen-Dichtungstechnik-Kautschukgifte.pdf (siehe S. 183).
[18] A. Wenzler. «KühlhausBerlin, Geschichte.» (), Adresse: https://www.kuehlhaus-berlin.com/de/uber-kuhlhaus/geschichte-2/ (besucht am 27. 11. 2024) (siehe S. 182).

Teil III.

Konzept

15. Vorbetrachtung Konzepte

> *Der historische Wert ist ein um so höherer, in je ungetrübterem Maße sich der ursprüngliche geschlossene Zustand des Denkmals, den es unmittelbar nach seinem Werden besessen hat, offenbart;*
>
> „Der moderne Denkmalkultus“ 1903 [1, S. 30]

15.1. Restaurierung

Die Restaurierung elektrischer Installationen wirft einige Fragen auf, deren Lösung in dieser Arbeit nur teilweise angedacht werden kann.

In der Restaurierungsethik ist die Reversibilität oberstes Gebot. Die praktischen Umsetzung kann diese hohe Anforderung in der Regel nicht vollständig erfüllen. Trotzdem bleibt die Reversibilität ein wichtiges Leitbild der restauratorischen Arbeit, an dem sich auch Materialeinsatz orientiert. Einfach zu entfernenden, wenig invasiven Materialien wird Vorrang vor dauerhaften gegeben.

In der Elektrotechnik ist Dauerhaftigkeit gesetzlich gefordert. Dies spiegelt sich im 20-jährigen Intervall der Sicherheitsprüfung wider. Es ist einleuchtend, dass Materialien mit einer geringeren Lebensdauer oder Robustheit zu Gefahrensituationen führen können.

In diesem Punkt kollidieren die Leitbilder der Restaurierung und Elektroinstallation. Ohne gesetzliche Anpassungen, zum Beispiel hin zu deutlich kürzeren Prüfintervallen für ausgewählte, historische Installationen, oder ohne partieller Abkehr vom Reversibilitätsprinzip, ist dieser Widerspruch kaum aufzulösen.

Die Wahl der Materialien ist auch aus einem anderen Grund nicht ganz einfach. Aus restauratorischer Sicht stellt die Elektrizität neue Anforderungen an deren Eigenschaften. Spezifischer Widerstand und Isolationswiderstand, geringe Dielektrizität und hohe thermische Stabilität sind Werkstoffeigenschaften, denen bisher in der Restaurierung praktisch keine Beachtung geschenkt wurde.

Ungeachtet der vorgängig geschilderten Fragestellungen muss immer die Nachweisbarkeit der geforderten Eigenschaften beachtet werden. Restaurierte Elemente einer Elektroinstallation müssen mindestens historische, wenn nicht aktuelle Anforderungen erfüllen. Die Erbringung des Nachweises erfordert eine interdisziplinäre

Zusammenarbeit und wird trotzdem nicht in allen Fällen erfolgreich durchgeführt werden können.

Zur Illustration des vorgängig Gesagten werden einige praktische und unbeantwortete Fragestellungen aufgeführt, ohne auch nur im Ansatz Vollständigkeit anzustreben. Um Missverständnissen vorzubeugen, wird noch einmal betont, dass diese Fragestellungen nur bei Elektroinstallationen im Betrieb auftreten und nicht in anderen Kontexten, wie zum Beispiel im musealen Bereich.

1. Können Textilummantelungen von Leitungen mit Methylcellulose oder Leinöl gefestigt werden?
2. Kann fehlende Isolation von offenen Installationen ergänzt werden?
3. Ist es möglich, gebrochene Apparte-Gehäuse zu kleben oder anderweitig zu ergänzen?
4. Ist der Ersatz von beschädigten Schraubklemmen möglich?
5. Welcher Hersteller bietet Ersatzteile für welche Produktserien an? Wer darf diese montieren?
6. Wie wird mit der Korrosion von Unterputz-Rohre umgegangen?
7. Ab welchem Umfang gilt eine Restaurierung als „Neuinstallation“ und unterliegt anderen Bestimmungen?
8. Gibt es Elektriker oder Elektroingenieure, die restaurierte Bauelemente abnehmen? Wenn nicht, wer dann, wer hat Erfahrung?
9. Sind Ausnahmen von den Vorschriften der NIN und NIV durch das ESTI möglich und realistisch?

15.2. Idee

Im Kapitel 14 auf Seite 175 wurde offensichtlich, dass schwerpunktmässig die Leitungen einer Hausinstallation auf Grund veralteter Netzsysteme und Degradation zu Sicherheitsrisiken führen.

15.2.1. Ersatz der Leitungen

Ein Ersatz der Leitungen und Ergänzung um den Schutzleiter (PE) aus technischer Sicht meist möglich.

In Bergmannrohre können neue Einzeladerleitungen eingezogen werden. Dafür müssen die alten Adern entfernt werden, die gelegentlich an der Innenseite der

Isolierrohre festkleben. Beim Einzug neuer Adern ist darauf zu achten, ihre Isolation nicht an den scharfen Kanten der Bergmannrohre zu verletzen. Abzweigungen, vor allem 90°-Winkel, stellen dabei eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit dar. Manchmal ist ein Einzug nur durch Demontage des Winkels möglich, was die Gefahr der Beschädigung der Wandfassung birgt. Unter Umständen erleichtert die Verwendung von flexiblen Leitungen das Einziehen in Bestandsrohre (siehe „NIN 2020 NIBT“ 2020 [2, S. 452, 5.2.2.8.8]).

Schwieriger ist der Ersatz der Leitungen in offenen Installationen. Einzeladern dürfen nicht verwendet werden und moderne Leitungen mit einem Mantel haben einen deutlich grösseren Querschnitt, als die historischen Leitungen. Obendrein bedingt der Austausch ein Öffnen der Bindungen (siehe Abschnitt 6.1.4 auf Seite 83), wodurch diese zerstört werden. Die Montage eines Schutzleiters (PE) würde eine dritte Reihe Isolatoren erfordern, die historisch praktisch nie vorhanden war und daher neu erstellt werden müsste.

Ersatz und Denkmalschutz

Aus Sicht der Restaurierung und des Denkmalschutzes stellt der Tausch der Leitungen ein Verlust an Originalsubstanz dar. Im Falle der offenen Installation auf Isolierrollen würde sogar ein Grossteil des technischen Kulturguts verloren gehen.

Der Austausch kann bei Bergmannrohren im günstigsten Fall ohne Demontage vonstatten gehen. Die neuen Adern sind unsichtbar verlegt, weshalb das Erscheinungsbild nicht beeinträchtigt wird. Als ultima ratio scheint diese Variante vertretbar.

Offene Installationen würden jedoch durch die dickeren Leitungen optisch entstellt. Zusammen mit dem Substanzverlust ergibt sich eine Situation, welche klar abzulehnen ist.

15.2.2. Weiterbetrieb mit SELV-Kleinspannung

Ein Ausweg kann die Umstellung der Installation auf für Personen ungefährliche Kleinspannung (SELV) sein. Diese Lösung wird in den folgenden Kapitel detailliert untersucht und beschrieben.

Literatur

[1] A. Riegl, *Der moderne Denkmalkultus*. Wien und Leipzig: W. Braunmüller, 1903 (siehe S. 191).

[2] Electrosuisse, *NIN 2020 NIBT, Niederspannungs-Installationsnorm, SN 411000:-2020 de*, 2020 (siehe S. 193).

16. Umstellung auf SELV

> *Als Schwachstromanlagen sind solche Anlagen zu betrachten, in denen zufolge der geringen Kapazität der Stromquelle oder durch geeignete Strombegrenzungsvorrichtungen das Auftreten eines für die Leitungen und Apparate gefährlichen Kurzchlußstromes verhindert wird, sowie Anlagen im Anschluss an Kleintransformatoren der Klasse 1a.*
>
> „Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen“ 1936 [1]

Im Kapitel 8 auf Seite 113 wurde bereits auf Artikel 3 der NIV hingewiesen. In der NIN werden diese Forderungen konkretisiert. Zur «Sicherheit von Personen, Nutztieren und Sachwerten»[3, S. 74, Art. 1.3.1.1] sind folgende Schutzmassnahmen gefordert (siehe [3, S. 75ff, Abs. 1.3.1.2]):

1. Schutz gegen elektrischen Schlag
2. Schutz gegen thermische Auswirkungen
3. Schutz bei Überstrom
4. Schutz bei Fehlerströmen
5. Schutz bei Über-/Unterspannungen und Massnahmen gegen elektromagnetische Einflüsse
6. Schutz bei Stromversorgungsunterbrechung

Durch Isolationsmängel (siehe Kapitel 14 auf Seite 175) und fehlende Möglichkeit zur Fehlerstromerkennung in nach Schema III aufgebauten Anlagen können viele historische Installationen vor allem die Punkte 1 und 4 nur unzureichend oder gar nicht erfüllen.

Eine Möglichkeit, diesen Mangel ohne Neuinstallation und mit dem historischen Material zu beheben, ist die Umstellung der Installation auf SELV („Kleinspannung“). Dadurch werden die Anforderungen sowohl des Basis-, als auch des Fehlerschutzes erfüllt[3, S. 257, 4.1.4]. Konkret wird eine Umstellung auf 24 V DC (Gleichspannung) vorgeschlagen.

Daraus ergeben sich einige Anforderungen:

A Die überwiegende Mehrzahl der bisherigen Betriebsmittel wird mit der neuen Betriebsspannung nicht betrieben werden können, so dass diese gegen entsprechend geeignete ausgetauscht werden müssen.

B Die Reduktion der Spannung geht mit einem Anstieg der Verlustleistung einher (siehe Gleichung (9.4) auf Seite 119). Dies kann zu unerwünschtem Spannungsabfall und übermässiger Erwärmung in Teilen der Installation führen.

C Es muss garantiert werden, dass die SELV-Installation ausreichend gegen Erde isoliert [3, S. 271, 4.1.4.4.1] und von anderen Stromkreisen[3, S. 271, 4.1.4.4.2] getrennt ist.

D Steckdosen können nicht mehr weiterverwendet werden und sind durch SELV-geeignete zu ersetzen oder ausser Betrieb zu nehmen[3, S. 271, 4.1.4.4.3].

Die SELV-Installation wird mittels eines geeigneten Netzteils an das Niederspannungsnetz angeschlossen. Geeignet sind Netzteile, welche über eine ausreichende Trennung von der Niederspannungsisolation und über Überspannungs- und Überstromabschaltung gemäss „SN EN 61558-2-6“ verfügen. Damit sind auch die Punkte 3, 5 und 6 auf der vorherigen Seite erfüllt.

Bezüglich des Punkt 2 auf der vorherigen Seite („Schutz gegen thermische Auswirkungen“) enthält die NIN keine konkreten Aussagen zu SELV-Installationen. Die thermischen Auswirkungen sind eng mit der bereitzustellenden Leistung im Stromkreis verbunden. Die in der Schweiz üblicherweise mit 10 A abgesicherten Niederspannungsinstallationen können 2300 W liefern. Ändert man die Spannung auf 24 V unter Beibehaltung dieser Leistung, so wäre ein Bemessungsstrom von 96 A notwendig. Dieser hohe Strom würde zu grossen Verlustleistungen und damit thermischen Problemen führen. Eine Reduktion der Leistung ist daher notwendig. Für eine Beleuchtungsinstallation können heute LED-Leuchtmittel verwendet werden, so dass sich die erforderliche Leistung auf sehr niedrige Werte verringern lässt, was in einem Bemessungsstrom von vielleicht 2 bis 5 A resultiert[1].

Auf Basis dieser Überlegungen und der vorgängig erarbeiteten Grundlagen wird nachfolgend die Brandgefahr in einer 24 V-Installation betrachtet.

16.0.1. Kenngrössen von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Kurzschluss

Damit Leitungen etc. im Kurzschlussfall nicht überhitzen, ist eine schnelle Abschaltung wichtig. Dadurch wird sichergestellt, dass die elektrische Energie (= Leistung x Zeit) nicht zu gross wird. Laut NIN[3, §4.3.4.5.2, S. 336] muss k^2S^2 grösser sein, als die vom Hersteller des Netzteils angegebene Durchlassenergie I^2t. Dabei ist S der

[1] Beispiel: 15 LED à 6 W → Gesamtleistung 90 W, Bemessungsstrom <4 A

Leiterquerschnitt in mm^2. Schwierigkeiten macht hier der Faktor k. Dieser muss anhand „4.3.4 Tabelle 1“ bestimmt werden. Leider sind die geringen Querschnitte und Kautschuk-Isolation nicht enthalten. Aus diesem Grund wird der kleinste, in der Tabelle existierende Wert verwendet: $k = 15$.

Beispiel: Das Datenblatt der Siemens SITOP (Abschnitt H auf Seite 300) gibt eine Durchlassenergie von 1.7 A^2 s an.

Bei einem Leiterquerschnitt von 1 mm^2 ist $k^2S^2 = (15\frac{\sqrt{s}\cdot A}{mm^2})^2 \cdot (1\,mm^2)^2 = 225\,A^2$ s.

Wie gefordert, ist dieser Wert deutlich grösser als die Durchlassenergie: $225\,A^2\,s > 1.7\,A^2$ s. Somit kann das Netzteil verwendet werden.

16.1. Beurteilung der Brandgefahr

Das Kapitel 10 auf Seite 127 „Brandentstehung in elektrischen Anlagen“ stellt drei grundsätzliche Zündquellen vor. Zusammen mit den Berechnungen und Experimenten zur Kabeltemperatur aus Kapitel 11 auf Seite 141 kann eine umfassende Beurteilung vorgenommen werden.

16.1.1. Erwärmung eines Kabels

Offene Verlegung

Das Kapitel 11 auf Seite 141 enthält die notwendigen Überlegungen und Berechnungen zu Verlustleistungen und Leiter-, sowie Kabelerwärmungen bei offener Verlegung. Mit ihrer Hilfe können auch historische Leitungen beurteilt werden.

Bei ausreichendem Leiterquerschnitt und schneller Überstromabschaltung (siehe Abschnitt 16.0.1) ist die Erwärmung offen verlegter Leitungen im Betrieb und bei Kurzschluss und Überlast sehr gering und damit ungefährlich.

Verlegung im Bergmannrohr

Bei Verlegung der Einzeladern im Bergmannrohr ist die Wärmeabfuhr reduziert, was in höheren Temperaturen bei gleicher Belastung verglichen mit Abschnitt 16.1.1 resultiert.

Für diesen Fall wurden keine Berechnungen auf Basis des Wärmetransport ausgeführt. Stattdessen wird mit Hilfe der NIN die Strombelastbarkeit aus der offenen Verlegung abgeleitet. Die NIN definiert in [3, S. 454ff, Art. 5.2.3] Regeln zur Bestimmung der Strombelastbarkeit von Leitungen. Die Verlegeart, die Anzahl der belaste-

ten Adern, das Isolationsmaterial und die Leiter- und Umgebungstemperatur sind die Einflussgrössen der maximalen Dauerbelastbarkeit.

Die der offenen Verlegung am nähesten kommende Verlegeart 22 ([3, S. 465]) ist noch in Bearbeitung und kann nicht verwendet werden. Daher wird die Verlegeart 33 («Ein- oder mehradriges Kabel mit einem Abstand von mehr als dem 0,3-fachen Aussendurchmesser des Kabels von einer Wand», [3, S. 466]) mit der zugehörigen Referenzverlegeart *E* gewählt.

Die Verlegung im Bergmannrohr entspricht der Verlegeart 4 («Aderleitungen oder einadrige Kabel im Elektro-Installationsrohr auf einer Holzwand oder Mauerwerk oder mit einem Abstand kleiner als der 0,3-fache Aussendurchmesser des Elektro-Installationsrohrs», [3, S. 464]) mit der Referenzverlegeart *B1*.

Es wird nun die Reduktion der Stromdichte J dieser beiden Referenzverlegearten für die Querschnitte 1.5 mm^2 und 2.5 mm^2 berechnet. Die ermittelten Faktoren werden anschliessend als Richtwert für die Reduktion der Strombelastbarkeit im Bergmannrohr herangezogen. Es muss beachtet werden, dass der Aufbau eines Bergmann-Isolierrohrs sich vom Aufbau moderner Kunststoffinstallationsrohre unterscheidet und die Ergebnisse daher nur eine grobe Orientierung geben können. Die Strombelastbarkeit wurde [3, S. 470, 5.2.3 Tabelle 4] und [3, S. 478, 5.2.3 Tabelle 8] entnommen.

$$f = \frac{J_E}{J_{B1}} = \frac{I_E \cdot q}{q \cdot I_{B1}} = \frac{I_E}{I_{B1}} \tag{16.1}$$

$$\Rightarrow f_{1.5} = \frac{23\,\text{A}}{17.5\,\text{A}} = 1.31 \tag{16.2}$$

$$\Rightarrow f_{2.5} = \frac{31\,\text{A}}{24\,\text{A}} = 1.29 \tag{16.3}$$

Die durchschnittliche Reduktion des maximalen Stroms von einer offenen Verlegung zu einer im Installationsrohr beträgt rund 1.3. Da der Leitungswiderstand R gleich bleibt, kann die neue Verlustleistung im Bergmannrohr P_B anhand Gleichung (9.3) auf Seite 119 berechnet werden:

$$P_B = (\frac{I}{1.3})^2 \cdot R \tag{16.4}$$

$$\approx \frac{I^2}{1.7} \cdot R = \frac{P_O}{1.7} \tag{16.5}$$

Durch die Reduktion des maximalen Stroms I um den Faktor $f = 1.3$ ist die maximale Leistung P_B um den Faktor 1.7 reduziert worden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich der Wärmeübergang α_a durch die Verlegung im Installationsrohr fast halbiert hat (siehe Gleichung (11.23) auf Seite 146). Daraus folgt eine Temperaturerhöhung, die um Faktor 1.7 über der einer offenen Leitung liegt (vgl. Gleichung (11.29) auf Seite 147.

Beispiel: Im Normalbetrieb bei maximal 5 A errechnet sich der Temperaturanstieg T_B auf Basis des Temperaturanstiegs der offenen Verlegung T_O:

$$T_B = 1.7 \cdot T_O = 1.7 \cdot 9.09\,°\text{C} = 15.5\,°\text{C} \tag{16.6}$$

T_B liegt damit nur 6.4 °C über T_O, die Erwärmung ist also weiterhin im sicheren Bereich.

Fazit „Kabelerwärmung“

Die Eignung der historischen Installation muss auf Grund der vorgefundenen Leitungsdimensionen und Einbausituationen mittels der vorgestellten Analytik und Methoden beurteilt werden. Bei guter Abstimmung der Leistung auf existierende Leiterquerschnitte etc. ist nur eine unkritische Erwärmung zu erwarten.

16.1.2. Erwärmung durch lokal erhöhten Widerstand

Der Abschnitt 10.2.1 auf Seite 129 beschäftigt sich mit lokal erhöhten Leiterwiderständen und Übergangswiderständen, welche durch Quetschungen, Beschädigungen, Kontaktkorrosion, lose Kontakte usw. entstanden sind.

Massgeblich ist die Nennspannung, der Bemessungsstrom und der Widerstandswert der Fehlstelle. In klassischen Niederspannungsanlagen mit 230 V Nennspannung kann ein Fehlstellenwiderstand in einem breiten Bereich gefährlich werden. Zum Teil können solche Fehler durch AFDD entdeckt werden, wenn es zu einem Lichtbogen kommt. Falls nicht, bleiben sie unentdeckt und können zu Bränden führen.

In 24 V ist die Gefahr vollständig gebannt. Dies aus drei Gründen:

1. Eine Fehlstelle kann auf Grund der geringen Spannung keinen Lichtbogen hervorrufen. Im Detail wird dies in Abschnitt 10.2.2 auf Seite 134 beschrieben.
2. Die Leistung der Installation ist so gering (siehe Tabelle 10.1 auf Seite 131 und Abb. 10.2 auf Seite 133), dass
   a) Bei 2 A die Verlustleistung niemals über die kritische Grenze von 50 W steigen kann.
   b) Bei 2.5 A kann es nur im Kurzschlussfall und auch nur, wenn die Fehlstellenwiderstände in einem sehr engen Bereich liegen, zu kritischen Situationen führen.
   c) Bei 5 A kann im Normalbetrieb und Kurzschlussfall, aber hier auch nur, wenn die Fehlstellenwiderstände in einem sehr engen Bereich liegen, eine kritischen Situationen entstehen.

3. Durch den sehr engen Widerstandsbereich, in dem die Fehlstelle eine kritische Verlustleistung erreichen kann, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass durch oxidations- und temperaturbedingte Widerstandserhöhung dieser Bereich schnell verlassen wird.

Fazit „lokal erhöhter Widerstand“

In 24 V-Installationen ist die Gefahr durch lokale Widerstandserhöhung eine kritische Verlustleistung zu erreichen und einen Brand zu verursachen sehr klein, vor allem im Vergleich zu 230 V-Niederspannungsinstallationen.

16.1.3. Gasentladung/Lichtbogen

Das Thema Lichtbögen wird in Abschnitt 10.2.2 auf Seite 134 ausführlich behandelt. In 24 V-Installationen stellen sie aus drei Gründen keine Gefahr dar:

1. Eine Lichtbogenzündung ist ausgeschlossen.
2. Eine stabiler Lichtbogen kann bei dieser Spannung sehr wahrscheinlich nicht brennen.
3. Ein stabil brennender Lichtbogen hat keine ausreichende Leistung um umliegendes Material zu entzünden. Nach [2, S. 25] sind dafür Leistungen über $230\,\mathrm{V} \cdot 2\,\mathrm{A} = 640\,\mathrm{W}$ notwendig, die in einer 24 V-Installation mit einem Bemessungsstrom von maximal 5 A nicht erreicht werden können. Selbst wenn als Grenze 50 W angesetzt werden (aus Gleichung (10.2) auf Seite 128), so existiert nur ein sehr kleines Fenster, in dem der Lichtbogen überhaupt genug Leistung hat (siehe Tabelle 10.1 auf Seite 131).

Fazit „Lichtbogen“

Keine der drei Grundvoraussetzungen für eine Brandentstehung durch einen Lichtbogen (siehe Abschnitt 16.1.3) sind in einer 24 V-SELV-Installation gegeben. Daher kann diese Gefahr mit grosser Sicherheit verneint werden kann.

16.1.4. Kriechstrom

In Abschnitt 10.2.3 auf Seite 135 werden Kriechströme in Niederspannungsinstallationen betrachtet. Hauptsächlich durch die bei der Austrocknung der Kriechstrecke entstehenden Lichtbögen, welche die Isolation beschädigen und Material entzünden können, entsteht die eigentliche Gefahr. Wie in Abschnitt 16.1.3 dargelegt, sind Lichtbögen in einer 24 V/5 A-Installation jedoch nicht möglich.

Fazit „Kriechstrom“

Es besteht keine Brandgefahr durch Kriechströme.

16.1.5. Zusammenfassung Brandgefahr

Durch eine Umstellung historischer Elektroinstallationen auf 24 V-SELV können diese auch in Hinblick auf den Brandschutz aktuelles Niveau erreichen. Den verbleibenden, geringen Risiken (siehe Abschnitt 16.1.2 auf Seite 199) kann mit entsprechenden Massnahmen begegnet werden (siehe Abschnitt 16.3 und Kapitel 17 auf dieser Seite und auf Seite 205).

16.2. Kennzeichnung

Besteht Verwechslungsgefahr von 24 V- und Niederspannungsleitungen, so sollten die SELV-führenden Leitungen beim Zusammentreffen farblich markiert oder beschriftet werden.

16.3. Prüfung

Für «Schwachstromanlagen mit Betriebsspannungen von $\leq$50 V AC bzw. $\leq$120 V DC und Betriebsströmen von $\leq$2 A»[3, S. 73, 1.1.1.2.a] gilt die NIN nicht. Es wird jedoch empfohlen, die Prüfungen wie für eine Anlage mit einem Bemessungsstrom $\geq$2 A durchzuführen.

Für die Prüfung der Installation bei Umstellung auf SELV („Erstprüfung“) und bei der periodischen Kontrolle gilt die NIN[3, S. 683, Kapitel 6] soweit anwendbar.

Im Vergleich zu einer Niederspannungsinstallation sind für eine SELV-Installation diese Abweichungen und Ergänzungen gefordert:

1. Messung des Isolationswiderstandes gegen Erde [3, S. 689, 6.1.3.4.1]
2. Messung des Isolationswiderstandes gegen andere Stromkreise[3, S. 689, 6.1.3.4.1]
3. Messung des Isolationswiderstandes zwischen den aktiven Leitern [3, S. 688, 6.1.3.3.1]

Gleichzeitig wird empfohlen, diese Prüfungen durchzuführen:

1. Prüfung der Spannungsquelle auf Einhaltung der Spannungswerte im Leerlauf [3, S. 689, 6.1.3.4.1]
2. Prüfung der Polarität: Nicht alle Betriebsmittel arbeiten polaritätsunabhängig.
3. Leitungswiderstand messen (Abschnitt 17.4 auf Seite 208)

Der Ablauf der Prüfung wird in Abb. 16.1 auf der nächsten Seite dargestellt.

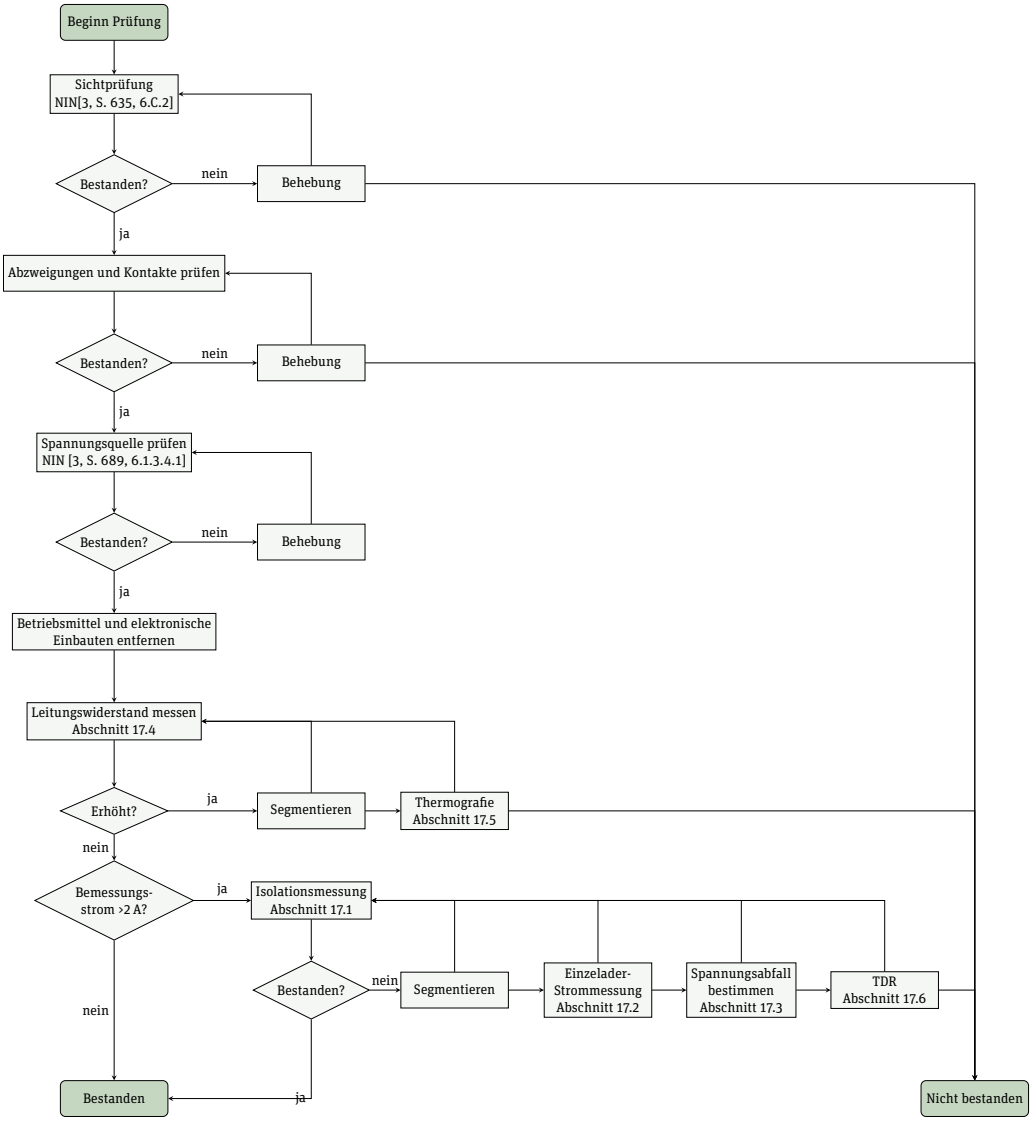


Abbildung 16.1.: Ablauf der Erstprüfung und der periodischen Kontrolle

Literatur

[1] Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G, Hrsg., *Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen*, IV. Zürich: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (S.E.V.), 1936 (siehe S. 195).

[2] «Brandschutzschalter 5SM6 Technik-Fibel,» 2016. Adresse: `https://cache.industry.siemens.com/dl/files/288/109482288/att_904838/v1/Brandschutzschalter-5SM6---Technik-Fibel_4457_201612091159190307.pdf` (besucht am 09. 11. 2024) (siehe S. 200).

[3] Electrosuisse, *NIN 2020 NIBT, Niederspannungs-Installationsnorm, SN 411000:-2020 de*, 2020 (siehe S. 195, 196, 197, 198, 201, 202).

17. Messmethoden

> *Für Isolationsmessungen, also für die Messung der Übergangswiderstände zwischen einem Teil einer Anlage und Erde oder zwischen zwei verschiedenen Leitern dienen Galvanometer, die mit Elementen oder einem Induktor zusammen in einem tragbaren Holzkasten untergebracht sind.*
>
> „Die Montage elektrischer Licht- und Kraftanlagen“ 1926 [1, S. 70]

Dieses Kapitel stellt Messmethoden vor, die bei der Kontrolle und Fehlersuche in einer 24 V-SELV-Installation behilflich sein können oder vorgeschrieben sind.

17.1. Isolationsmessung

Die Messung des Isolationswiderstands dient dem Nachweis der sicheren Trennung der aktiven Teile von anderen Stromkreise und der Erde.

Vor einer Messung müssen wie gewohnt Leuchtmittel entfernt und anderen Geräte vom Stromkreis getrennt werden und alle Schalter sich in eingeschalteter Position befinden. Es wird zwischen den Leitern und gegen Erde gemessen. Der Mindestwert des Isolationswiderstands bei einer Messspannung von 250 V ist 0.5 MΩ. Es gelten die Bestimmungen nach NIN[4, S. 6.1.3.4].

17.2. Einzelader-Strommessung

Mittels der Einzelader-Strommessung können Isolationsdefekte lokalisiert werden. Voraussetzung ist der Zugang zu Einzeladern.

Das zugrunde liegende Prinzip ist die 1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel), nach der die Summe der zufliessenden gleich der Summe der abliessenden Ströme ist. Ein Isolationsdefekt kann als Knotenpunkt betrachtet werden, an dem sich der Stromfluss aufteilt. Unterteilt man eine Installation in Abschnitte, so kann jedem Abschnitt ein Leitungswiderstand R_W und ein Isolationswiderstand R_F zugeordnet werden.

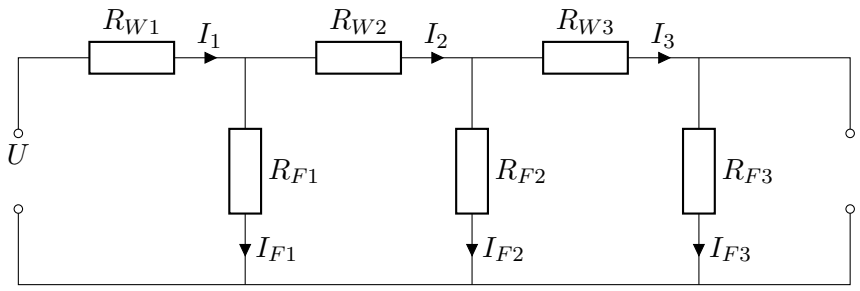


Abbildung 17.1.: Ersatzschaltbild Leitungsabschnitte, Leitungswiderstände und Isolationswiderstände.

Für die Ströme in diesen Abschnitten gilt:

$$I_1 = I_2 + I_{F1} \tag{17.1}$$
$$I_2 = I_3 + I_{F2} \tag{17.2}$$
$$I_3 = I_{F3} \tag{17.3}$$
$$\Rightarrow I_1 \geq I_2 \geq I_3 \tag{17.4}$$

Ist die Isolation perfekt, so gehen alle R_F gegen unendlich und alle I_F gegen Null, ebenso wie I_1, I_2 und I_3. Existiert jedoch ein Isolationsdefekt, so werden Ströme im entsprechenden Abschnitt und den Abschnitten davor ansteigen. Je höher U ist, desto grössere Ströme können gemessen werden.

Beispiel:

Ist $U = 80\,\text{V}$ und hat die Isolation im Abschnitt 2 in Abb. 17.1 nur noch einen Widerstand von 400 kΩ, so fliesst durch R_{F2} folgender Strom:

$$I_2 = \frac{U}{R_{F2} + R_{W2} + R_{W3}} \tag{17.5}$$

Da die Leitungswiderstände viel kleiner sind als der Isolationswiderstand, können sie vernachlässigt werden. Es folgt für den Strom:

$$I_1 = I_2 = I_{F2} = \frac{U}{R_{F2}} \tag{17.6}$$
$$= \frac{80\,\text{V}}{400\,\text{k}\Omega} = 2\,\text{m A} \tag{17.7}$$
$$\tag{17.8}$$

Da weiterhin gilt $R_{F3} \approx \infty$, so folgt daraus:

$$I_3 = I_{F3} = 0\,\text{m A} \tag{17.9}$$

Durch das Messen der drei Ströme I_1, I_2 und I_3 kann also der Isolationsfehler auf Abschnitt 2 eingegrenzt werden.

Abbildung 17.2.: Differenzstromzange Uniks CL8, Quelle: www.uniks.it

Wie in Beispiel Abschnitt 17.2 deutlich wird, ist eine Strommessung im niedrigen Milliampere- bis Mikroamperebereich notwendig, um Isolationsfehler erkennen zu können. Moderne Stromzangen, wie die *Uniks CL8*(Abb. 17.2) oder *Gossen Metrawatt GMC METRAclip 64* können bis in den 2 oder 3-stelligen Mikroamperebereich bei Gleich- und Wechselspannung messen.

17.3. Spannungsabfallmessung

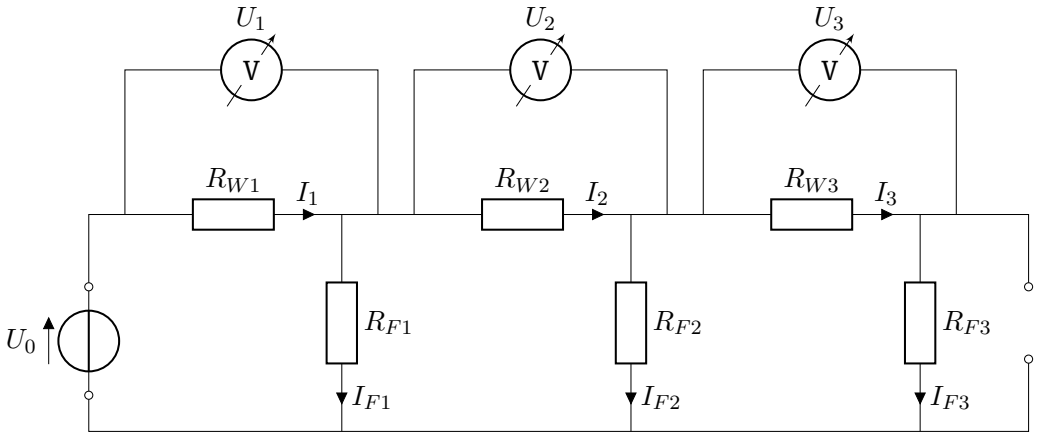


Abbildung 17.3.: Ersatzschaltbild Leitungsabschnitte, Leitungswiderstände und Spannungen.

Mit der Spannungsabfallmessung können Isolationsfehler gefunden werden (siehe Abschnitt 17.2 auf Seite 205). Für die Messung müssen Kontakte in der Installation zugänglich sein.

Es wird ausgenutzt, dass beim Anlegen einer Spannungsquelle ein Isolationsfehler in einem Abschnitt eine Stromfluss in allen davor liegenden Abschnitten bewirkt. Dadurch fällt über den davorliegenden Leitungen eine Spannung ab (siehe Abb. 17.3 auf der vorherigen Seite). Diese Spannung ist sehr gering, so dass hier ein Mikrovoltmeter zum Einsatz kommen muss. Als Messpunkte dienen Abzweigkästen, Schalter, Lampen(-fassungen), Steckdosen etc.

Beispiel:

Die Leitungswiderstände R_{Wx} in Abb. 17.3 auf der vorherigen Seite sind jeweils 150 mΩ, was ca. 8.5 m eines 1 mm^2-Kabels entspricht. Der Isolationswiderstand R_{F2} ist 28 kΩ, die beiden anderen Isolationswiderstände gehen gegen unendlich. Beim Anlegen einer 80 V-Gleichspannungsquelle stellt sich ein Strom $I_1 = I_2 = I_{F2} = 2.9\,\text{mA}$ ein. Daraus resultiert ein Spannungsabfall U_1 und U_2 über R_{W1} und R_{W2} von jeweils 4.3 mV. Über R_{W3} fällt hingegen keine Spannung ab.

Damit konnte der Isolationsfehler auf Abschnitt 2 eingegrenzt werden.

17.4. Messung lokal erhöhter Widerstände

Wie in Abschnitt 10.2.1 auf Seite 129 dargelegt, können hohe Übergangswiderstände bei höheren Stromstärken zu einer unzulässigen Erwärmung führen.

Ein kritisch erhöhter Widerstand unterschiedet sich vom erwarteten Widerstand des Leiters i.d.R. messbar (siehe Tabelle 10.1 auf Seite 131). Der Widerstand der Leitung wird mit einem Ohmmeter/Multimeter gemessen und mit dem erwarteten Wert verglichen. Für die Messung sind alle Verbraucher zu entfernen und die Leitung an einem Ende kurzzuschliessen. Für eine bessere Auflösung und Genauigkeit empfiehlt sich eine 4-Leiter Messung („Kelvin-Messung“).

Jede Abzweigung ist separat zu prüfen. Verschiedene Leitungsquerschnitte sind zu berücksichtigen.

Ist der Widerstand signifikant erhöht, muss die Ursache für diese Erhöhung gefunden und beseitigt werden. Änderungen an der Installation sind mit einer erneuten Prüfung zu verfizieren.

Beispiel:

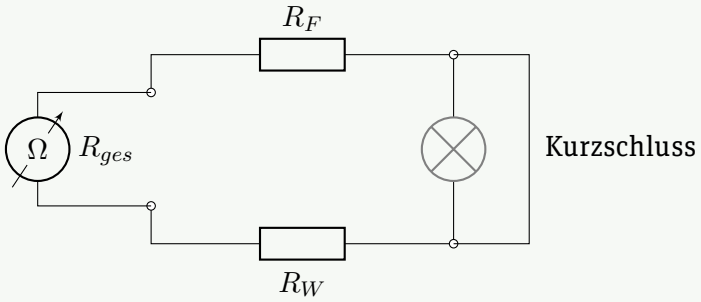


Abbildung 17.4.: Ersatzschaltbild Bestimmung R_F: Leitung mit lokal erhöhtem Widerstand R_F und Leitungswiderstand R_W.

Der Leiterquerschnitt ist

$$q = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{1.1\,\text{mm}}{2}\right)^2 = 0.95\,\text{mm}^2 \tag{17.10}$$

Mit Gleichung (9.6) auf Seite 119 und des spezifischen Widerstands von Kupfer (Abschnitt 9.3 auf Seite 119) errechnet sich der erwartete Widerstand der Leitung wie folgt:

$$R_W = \rho \cdot \frac{l}{q} \tag{17.11}$$

$$= 0.0178\,\Omega\,\text{mm}^2\,\text{m}^{-1} \cdot \frac{2 \cdot 30\,\text{m}}{0.95\,\text{mm}^2} \tag{17.12}$$

$$= 1.12\,\Omega \tag{17.13}$$

Der gemessene Widerstand ist der Gesamtwiderstand der Leitung und einer möglichen Fehlstelle. Der Widerstand der Fehlstelle ist also

$$R_F = R_{ges} - R_W \tag{17.14}$$

$$= 2.5\,\Omega - 1.12\,\Omega \tag{17.15}$$

$$= 1.38\,\Omega \tag{17.16}$$

Entsprechend der Tabelle 10.1 auf Seite 131 können bei $R_F = 1.38\,\Omega$ im Normalbetrieb keine kritischen Verlustleistung entstehen. Für den Kurzschlussfall ist $R_{lower} = 4.8\,\Omega$ massgebend. Da $R_F < R_{lower}$ ist, liegt R_F unterhalb des kritischen Bereichs.

17.5. Auffinden lokal erhöhter Widerstände mittels Thermografie

Ist die Leitungsführung zugänglich, kann die Wärmeentwicklung von Übergangswiderständen und reduzierten Leiterquerschnitten mittels Thermografie aufgedeckt werden. Dafür sind Abzweigkästen, Schalter etc. zu öffnen und die Installation unter Last zu setzen. Dies kann entweder mit den installierten Betriebsmitteln geschehen oder gezielt mit einer elektronischen Last. Letztgenannte Methode ist flexibler und erlaubt das Testen einzelner Stränge über die normale Belastung hinaus.

Abbildung 17.5.: «Anhand der Erwärmung (weiß-rot-gelb) erkennbare, heiße Anschlussstelle und Kabelende an einem Schütz, üblicherweise aufgrund erhöhtem Übergangswiderstands am Anschluss», Von Sönke Krüll - [1], CC BY 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7425932

Die Belastung sollte mindestens einige Minuten aufrecht erhalten und währenddessen die gesamte Anlage mit Thermografie beobachtet werden. Ist sie zu gross, empfiehlt sich ein abschnittsweises Vorgehen.

17.6. TDR und FDR

Time domain reflectometry (TDR) und Frequency domain reflectometry (FDR) sind Techniken zur Untersuchung leitender Objekte auf elektrische Veränderungen (resistiv, kapazitiv und induktiv) entlang einer Strecke. Sie funktioniert auf Basis der Ermittlung von «Lauflängen und Reflektionscharakteristika von elektromagnetischen Wellen und Signalen. Das Verfahren ist im deutschen Sprachraum auch unter dem Begriff Kabelradar bekannt.»[5].

Das zugrundeliegende Funktionsprinzip ist die Reflektion der Wellenenergie eines Signals[1] , wenn die elektrische Impedanz der Leitung sich über dessen Länge ändert. Die Impedanz ist der komplexe Widerstand eines Bauteils, auch „Wechselstromwiderstand“ genannt, zusammengesetzt aus kapazitiven und induktiven Anteilen. Grossen Einfluss auf die Impedanz haben der Querschnitt der Leitung und die Beschaffenheit und der Zustand der Isolation.

Eine TDR-Messung ist die mit Abstand aufwendigste Messung unter den hier vorgestellten. Sie verlangt vergleichsweise komplexe und teure Messmittel und vertiefte Kenntnisse bei der Durchführung und Auswertung. Hinzu kommt, dass die TDR-Messung an Stromleitungen deutlich schwieriger ist, als an Coaxial- oder Twistet-Pair-Leitungen, wo die TDR routiniert eingesetzt wird. Der Grund dafür liegt in der wesentlich homogeneren Impedanz dieser Leitungen, so dass Reflexionen deutlicher zu Tage treten und besser interpretiert werden können. Im Gegensatz dazu verfügen verlegte Stromleitungen nicht über eine Abschirmung, einen konstanten Leiterabstand oder eine konstante Dicke der Isolation. Häufig vorhandene Abzweigungen im Stromkreis führen zur Überlagerung von Reflektionen aus mehrere Strängen, was die Interpretation weiter erschwert.

Je nach Fragestellung und Installation kann daher eine TDR- oder FDR-Messung keine bis sehr gute Erkenntnisse liefern.

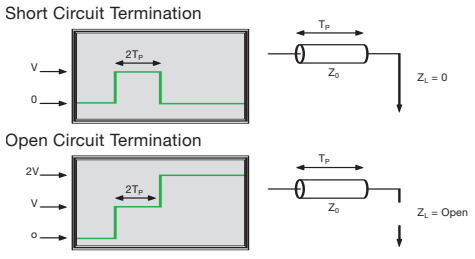
17.6.1. FDR - Frequency domain reflectometry

Bei FDR werden alle Frequenzen in einem vorher definierten Band gemessen und anschliessend mit Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) in den Zeitbereich transformiert. Der Vorteil gegebnüber TDR ist der geringe Leistungsbedarf, was eine grössere Messtrecke ermöglicht.

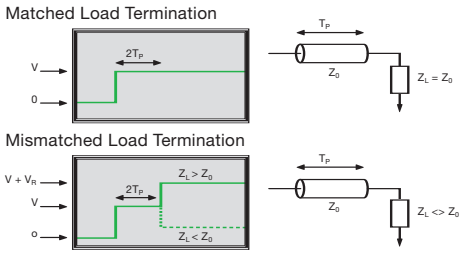
Wird kein spezielles FDR-Messgerät verwendet, so kann ein Vector Network Analyzer (VNA) zur FDR-Messung eingesetzt werden. Ein VNA ist ein Messgerät, welches die Parameter eines elektrischen Netzwerks bestimmt. Mit *Netzwerk* ist hier nicht etwa ein Computer- oder Mobilfunknetz gemeint, sondern jede Art von elektrischer Leitung oder Gerät.

Während der Preis für professionelle Geräte schnell die 10kCHF-Grenze überschreitet, sind seit einiger Zeit auf Open-Source-Hardware basierende „NanoVNA“ verfügbar. Mittlerweile wurden einige Varianten des Ursprungsgeräts entwickelt und können bei diversen Online-Versendern bezogen werden. Die Messgenauigkeit, Auflösung, Rauschabstände, Bedienung etc. bleiben deutlich hinter den professionellen VNA zurück. Unter gewissen Umständen können sie trotzdem einen wertvollen Beitrag zur Ermittlung des Zustandes der Isolation leisten.

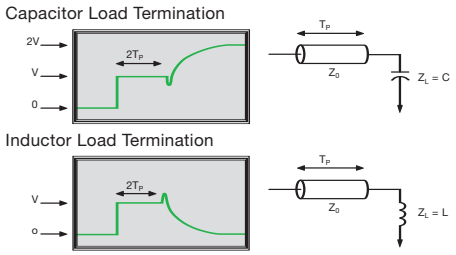
[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Time-domain_reflectometer#/media/File:Partial_transmittance.gif



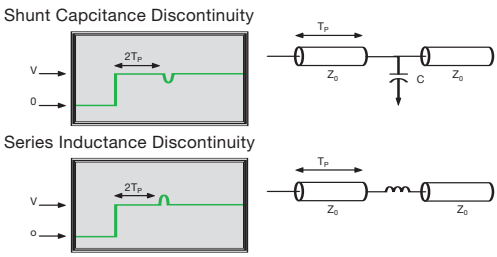
(a) Kurzschluss oder offenes Leiterende



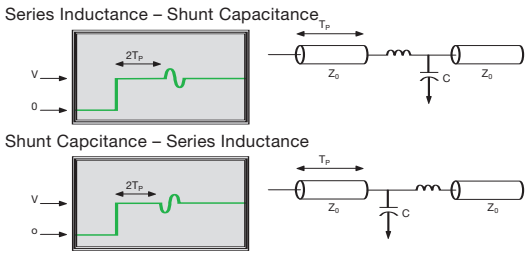
(b) Angepasste und nicht passende Leitungsterminierung



(c) Kapazitive und induktive Leitungsterminierung



(d) Kapazitive und induktive Diskontinuitäten



(e) Gemischte kapazitive und induktive Last

Abbildung 17.6.: TDR: Veränderung der der Rechteckwelle als Resultat verschiedener Leiter- und Isolationsdiskontinuitäten, Quelle: Tektronix[2]

Die Anzeige einer auf FDR basierenden Messung unterscheidet sich nicht grundlegend von der einer direkten TDR-Messung.

17.6.2. Velocity Factor

Zur Bestimmung der echten Entfernung zu einem Punkt im Graph wird der Velocity Factor v_f benötigt. Er definiert die Geschwindigkeit des Signals in der Leitung v_P gegenüber der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum:

$$v_f = \frac{v_P}{c} \tag{17.17}$$

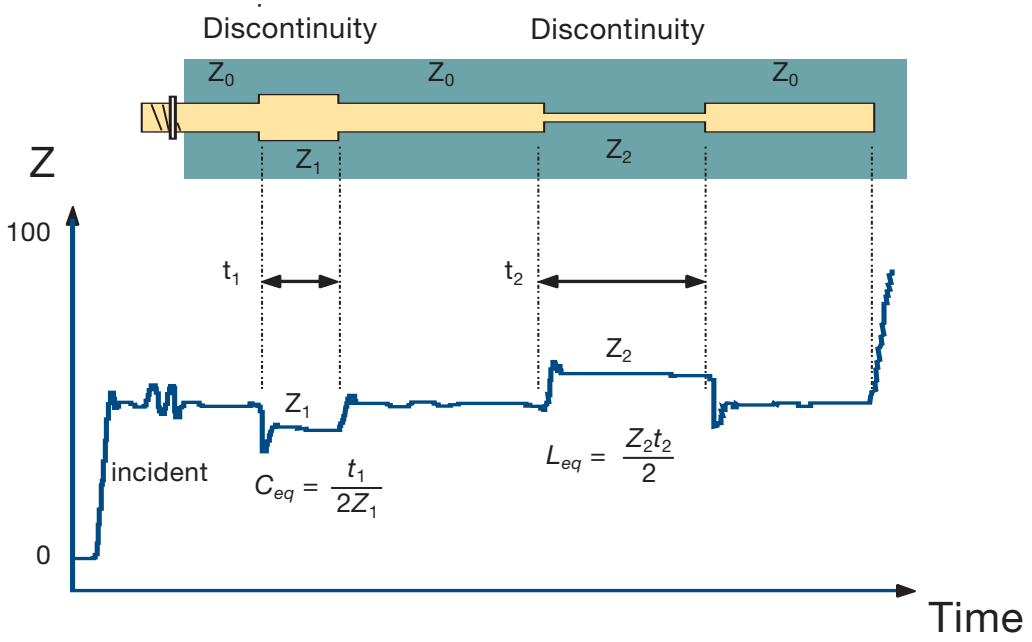


Abbildung 17.7.: Die TDR-Wellenform zeigt Diskontinuitäten in einem Leiterplattenzug, Quelle: Tektronix[2]

Der Faktor kann entweder Tabellen[2] entnommen oder aus dem Verhältnis der gemessenen Strecken zu bekannten Fehlstellen errechnet werden.

Bestimmung von v_P durch Messung

Zur Bestimmung ist eine Abschnitt eines identischen Kabels oder ein bekannter Abschnitt des DUT notwendig. Ist die Kabellänge bis zum Ende oder einer markanten Fehlstelle bekannt, so kann v_f oder v_P bestimmt werden.

Basierend auf einer Messung und einer bereits eingestellten Velocity of propagation (VOP) $v_{f,current}$ kann der korrekte $v_{f,new}$ berechnet werden:

$$\frac{l_{real}}{l_{measured}} = \frac{v_{f,new}}{v_{f,current}} \tag{17.18}$$

$$v_{f,new} = \frac{l_{real}}{l_{measured}} \cdot v_{f,current} \tag{17.19}$$

Meist in TDR-Messung kann die Zeit bis zum gewählten Punkt t_P direkt abgelesen

[2] z.B. https://scopetnm.blog/2021/01/20/importance-of-velocity-of-propagation-in-tdr-method-for-ug-cable-fault-location/

werden. Aus dieser wird dann v_P berechnet mit

$$l = v_P \cdot t_P \tag{17.20}$$

$$v_P = \frac{l}{t_P} \tag{17.21}$$

und dann in Gleichung (17.18) auf der vorherigen Seite eingesetzt.

17.6.3. Scan-Auflösung FDR

Die Scan-Auflösung R in Metern wird bestimmt vom Velocity Factor v_f und der Breite des Frequenzbereich („Stimulus“) $F = F_{stop} - F_{start}$, welcher für den Messung verwendet wird, multipliziert mit einem gerätespezifischen Faktor k (aus [3]).

$$R = k \cdot \frac{v_f}{F} \tag{17.22}$$

Multipliziert man die Auflösung mit der Anzahl der Scan-Intervalle N erhält man die Gesamtlänge l des gemessenen Bereichs[3]:

$$l = N \cdot R \tag{17.23}$$

17.6.4. FDR Tests unter Laborbedingungen

Um einen ersten Eindruck der möglichen Analyseergebnisse mit einem NanoVNA zu erlangen, wurde eine NYM-Leitung von rund 2.3 m Länge bei 1.525 m mit einem künstlichen Isolationsdefekt in der äusseren Isolierung versehen ohne die Leiter und deren Einzelisolierung zu beschädigen (siehe Abb. 17.8). Desweiteren wurde die Leitung an Position 0.77 m stark geknickt und wieder zurückgebogen, mit dem Ziel, nicht-sichtbare Veränderung der Isolation zu bewirken.

Für die Durchführung wurde ein „NanoVNA-F V2“[4] beschafft.

Kalibriert werden „Open“, „Short“ und „Load“, aber kein „Through“. Open und Short werden mit angeschlossenen Krokodiklemmen und Load mit dem Standard-Kalibrierequipment, was am BNC-Adapter angeschlossen wird, durchgeführt.

Nach erfolgter Kalibrierung wurde die TDR-Messung mit diesen Parametern durchgeführt:

- Sweep Points: 301
- Display mode: Linear
- Scale: 0.1 dB

[3] Die mit dieser Konfiguration maximal messbare Kabellänge

[4] Hersteller Sysjoint `https://www.sysjoint.com`, Frequency Range 50 kHz-3 GHz, S11 Dynamic Range 50 dB, Sweep points: 301 (TDR-Mode), Preis rund 100 CHF

Abbildung 17.8.: Isolationsschaden zu Testzwecken, Foto: André Lison 2024

- Ref-pos: -4
- Stimulus: 50 kHz-3 GHz using „Low pass step“
- Velocity factor: 60 %
- Window: Minimum
- Electric delay: 2.3 ns

Faktor k für 301 Punkte wurde aus der auf dem NanoVNA angezeigten maximalen Länge berechnet:

$$R = \frac{5.27\,\mathrm{m}}{301} = 0.0175\,\mathrm{m} \tag{17.24}$$

$$R = k_{301} \cdot \frac{v_f}{F} \tag{17.25}$$

$$k_{301} = R \cdot \frac{F}{v_f} \tag{17.26}$$

$$k_{301} = \frac{0.0175\,\mathrm{m}}{0.6} \cdot 3\,\mathrm{GHz} \tag{17.27}$$

$$k_{301} = 87.5 \times 10^6\,\mathrm{m\,s^{-1}} \tag{17.28}$$

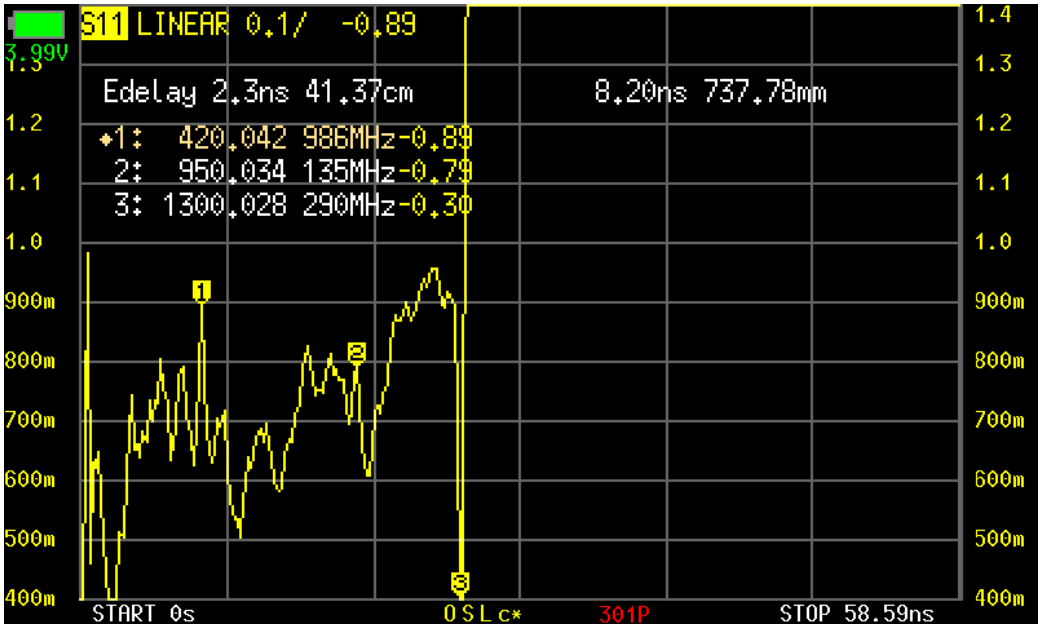


Abbildung 17.9.: NanoVNA TDR: Marker 1 zeigt den Defekt bei 73.8 cm

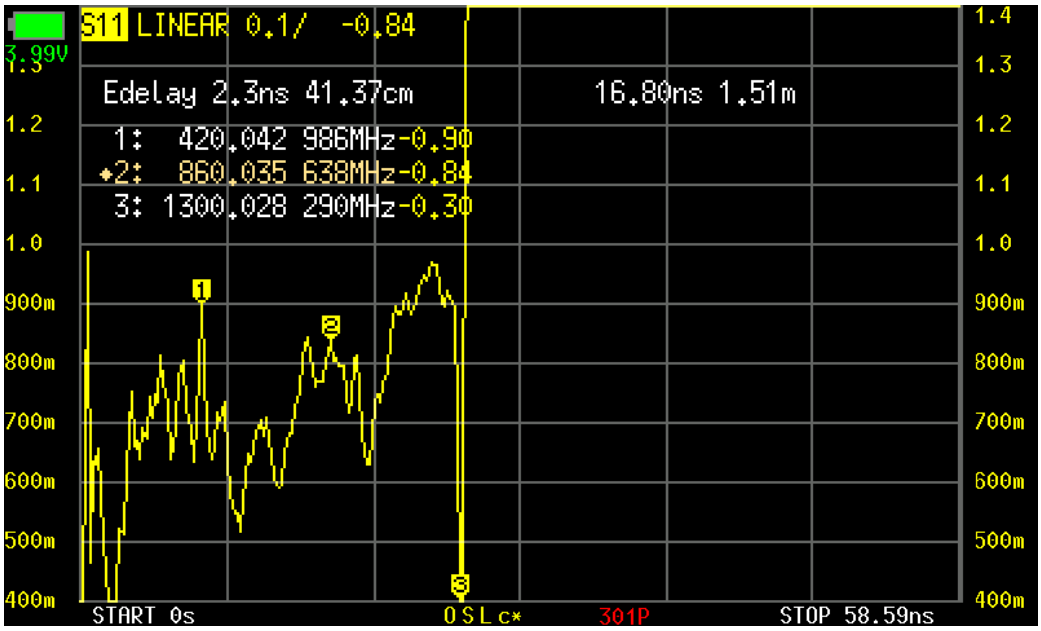


Abbildung 17.10.: NanoVNA TDR: Marker 2 zeigt den Defekt bei 1.51 m

Die Abb. 17.9 bis 17.11 auf den Seiten 216–217 zeigen das Ergebnis der Messung. Sowohl der sichtbare und der nicht-sichtbare Defekt, als auch das offenen Ende der Leitung treten deutlich hervor und ihre Positionen können mit guter Genauigkeit bestimmen werden. Der Schaden durch den Knick auf Position 1 manifestiert sich überraschend kräftig.

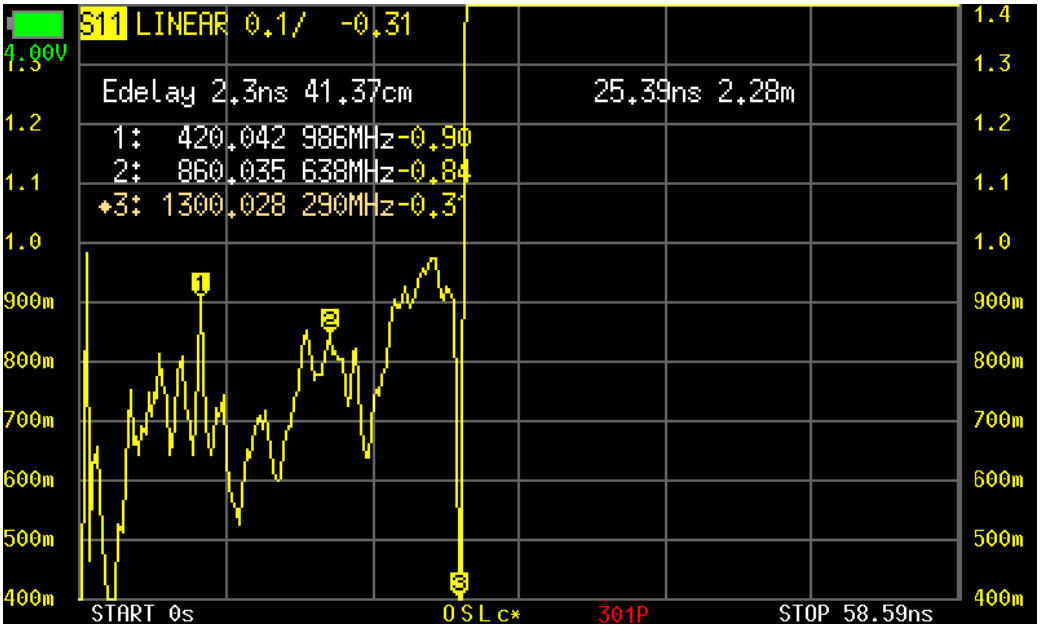


Abbildung 17.11.: NanoVNA TDR: Marker 3 zeigt das Ende der Leitung bei 2.28 m

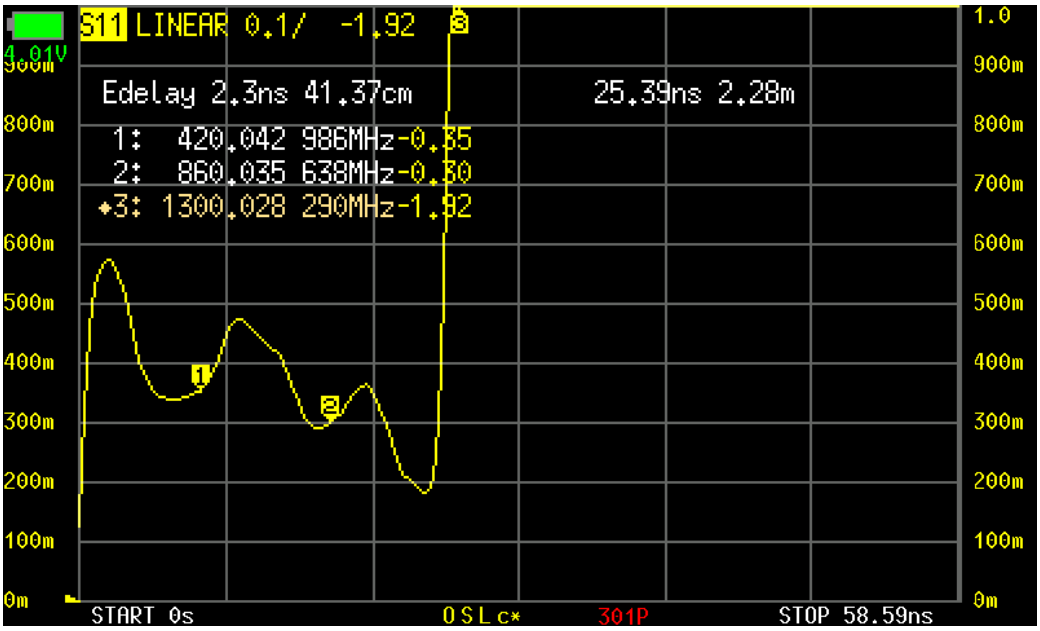


Abbildung 17.12.: NanoVNA TDR: Identische Messung wie Abbildungen 17.9 bis 17.11 jedoch Window = Normal

Abb. 17.12 zeigt dieselben Messergebnisse, jedoch mit veränderter Darstellung: der Parameter „Window“ wurde von „Minimal“ auf „Normal“ geändert, was eine Glättung der TDR-Kurve zur Folge hat. Die Defekte treten deutlicher hervor, allerdings kann ihre Position weniger präzise bestimmt werden.

Literatur

[1] H. Pohl, *Die Montage elektrischer Licht- und Kraftanlagen, Ein Taschenbuch zum Gebrauch für Ingenieure, Elektromonteure, Installateure, Betriebsführer, Schalttafelwärter, Kesselwärter, Maschinisten sowie die Besitzer elektrischer Anlagen*, 13. Aufl. Leipzig: Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, 1926 (siehe S. 205).

[2] Tektronix, «TDR Impedance Measurements: A Foundation for Signal Integrity,» Tektronix, Inc., Beaverton, OR, United States, Techn. Ber. 55W-14601-2, 2008. Adresse: https://download.tek.com/document/55W_14601_2.pdf (siehe S. 212, 213).

[3] Mohr, «Application Note: TDR vs. FDR: Distance-to-Fault,» Mohr und Associates, Techn. Ber., 2010. Adresse: http://www.mohr-engineering.com/documents/TDR_vs_FDR_Distance_to_Fault-A.pdf (siehe S. 214).

[4] Electrosuisse, *NIN 2020 NIBT, Niederspannungs-Installationsnorm, SN 411000:-2020 de*, 2020 (siehe S. 205).

[5] Wikipedia, *Zeitbereichsreflektometrie — Wikipedia, The Free Encyclopedia*, [Online; accessed 24-October-2024], 2024. Adresse: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zeitbereichsreflektometrie (besucht am 24. 10. 2024) (siehe S. 210).

Teil IV.

Case studies

18. Überblick Objekte

> *„Früher war der wichtigste Mitarbeiter des Architekten der Maurermeister, heute ist es der Installateur, der Wasser, Heizung, Elektrizität usw. einzurichten hat.“ Das ist der Ausspruch eines namhaften Architekten. In der Tat, die Erkenntnis, daß die Bewohnbarkeit eines Hauses nicht von einem mehr oder weniger gelungenen Äußeren, sondern in weit höherem Maße von der Brauchbarkeit aller technischen Einrichtungen abhängt, ist heute weithin gedrungen.*
>
> Vorwort aus „Elektrizität und Bauen“ 1936 [1]

Als Vorbereitung für meine Arbeit und während ihrer Durchführung wurden verschiedene Gebäude besichtigt, fotografisch aufgenommen und in unterschiedlichem Umfang dokumentiert. Dies waren (geschätzte Baujahre der historischen Elektrik in Klammern):

- Atelier Surbek, Bern (1935-1980)
- Berghotel Schatzalp, Davos (1899-1960)
- Casa Desax, Trun (1925-1955)
- Castello Trefogli, Torricella-Taverne (1920-1960)
- Theater Winterthur, Winterthur (1976-1979)
- Villa Langmatt, Baden (1907-1930)
- Villa Burghalde, Baden (1904/05)
- Wohnhaus St. Johanns-Vorstadt, Basel (1935-1970)
- Wohnhaus, Trun (1936-1960)

Das im vorherigen Teil vorgeschlagene Konzept sollte an ein bis zwei Objekten praktisch umgesetzt werden. Es waren funktionsfähige, historische Elektroinstallation mit Handlungsbedarf gesucht, ohne dass Abhängigkeiten zu laufenden oder geplanten Baumassnahmen bestanden. Um die Masterthesis nicht zeitlich zu überdehnen, sollte ein überschaubarer und abgegrenzter Bereich behandelt werden.

Die Wahl fiel auf das Berghotel Schatzalp in Davos/GR und das Castello Trefogli in Torricella-Taverne/TI, welche in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Die Arbeiten am Castello Trefolgi und die Dokumentation fanden im Rahmen meines „In-

ternal Workshops“ an der HKB statt. Das entstandene Dokument wird hier grösstenteils unverändert wiedergegeben.

Literatur

[1] K. Grütter, *Elektrizität und Bauen*, ger. Stuttgart: Franckh’sche Verlagsbuchhandlung, 1936 (siehe S. 221).

19. Davos Berghotel Schatzalp

Abbildung 19.1.: Postkarte mit Ansicht des Sanatoriums Schatzalp, ca. 1915, Quelle: ETH e-pics

19.1. Geschichte

19.1.1. Gebäude

Das Gebäude des Berghotels Schatzalp auf rund 1860 m ü.M. oberhalb Davos/GR wurde in den Jahren 1898-1900 von den Zürcher Architekten Otto Pfleghard & Max Haefeli als Stahlbetonbau errichtet. Der mehrgeschossige Bau entstand als Sanatorium und wurde 1953 in ein Hotel überführt[7].

Porta-Cultura schreibt über das Gebäude[10]: «Einer der ersten grossen Eisenbetonbauten der Schweiz. 1899-1900 von Pfleghard & Haefeli auf Initiative von Willem Jan Holsboer [erstellt]; umgebaut und erweitert. Ingenieur Froté & Westermann. Das System des Flachdachs mit Ablauf im Hausinneren wurde später wegweisend für die Bauten Gaberels. Architektur unter Verschmelzung verschiedener Einflüsse: spät-

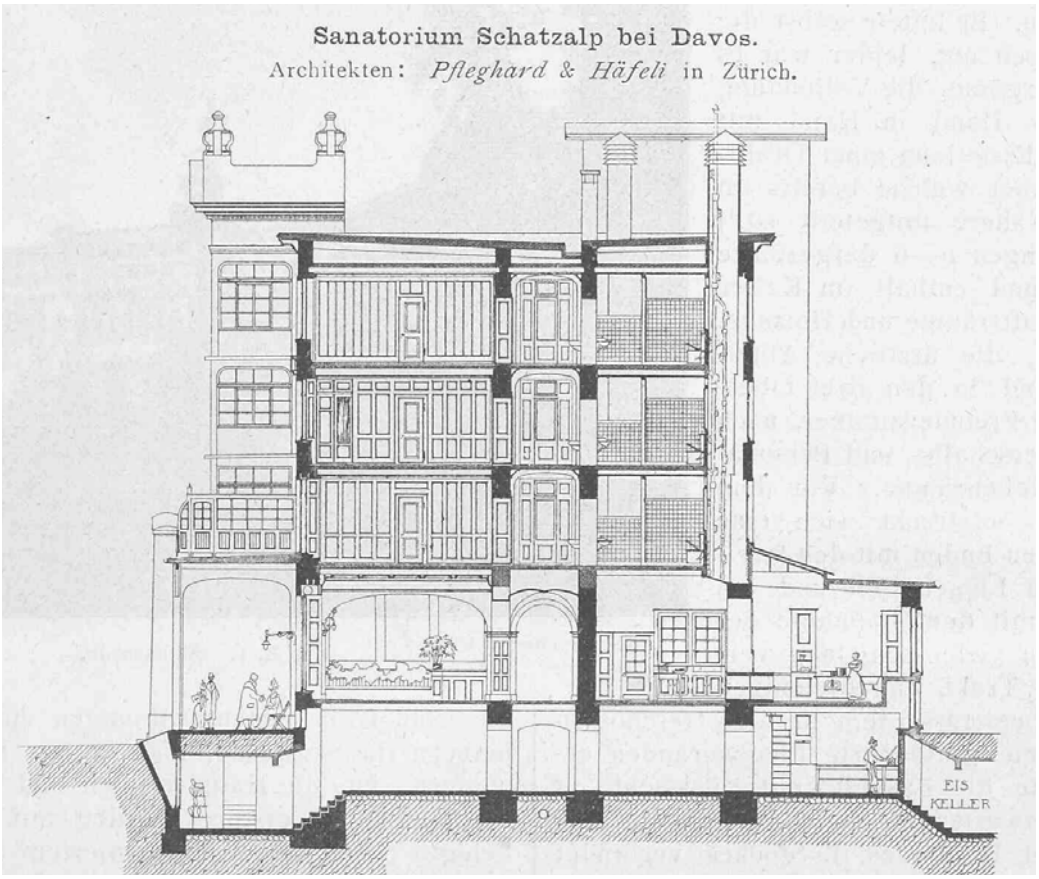


Abbildung 19.2.: Querschnitt durch das Sanatorium Schatzalp im östlichen Teil vor dem heutigen Eingang, Blick Richtung Westen, Quelle: ETH e-periodica, ursprünglich [7]

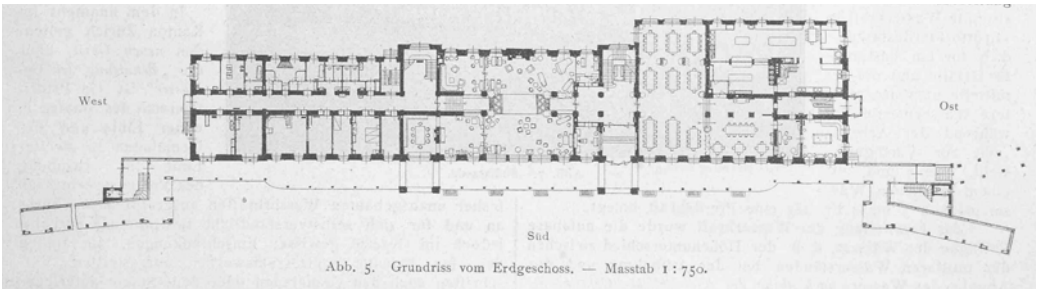


Abbildung 19.3.: Sanatorium Schatzalp Horizontalschnitt EG, 1902, Quelle: ETH e-periodica, ursprünglich [7]

klassizistische Anlage mit Liegehallen im Schweizer Holzstil, Grundriss der Gesellschaftsräume in Anlehnung an das englische Landhaus, Jugendstildekoration unter Einbezug der regionalen Sgraffitotechnik.»

Die Schweizerische Bauzeitung widmet dem Sanatorium 1902 einen Artikel, dem die Schnitte Abb. 19.2 und 19.3 entnommen sind.

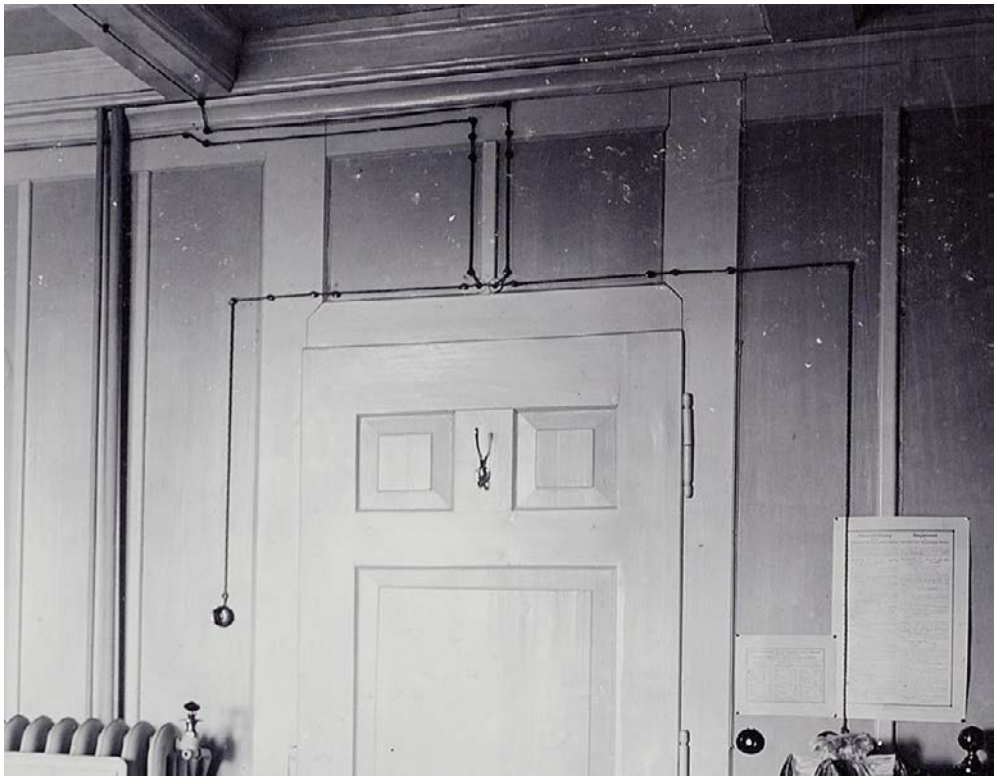
19.1.2. Gebäudetechnik

Die bauzeitliche technische Ausstattung war äusserst umfangreich und modern. Zu nennen sind hier die Wasserversorgung über eine eigene Quellfassung mit Reservoir, die Personen- und Speiseaufzüge, welche auch mit diesem Wasser angetrieben wurden, die zentrale Warmwasserversorgung, eine Niederdruckdampfheizung, welche glatte Radiatoren und die Bodenheizung speiste und abschliessend die elektrische Beleuchtung und die Sonnerieeinrichtungen[7]. Die 780 Glühlampen und 4 Bogenlampen wurden von einem Gleichstromgenerator mit 2 mal 210 V über ein 3-Leitersystem versorgt[5]. Die elektrischen Systeme und Installation des Sanatoriums wurden von «Alioth in Basel»[4, S. 30] (whs. Elektrizitätsgesellschaft Alioth in Münchenstein, Kanton Baselland[1]) geliefert und mutmasslich auch installiert. Die Stromversorgung des Gebäudes geschah über die eigens errichtete Kraftzentrale der Schatzalpbahn (Abb. 19.5 auf Seite 227) in Davos Platz. Die beiden dort installierten Gasmotoren lieferten den erzeugten Strom über im Boden verlegte Kabel zur Talstation und von dort über eine Freileitung zur Bergstation und zum Sanatorium [6], [9].

Abb. 19.4a auf der nächsten Seite zeigt die bauzeitliche, offene Verlegung der Leitungen in einem Gästezimmer. Bemerkenswert ist erstens, dass überhaupt eine offene Verlegung angewendet wurde. Bei einem Neubauprojekt im Luxussegment wäre eine Unterputzverlegung zu erwarten gewesen. Zweitens ist die Tatsache ungewöhnlich, dass die Leitungsadern nicht separat auf paarweisen Isolierrollen, sondern zu einer Leitung verdrillt über einzelne Rollen verlegt wurden. Möglicherweise fand eine flexible Gummiaderleitung mit Litze Verwendung (siehe Vergrösserung in Abb. 19.4b auf der nächsten Seite).

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrizit%C3%A4tsgesellschaft_Alioth

(a) Aufnahme ganzes Zimmer



(b) Ausschnitt der offen verlegten Elektrik aus Abb. 19.4a, links der Tür ein Lichtschalter und rechts ein Sonnerietaster

Abbildung 19.4.: Zweier-Zimmer [3], Quelle: ETH e-pics

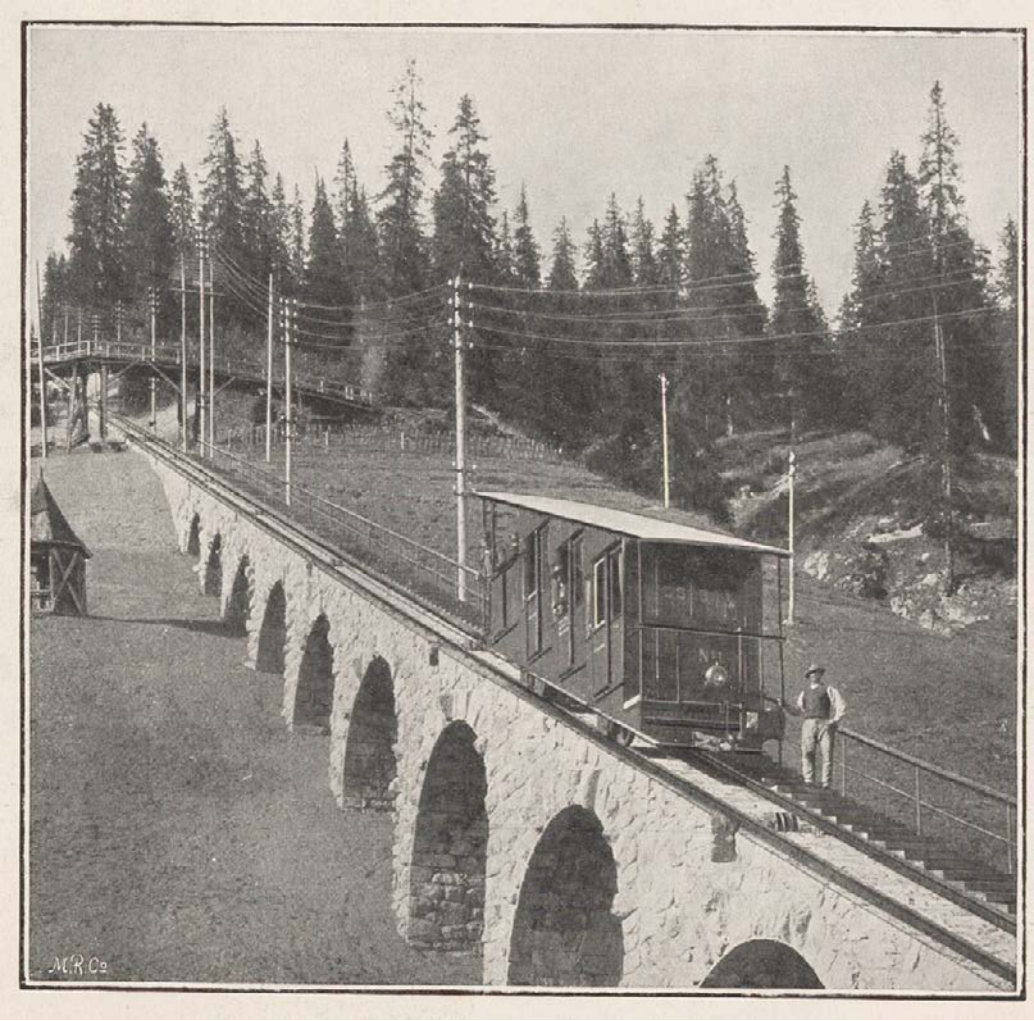


Abbildung 19.5.: Schatzalpbahn mit Freileitung, ca. 1900, Bildunterschrift: «Neue Construction für den Motorbetrieb mit zwei Laufschienen ohne Zahnstange», Quelle: ETH e-pics

19.2. Bestand

Eine halbtägige Besichtigung des Berghotels Schatzalp offenbarte die grosse Vielfalt noch vorhandener, historischer Elektrotechnik. Aus der Sanatoriumszeit sind die elektrischen Uhren auf den Fluren von Siemens-Halske (ca. 1930[2], Abb. 19.6), der Antrieb und die Steuerung der Personenaufzüge (1930er Jahre, Abb. 19.7), die Essensaufzüge (Alter unbekannt), diverse Lampen, einige Sonnerieelemente (Beispiel Abb. 19.8 auf Seite 230) und diverse Leitungen, Abzweigungen, Schalter und Steckdosen noch vorhanden und grösstenteils auch in Betrieb.

Abbildung 19.9.: Kombination mit starken Gebrauchsspuren, Unterputz, whs. Feller 1950-1960, Berghotel Schatzalp, Foto: André Lison 2024

Viel Installationsmaterial stammt jedoch aus den 1950er Jahren, welches mutmasslich bei der Transformation des Sanatoriums in ein Hotel verbaut wurde. Auch aus späteren Jahren sind natürlich ebenfalls Schalter, Steckdosen etc. vorhanden.

Bauzeitliche Elektrotechnik wurde nur in geringem Umfang vorgefunden. Besonders augenfällig ist die Aussenbeleuchtung der Lauben (Abb. 19.10 auf Seite 231). Obwohl nicht mehr in Betrieb, sind alle notwendigen Bauteile und Leitungen noch vorhanden. Es wurde der Wunsch geäussert, diese wieder in Betrieb zu nehmen, was in dieser Case-Study mündete.

19.2.1. Elektrische „Bauphasen“

Aus dem vorgefundenen Bestand und historischen Abbildungen des Gebäudes wird ein knapper Überblick über mögliche elektrische „Bauphase“, d.h. grössere Änderungen an der Hausinstallation, abgeleitet. Diese sind häufig mit Nutzungsänderungen des Gebäudes und andere Bauphasen verbunden.

Wie im Abschnitt „Gebäudetechnik“ erwähnt, war das Sanatorium bereits bauzeitlich mit einer umfangreichen Elektroinstallation versehen worden. Das eigene Gleichstrom-Kraftwerk im Tal war jedoch ein ökonomisches Sorgenkind. Aus diesem Grund suchte man den Anschluss an das Wechselstromnetz des Elektrizitätswerkes Davos. Dies bedingte auch die Umstellung der Bahn- und Sanatoriumselektrik auf Wechselstrom. Die Übergangsphase wurde mit Umformern auf die Jahre 1914-1924 gestreckt, wobei das Sanatorium als letztes auf Wechselstrombetrieb umgerüstet wurde[8]. Es ist wahrscheinlich, dass die zu diesem Zeitpunkt bereits über 20jährige Elektroinstallation ebenfalls eine Erneuerung erfuhr.

[2] Vermutungsweise handelt es sich um eine Synchronuhr. Synchronuhren benötigte zum Betrieb Wechselstrom, der bauzeitlich nicht vorhanden war. Daher wird sie auf deutlich später datiert. Stilistisch ist die Uhr eher in den 1930er Jahre zu verorten. Siehe `https://clockdoc.org/gs/handler/getmedia.ashx?moid=39772&dt=3&g=1`, S.93

Abbildung 19.6.: Deckenuhr Siemens-Halske, Foto: André Lison 2024

Abbildung 19.7.: Antrieb und Steuerung Aufzug, Foto: André Lison 2024

(a) Ruf (b) Anzeige

Abbildung 19.8.: Signalisation, Fotos: André Lison 2024

In den dreissiger bis vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts werden die Deckenuhren angebracht und die Maschinenanlage der Aufzüge installiert, sowie mutmasslich die Sonnerie erneuert (siehe Abb. 19.6 auf der vorherigen Seite, Abb. 19.7 auf der vorherigen Seite und Abb. 19.8).

Die nächste, grosse Phase lässt sich an der heute noch in Teilen existierenden Apparate-Auswahl ablesen. Mit der Nutzungsänderung von einem Sanatorium in ein Hotel Anfang der 1950er Jahre wurden auch grosse Teile der Elektroinstallation ausgetauscht (siehe Abb. 19.9 auf Seite 228).

Eine vierte Erneuerungsphase hat mutmasslich in den 1960er Jahren stattgefunden. Äusserlich fällt sie durch die Entfernung der Kuppeln auf den flankierenden Türmen des Mittelbaus auf, die auf einer Abbildung aus dem Jahr 1969 bereits verschwunden sind.

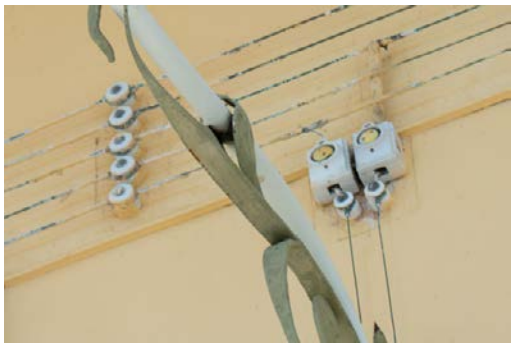
19.2.2. Bestand Aussenbeleuchtung

Der Laubengang wird als überdachter Weg von der Schatzalpbahn zum Haupteingang des Hotels verwendet. Darüber hinaus dient er den Gästen des Restaurants als bediente Terrasse. Der Gang kann in drei Abschnitt eingeteilt werden: in den östlichen, den mittleren und den westlichen Teil. Im östlichen Teil sind 2 Ausle-

Abbildung 19.10.: Bauzeitliche Aufnahme des Laubengangs mit Auslegerlampen (rechts oben), Blick Richtung Westen, Quelle: ETH e-pics

gerlampen befestigt, welche über in Isolierrohren verlegte Leitungen mit 230 V-Wechselstrom versorgt werden. Dieser Teil ist in Betrieb. Der mittlere Teil zwischen

Abbildung 19.11.: Lage und Leitungslängen für die Aussenbeleuchtung im EG Berghotel Schatzalp (rot markiert), Quelle Horizontalschnitt: `https://www.schatzalp.ch/rundgang/`



(a) Anschluss der Lampen an die Verteilleitungen und Nulleiter-Sockel

(b) Beginn der offenen Leitungsführung

Abbildung 19.12.: Berghotel Schatzalp, Südfassade, mittlerer Laubengang, Leitungsführung, Fotos: André Lison 2024

dem Haupteingang und dem Nebeneingang verfügt ebenfalls über 2 Auslegerlampen, die über offen verlegte Gummibandleitungen (Abb. 5.4 auf Seite 63) versorgt wurden. Dieser Teil war nicht mehr in Betrieb. Die offen verlegten Leitungen werden auf der Fassade über den Nebeneingang in Isolierrohren auf die westliche Seite geführt, wo sie - ebenfalls in Isolierrohren - 4 weitere Auslegerlampen versorgen. Alle Auslegerlampen sind baugleich und offensichtlich bauzeitlich. Die beiden auf Abb. 19.10 auf der vorherigen Seite zu erkennenden dreiarmigen Deckenlampen sind heute nicht mehr vorhanden.

Sowohl der mittlere, als auch der westliche Teil wurden nicht mehr betrieben.

Abbildung 19.13.: Geöffnete Abzweigdose im westlichen Laubengang, Foto: André Lison 2024

Leitungsführung

Der Verteilerkasten im Raum westlich vom Treppenhaus enthält einen Schalter, mit dem der mittlere und westliche Teil gemeinsam geschaltet werden kann. Die Leitung läuft verdeckt bis auf die südliche Fassade, wo sie nach einem kurzen Stück im Isolierrohr an die offene verlegten Leitungen angeschlossen ist (Abb. 19.12b).

Ab diesem Punkt verlaufen 5 parallele, offen verlegte Leitungen bis zum westlichen Ende des mittleren Teils. Verwendet werden jedoch nur die von unten gezählt erste und dritte Leitung, die restlichen sind nicht verbunden. Jede senkrechte Isolatoren-Reihe ist auf einem durchgehenden Holzdübel befestigt. Es werden Leitungen mit zwei verschiedenen Querschnitten verwendet:

- *unten*: 2 x $q_{Leiter} = 1.9\,\mathrm{mm}^2$, $q_{Isolierung} = 10.2\,\mathrm{mm}^2$
- *oben*: 3 x $q_{Leiter} = 3.1\,\mathrm{mm}^2$, $q_{Isolierung} = 12.6\,\mathrm{mm}^2$.

Beim Erreichen des Nebeneingangs im Westen des Gebäudes wird die Leitung wieder in einem Isolierrohr geführt. Ab diesem Punkt werden Einzeladerleitungen mit thermoplastischer Isolierung in den Farben Grün und Braun/Gelb verwendet (Abb. 19.13). Im westlichen Teil angekommen, mündet das erste armierte Isolierrohr in eine Abzweigdose mit der Fabrikmarke JJB (Abschnitt 4.1.5 auf Seite 30) um von dort weiter in Isolierrohren zu den restlichen 4 Lampen geführt zu werden.

An den Abzweigungen zu allen Lampen wurden Nulleiter-Sockel in beiden Leitungen eingebaut, in welche gelben Einsätzen, sogenannte „Nulleiter-Stöpsel“, sitzen, die die Fassung kurzschliessen (Abb. 19.14 auf der nächsten Seite). Dies war eine übliche Technik, um die Lampen lokal ohne Werkzeug von der Leitung trennen zu

Abbildung 19.14.: Nulleiter-Sockel mit Nulleiterstöpsel von Gardy, ähnlich denen von der Schatzalp. ca. 1920, Foto: André Lison 2024

können, zum Beispiel für Reinigungs- und Wartungsarbeiten.

Datierung

Die Installation besteht augenscheinlich aus zwei Teilen, die auch unabhängig datiert werden müssen.

Im ersten, dem mittleren Bereich wurde wie beschrieben eine offene Verlegung angewendet. Die sich abschälende Isolierung der Kupferleiter offenbart Kautschukstreifen, die spiralförmig um den Leiter gewickelt sind (siehe Abb. 5.4 auf Seite 63). Diese Machart wird bei Gummibandleitungen verwendet, die zu sehr frühen Installationen passen. Seit 1927 sind Gummibandleitungen in der Schweiz nicht mehr erlaubt, was das Alter eingrenzt. Auch die restlichen Installationsdetails, vor allem die Holzdübel und die Nulleiter-Sockel lassen eine Datierung auf die Bauzeit zu.

Im westlichen und auch im südlichen Teil werden die Leitungen in armierten Isolierrohren geführt, welche bis Anfang der 1970er Jahre verwendet wurden. Die thermoplastische Abzweigdose muss auf Grund ihres Materials nach 1945 entstanden sein, ebenso wie die Leitungen mit der thermoplastischen Isolierung. Die Aderfarben bestätigen dies: Bis 1969 waren Nulleiter wie im vorgefunden Fall gelb, erst danach blau.

Die Entstehungszeit des zweiten Teil kann daher in den Zeitraum von 1950 bis 1970 gelegt werden, mit einer Tendenz in die 1960er Jahre.

19.3. Zustand Aussenbeleuchtung

Die Leitungsführung ist intakt, Isolierrohre und Isolierrollen sind ordnungsgemäss an der Wand befestigt und auch sonstige Elemente der Installation ohne Schäden. Einzig die Leitungsisolierung der Gummibandleitung (mittlere Teil) schält sich ab und ist bereits in grossen Bereichen verloren gegangen. Eine Isolationsmessung gegen Erde hat 90 MΩ ergeben.

19.4. Konzept

Da sowohl die Leitungsführung, als auch der Isolationswiderstand dies zulassen, wird eine Umstellung der Netzspannung auf SELV wie in Kapitel 16 auf Seite 195 beschrieben vorgeschlagen. Die insgesamt 6 Lampen werden mit LED-Leuchtmitteln versehen und eine SELV-konforme Spannungsquelle eingebaut. Im folgenden soll berechnet werden, ob die Verlustleistung und der Spannungsabfall in Bereichen liegen, die den Betrieb zulassen.

19.4.1. Spannungsabfall bei 24 V

Der Spannungsabfall wird auf Basis der beobachteten und vermuteten Leitungsführung im 3D-Modell[3] berechnet (siehe Abb. 19.11 auf Seite 232). Es wird ein Leiterquerschnitt von 1 mm² angenommen. Zur Vereinfachung wird die Leitungslänge im Ausleger der Lampe nicht berücksichtigt.

Die Gesamtlänge der Leitung bis zur 6. Lampe beträgt rund 75 m (einfach). Folgendes vereinfachtes Modell wird zur Bestimmung des Spannungsabfalls aufgestellt. $R_{Leitung}$ ist der Widerstand der Leitung (in beide Richtungen) und R_{Lges} ist der Widerstand aller Lampen. Die Gesamtleistung aller 6 Lampen errechnet sich folgendermassen:

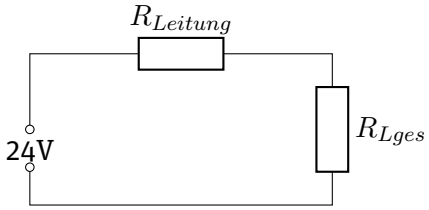


Abbildung 19.15.: Einfaches Modell zur Berechnung des Spannungsabfalls

$$P_{gesamt} = 6 \cdot 9\,\mathrm{W} = 54\,\mathrm{W}. \tag{19.1}$$

[3] https://v-twin.space/de/tour/berghotel-schatzalp

Daraus kann mit Hilfe des spezifischen Widerstands ϱ des Kupfers der Widerstand der Leitungen errechnet werden. Zur Vereinfachung wird der kleinste vorgefundene Leiterquerschnitt von $q = 1.5\,\mathrm{mm}^2$ für alle Abschnitte verwendet.

$$\begin{aligned} R_{Leitung} &= \varrho \cdot \frac{2l}{q} \\ &= 0.0178\,\Omega\,\mathrm{mm}^2\,\mathrm{m}^{-1}\,\frac{2 \cdot 75\,\mathrm{m}}{1.5\,\mathrm{mm}^2} \\ R_{Leitung} &= 1.78\,\Omega \end{aligned} \tag{19.2}$$

Für die Berechnung des Widerstandes einer einzelnen 6 W-Lampe und aller Lampen (Parallelschaltung) wird die Formel für die elektrische Leistung P nach dem Strom I umgeformt:

$$P = U \cdot I \tag{19.3}$$

$$\Longrightarrow I = \frac{P}{U} \tag{19.4}$$

und in Gleichung (9.2) auf Seite 119 eingesetzt, so dass Gleichung (19.5) folgt:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{\frac{P}{U}} = \frac{U^2}{P} \tag{19.5}$$

Der Widerstand einer (R_L) und aller Lampen zusammen (R_{Lges}) ist daher:

$$R_L = \frac{(24\,\mathrm{V})^2}{9\,\mathrm{W}} = 64.0\,\Omega \tag{19.6}$$

$$R_{Lges} = \frac{(24\,\mathrm{V})^2}{36\,\mathrm{W}} = 10.7\,\Omega \tag{19.7}$$

Der Gesamtwiderstand des Stromkreise ist die Summe aus Lampen- und Leitungswiderstand, womit dann auch die im Stromkreis fliessende Stromstärke I_1 und der Spannungsabfall über den Leitungen U_{ab} berechnet werden kann (Gleichung (19.9)):

$$R_{gesamt} = R_{Lges} + R_{Leitung} = 1.78\,\Omega + 10.7\,\Omega = 12.4\,\Omega \tag{19.8}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{gesamt}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{12.4\,\Omega} = 1.93\,\mathrm{A} \tag{19.9}$$

$$U_{ab} = R_{Leitung} \cdot I_1 = 1.78\,\Omega \cdot 1.93\,\mathrm{A} = 3.43\,\mathrm{V} \tag{19.10}$$

Damit beträgt der Spannungsabfall rund 14 %. In einer Niederspannungsinstallation würde dies als zu hoch eingestuft. Jedoch können die vorgesehenen LED-Leuchtmittel[4] bei gleichbleibender Helligkeit in einem Spannungsbereich von 12 bis 36 V betrieben werden. Desweiteren ist zu beachten, dass die Berechnung von einem stark vereinfachten Modell ausgeht (siehe Abb. 19.15 auf der vorherigen Seite), in welchem die gesamte Last am Ende der Leitung verbaut ist und damit auch

[4] OSRAM 4099854040467 LED EEK F (A - G) E27 Kolbenform 9 W, 12 bis 36 V DC/AC

die gesamte Leitungslänge mit der berechneten Stromstärke belastet wird, was entsprechend die Verlustleistung erhöht. Wird hingegen berücksichtigt, dass sich die Stromstärke von Lampe zu Lampe reduziert, reduziert sich auch der Spannungsabfall. Abb. 19.16 zeigt das erweiterte Modell. Die verwendeten Widerstände sind in Tabelle 19.1 aufgeführt.

Name	Zuleitung	Leitungslänge einfach	Widerstand
R_{1x}	Lampe 1	18 m	0.214 Ω
R_{2x}	Lampe 2	11 m	0.131 Ω
R_{3x}	Lampe 3	19 m	0.225 Ω
R_{4x}	Lampe 4	7 m	0.083 Ω
R_{5x}	Lampe 5	7 m	0.083 Ω
R_{6x}	Lampe 6	11 m	0.131 Ω

Tabelle 19.1.: Länge und Widerstände der Lampenzuleitungen

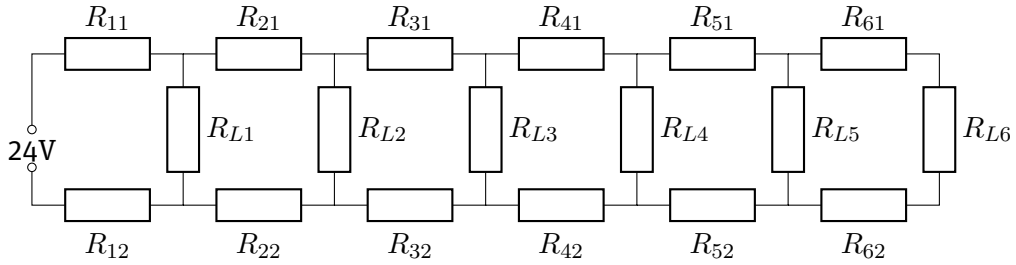


Abbildung 19.16.: Erweitertes Modell zur Berechnung des Spannungsabfalls

Der Spannungsabfall wurde mit dem Falstad-Simulator gerechnet. Der Source-Code ist im Listing 2 auf Seite 295 zu finden. Mittels der Simulation konnte ermittelt werden, dass Lampe 6 noch mit einer Spannung von 21.7 V betrieben wird, der Spannungsabfall also nur 2.3 V beträgt (9.6 %) und damit deutlich geringer ist, als mittels des einfachen Modells berechnet wurde.

19.4.2. Installation

Am 29.10.2024 wurden die Lampen im mittleren Bereich auf 24 V umgestellt. Als Netzteil fand eine Siemens SITOP PSU200M (5 A) (s. Abschnitt H auf Seite 300) Verwendung. Eine Spannungsmessung in der Dose nach der 2. Lampe (bereits auf der westlichen Seite, s. Abschnitt 19.2.2 auf Seite 233) und mit einem 6 W und einem 9 W Leuchtmittel ergab 23.7 V, was mit der entsprechenden Spannung von 23.59 V aus der Falstad-Simulation sehr gut übereinstimmt.

Die noch verbleibenden 4 Lampen werden zeitnah umgestellt.

Abbildung 19.17.: Davos Berghotel Schatzalp, Laubengang, mittlerer Bereich Blick Richtung Osten, Auslegerlampen leuchten nach Umstellung auf 24 V, Foto: André Lison 2024

Literatur

[1] «Schatzalpbahn in Davos.» Publisher: ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke. (1900), Adresse: https://ad.e-pics.ethz.ch/catalog/ETHBIB.AD-v1.0/r/16422 (besucht am 30. 10. 2024).

[2] E. Strub, *Bergbahnen der Schweiz bis 1900* (Bergbahnen der Schweiz bis 1900 Bd. 1). J.F. Bergmann, 1900. DOI: http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-29925. Adresse: https://books.google.ch/books?id=NUNKAAAAYAAJ.

[3] «Zweier-Zimmer.» ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv / Ans_05412-012-AL. (1900), Adresse: https://ba.e-pics.ethz.ch (besucht am 31. 10. 2024) (siehe S. 226).

[4] «Sanatorium Schatzalp bei Davos: erbaut von Pfleghard & Häfeli, Architekten,» *Schweizerische Bauzeitung*, Jg. 39, Nr. 3, 24. Aug. 1901. DOI: 10.5169/seals-23310. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-23310 (siehe S. 225).

[5] *Sanatorium «Schatzalp», Davos - 1800 m ü.M. -; Gleichstrom-Lichtanlage mit 780 Glühlampen & 4 Bogenlampen : 3-Leiter-System, 2 mal 210 V: Juli 1900 - Jan.1901*, ger. Münchenstein, 1901 (siehe S. 225).

[6] C. Wetzel, «Die Davos-Platz-Schatzalp-Bahn,» *Schweizerische Bauzeitung*, Jg. 38, Nr. 7, S. 71, 1901, ISSN: 0036-7524. DOI: 10.5169/seals-22753. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-22753 (siehe S. 225).

[7] «Sanatorium Schatzalp bei Davos: erbaut von Pfleghard & Häfeli, Architekten,» *Schweizerische Bauzeitung*, Jg. 39, Nr. 2, 11. Jan. 1902. DOI: 10.5169/seals-23310. Adresse: https://doi.org/10.5169/seals-23310 (siehe S. 223, 224, 225).

[8] A. Amberg. «Geschichte der Bahn.» (Mai 1940), Adresse: https://www.schatzalp.ch/geschichte-der-bahn/ (siehe S. 228).

[9] R. D. Boni. «Das erste Gaswerk in Davos.» Section: Leben & Freizeit. (17. Okt. 2022), Adresse: https://www.davoserzeitung.ch/aus-dem-leben/das-erste-gaswerk-in-davos (besucht am 30. 10. 2024) (siehe S. 225).

[10] «ehemaliges Sanatorium Schatzalp, Davos.» (10. Dez. 2024), Adresse: https://portacultura.gr.ch/records/building-125 (besucht am 10. 12. 2024) (siehe S. 223).

20. Castello Trefogli

20.1. Untersuchungsgegenstand

Das Castello Trefogli (Torricella-Taverna/TI, Bj. 1906) enthält eine grosse Menge an mutmasslich bauzeitlichen Elektroinstallationen. Die heute als nicht mehr sicher angesehenen Aufputzverlegung mit textilummantelten Leitern auf Porzellanisolatoren und die Steigleitungen zu den Schaltern in Bergmannrohren laufen Gefahr, bei der Durchführung der nächsten periodischen Elektrokontrolle beanstandet und nachfolgend entfernt zu werden.

Es soll ein Erhaltungskonzept erarbeitet werden, welches einen sicheren Betrieb der Elektroinstallationen, d.h. ohne Konflikte zur NIV einzugehen[1], bei gleichzeitig grösstmöglichem Substanzerhalt gestattet. Die Räumlichkeiten des Castellos sind umfangreich und ein Konzept für alle Räume ist aus zeitlichen Gründen nicht realisierbar. Die Erhaltung sollte daher nur an einem zentralen Raum, dem *Klavierzimmer*, demonstriert werden. Während der Erstellung des Konzepts wurde jedoch offensichtlich, dass eine Erweiterung auf angrenzende Räume im Erdgeschoss sinnvoll ist.

20.2. Kunst- und kulturgeschichtlicher Kontext

Wie mündlich überliefert wurde, ist die Elektroinstallation zusammen mit dem eigentlichen Bau des Schlosses im Jahr 1906 erstellt worden. Zu dieser Zeit war die Elektrifizierung der Schweiz bereits fortgeschritten. Das «Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen»[2] trat im Jahr 1902 in Kraft und regelte ab diesem Zeitpunkt Normen und Sicherheitsüberprüfungen und erleichterte den Bau von Infrastruktur zur Elektrizitätsübertragung. In den Jahren vor dem ersten Weltkrieg wurden zudem diverse kantonale Elektrizitätsgesellschaften gegründet (siehe [1, S. 576ff]), was die Verbreitung weiter förderte.

Es war also eine Zeit der Elektrifizierung, die über die bisherigen und seltenen Luxusinstallation hinausging. Auf Grund sinkender Preise war Elektrizität für grössere

[1] Für Wohngebäude ist eine Kontrolle alle 20 Jahre vorgesehen. Wenn jedoch Elektroinstallationen mit Nullung Schema III vorkommen, ist alle 5 Jahre ein SiNa dem Energielieferanten einzureichen

[2] `https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/19/259_252_257/de`

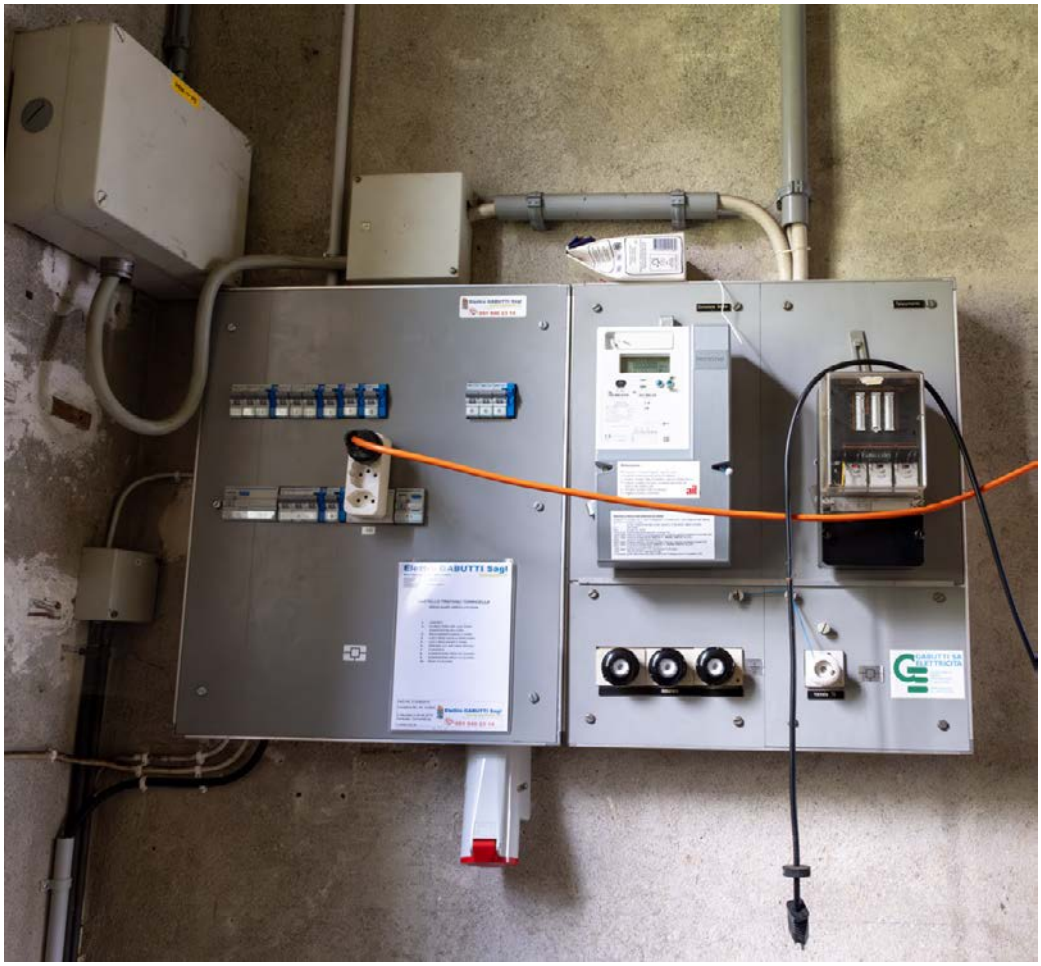


Abbildung 20.1.: Sicherungskasten im Dachgeschoss (Nov 2023), Foto: André Lison

Bevölkerungsgruppe erschwinglich und stellte eine auch wirtschaftliche Alternative zum Gas, zur Kohle und dem Holz dar. Noch waren die Kosten jedoch nicht auf dem heutigen Preisniveau angelangt, weswegen sich Strom im Haus hauptsächlich das besser betuchte Bürgertum leisten konnte (Literatur u.a. [2]).

20.3. Bestandsaufnahme

20.3.1. Stromkreise

Es wurde und wird empfohlen, die Verbraucher eines Gebäudes in Gruppen einzuteilen - sogenannte „Stromkreise“ - und einzeln abzusichern. Diese Massnahme gestattet Installationen grösseren Umfangs, erhöht den Komfort und erleichtert die Fehlersuche im Fehlerfall.

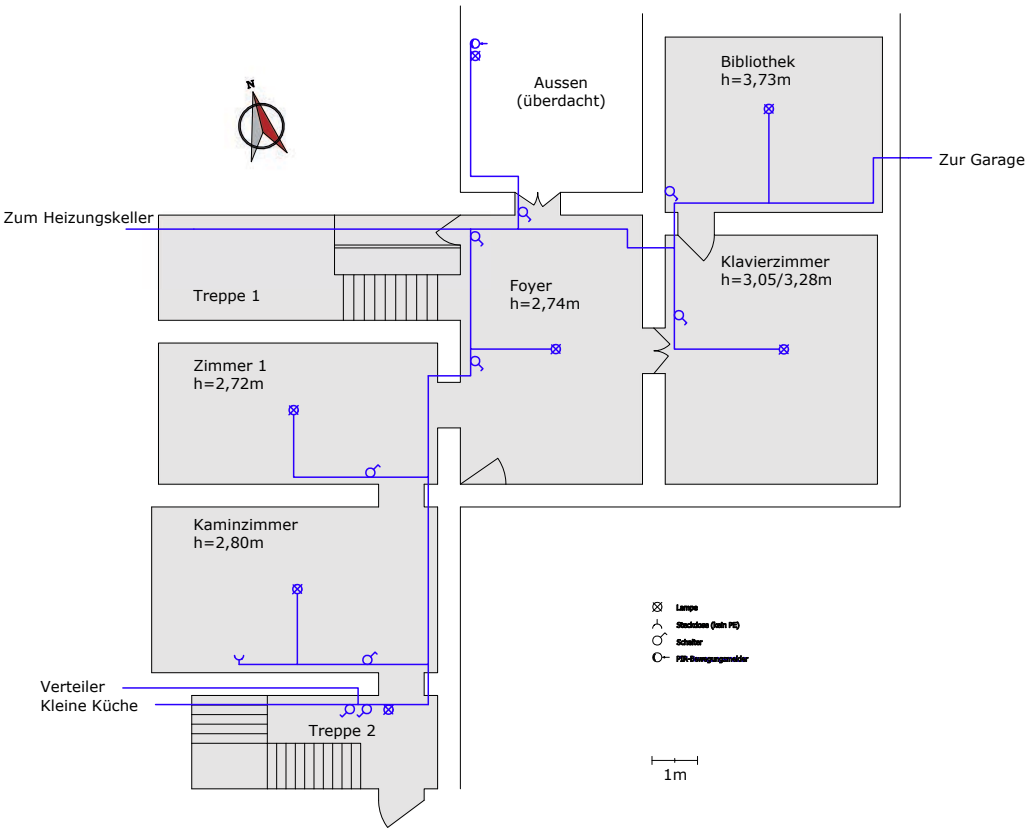


Abbildung 20.2.: Skizze des Erdgeschosses (Ausschnitt, grob massstäblich) Castello Trefogli mit Schema der Elektroinstallation (Mai 2024)

Auch das Castello ist in verschiedene Stromkreise unterteilt. So ist das *Klavierzimmer* nicht einzeln abgesichert, sondern gehört zu einem Sicherungskreis, der den nördlichen Teil des Castellos umfasst. Die Beschäftigung damit ist von Bedeutung, weil vorgeschlagene Erhaltungskonzepte unter Umständen Einfluss auf den gesamten Sicherungskreis haben. Abb. 20.2 zeigt einen Installationsplan, soweit bekannt und für dieses Projekt relevant.

Der zugehörige Verteilerschrank (Stromkreisverteiler) befindet sich im Dachgeschoss (Abb. 20.1). Er ist von moderner Bauart mit auf Hutschienen angebrachten Sicherungsautomaten. Für das nördliche Erdgeschoss wird die Sicherung Nummer 4 (LS 8 A[3]) in Kombination mit einem RCD[4,5] verwendet. Die Leitungsführung vom Verteilerkasten in das Erdgeschoss speist erst das darunter gelegene Badezimmer

[3] Hager MCN 008 C8
[4] Hager CCA 225C 25 A/δn 0.01 A
[5] `https://hager.com/de-ch/katalog/produkt/cca225c-fi-schutzschalter-2p-25a-10ma-a`

(a) Aderleitung auf Porzellanisolatoren von der Decke auf den holzverschalten Querbalken kommend, *Klavierzimmer*

(b) Detail zu Abb. 20.3a: ¾-Scheiben aus Porzellan zur Leitungsführung um konvexe Kanten, *Klavierzimmer*

Abbildung 20.3.: Leitungsführung über Porzellanisolatoren, Fotos: André Lison 2024

im 1. OG, um dann in einen Unterverteiler mit 3 LS[6] im 1. OG oberhalb der *Treppe 2* zu münden. Von dort verlaufen die drei Leitungen weiter in das Apartment „Fabio Trefogli“ und das Erdgeschoss (jeweils einzeln abgesichert).

Steckdosen sind in der *Kleinen Küche*, dem *Vorratsraum* und dem *Kaminzimmer* angeschlossen. Spätestens ab der *Treppe 2* werden die Leitungen nur zweiadrig geführt, wodurch die Steckdose im *Kaminzimmer* ohne PE aber mit Nullung „Schema III“ angeschlossen ist.

Im *Kaminzimmer* und *Zimmer 1* existieren weitere Steckdosen, deren Zuführung aus dem 1. OG stammt und die zumindest im EG keine Verbindung zum eben beschriebenen Stromkreis haben.

20.3.2. Physische Leitungsführung

Ab der *Treppe 2* werden die zweiadrigen Leitungen auf Porzellanisolatoren an der Decke befestigt (siehe Abschnitt 20.3.2), mit Ausnahme der Zuleitung der Steckdosen im *Kaminzimmer* (im Bergmannrohr) und dem Anschluss der Aussenbeleuchtung (im Kunststoffinstallationsrohr). Die Deckenhöhe variiert zwischen 2.7 m (*Treppe 2*) und 3.7 m (*Bibliothek*). Die Lichtschalter sind über textilummantelte, einzeladrige Leitungen im Bergmannrohr an die offenliegenden Leitungen angeschlossen (siehe Abb. 20.4).

Es fallen häufiger Abdrücke von Briden[7] direkt neben den Installationsrohren zu

[6] 3 x Hager MT013 B13, 13 A
[7] Deutschland: Rohrschelle

den Schaltern auf, jedoch wurden keine Spuren von paarweisen Porzellanisolatoren gefunden. Es darf daher vermutet werden, dass auch die Erstinstallation sich Isolationsrohren bedient hat.

Wanddurchführungen

Wie in Abb. 20.2 auf Seite 243 zu sehen, werden 8 Zimmer und der Aussenbereich über einen Stromkreis versorgt. Die Leitungsführung an der Decke wird auch durch die Wände fortgesetzt (siehe Abb. 14 und 15 auf Seite 284 und auf Seite 285). Historisch werden die Leitungen in einem Porzellanröhrchen gegen die Wand isoliert. Auch hier sind diese Röhrchen häufig vorhanden, jedoch an vielen Stellen noch mit Gips verunreinigt oder gar verschlossen. Die Umgebung des Wanddurchbruchs ist in grösserem Umkreis deutlich heller, sehr wahrscheinlich aus Gips bestehend, unregelmässig geformt und ungefasst. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Elektrik mehrere Jahre nach der Erstellung und Fassung der Wände installiert wurde. Die Wanddurchbrüche sind offensichtlich nicht gebohrt, sondern gestemmt worden, worauf die grossflächigen Ausbrüche hinweisen. Eine Fassungsergänzung konnte an keiner Stelle festgestellt werden.

Eine Sammlung von Abbildungen der Wanddurchführungen sind in Abschnitt B auf Seite 283 zu finden.

Abbildung 20.4.: Offene Leitungsführung an der Decke mit Steigleitung im Bergmannrohr, Foto: André Lison 2023

Leitungen

Sowohl bei den offen verlegten Leitungen, als auch bei jenen in den Bergmannrohren handelt es sich um textilummantelte Kupferleitungen. Die Verbindung zwischen den Räumen, sozusagen die Hauptversorgung, hat einen Leitungsquerschnitt von $q_v \sim 2.8$ bis $3.8\,\mathrm{mm}^2$ ($d_v = 1.9$ bis $2.2\,\mathrm{mm}$). Dieser Querschnitt ist für die Belastung mit 10 A mehr als ausreichend (mind. $1.5\,\mathrm{mm}^2$).

Die Schalterleitungen sind im Gegensatz dazu sehr dünn. Generell müssen heute alle Leitungen in einem Stromkreis mindestens für den Bemessungsstrom (hier 10 A)

ausgelegt sein, egal was an ihnen angeschlossen wird. Unabhänging davon sind Querschnitte von unter 1.5 mm^2 nicht mehr zulässig.

Leiterquerschnitte

Abschliessend werden noch die genauen Leiterquerschnitte ausgewählter Leitungen bestimmt. Dabei wird zwischen dem Querschnitt des Leiter und der Leitung (d.h. inklusive Isolation) unterschieden.

Position	Leiter	Leiter	Leitung
Kleine Küche	2.2 mm	3.8 mm^2	4.0 mm
	1.0 mm	0.8 mm^2	3.3 mm
Sicherungskasten			5.6 mm
Treppe 2 Decke bei Abzw. wandseitig	1.9 mm	2.8 mm^2	4.2 mm
Treppe 2 Decke bei Abzw. raumseitig	2.2 mm	3.8 mm^2	5 mm
Foyer wandseitig	1.6 mm	2.0 mm^2	3.8 mm
Foyer raumseitig	1.3 mm	1.3 mm^2	3.5 mm
Kaminz. Decke, raumseitig (Abb. 20.11 auf Seite 253)	2.1 mm	3.5 mm^2	
Schalter (Stichproben)	0.9 mm	0.6 mm^2	

Tabelle 20.1.: Leiter- und Leitungsquerschnitte

Klavierzimmer

Das *Klavierzimmer* erhält seine Strom aus dem Foyer über einen Wanddurchbruch in der nordwestlichen Raumecke, der schon in Abb. 15b auf Seite 285 gezeigt wird. Da es über eine grössere Raumhöhe als das Foyer verfügt, ist die Stelle ca. 50 cm unterhalb der Decke lokalisiert. Von dort führt eine Steigleitung im Bergmannrohr bis zur Decke (Abb. 15c auf Seite 285), von wo die Leitung einerseits durch einen weiteren Wanddurchbruch in die Bibliothek und andererseits in Richtung Tür geführt wird. Kurz vor dem rechten Rand des Türblendrahmens ist eine senkrechte Abzweigung im Bergmannrohr zu einem Kippschalter eingefügt. Von dieser Abzweigung verläuft die Leitung bis zum mittleren Balken, welcher über der Eingangstür zentriert ist. Die Leitungsführung erfährt dort eine Richtungsänderung auf den Deckenbalken und läuft bis zur Raummitte, wo der zentrale Leuchter angeschlossen ist (siehe Abb. 20.5).

Abbildung 20.5.: Elektroinstallation an der Westseite des *Klavierzimmers* (Juni 2024), Foto: André Lison

20.3.3. Schalter und Steckdosen

Die Schalter und Steckdosen wurden der Leitungsführung folgend ab der Treppe 2 bis zur Bibliothek untersucht und dokumentiert. Die dabei vorgefundenen Typen sind sehr heterogen. Soweit untersucht und ersichtlich, sind alle Schalter auf in der Wand eingelassenen Holzstücken aufgeschraubt. Diese Technik wurde vor der Verbreitung von Kunststoffdübeln angewendet.

Treppe 2

Es sind zwei Lichtschalter montiert, links ein Xamax-Wippenschalter (ca. ab 1955), welcher das Licht auf dem Treppenabsatz schaltet und rechts ein Wippenschalter der Firma Kalthoff aus Deutschland für die Lampe über der Tür. Wie die Firma Kalthoff auf Anfrage bestätigte, wurde dieser Schalter bis Ende der 1960er Jahre produziert. Bemerkenswert ist, dass er keine Association Suisse des Electriciens (ASEV)-Zertifizierung trägt und daher auch nicht hätte verbaut werden dürfen.

Fotos der Schalter sind in Abb. 16 auf Seite 287 zu finden.

Kaminzimmer

Das *Kaminzimmer* ist mit einem Lichtschalter und einer Steckdose ausgestattet. Der Wippenschalter trägt den Marken-Schriftzug „PRESTO“, welcher ihn als ein Produkt der Firma „Gebrüder-Vedder“[8] auszeichnet. Die Firma Presto-Vedder hat auf Nachfrage bestätigt, dass es sich um ein ehemaliges Produkt handelt, konnte aber keine weiteren Angaben dazu machen.

Die dreipolige T12-Kunststoffsteckdose ohne Vertiefung vom Hersteller „Electro-Mica“ ist über einen separate Verlegung im Bergmannrohr an die Aderleitungen auf Porzellanisolatoren angeschlossen. Der PE-Leiter ist mittels Nullung „Schema III“ auf den Neutralleiter verbunden (Protective Earth & Neutral (PEN)).

Fotos des Schalters und der Steckdose sind in Abb. 17 auf Seite 288 zu finden.

Zimmer 1

In diesem Zimmer befindet sich nur ein Kunststoff-Wippenschalter der Schweizer Firma „Feller“. Wippenschalter wurden ab 1946 für mehrere Jahrzehnte produziert.

Fotos des Schalters sind in Abb. 18 auf Seite 289 zu finden.

Foyer

Im *Foyer* wird die Deckenbeleuchtung über einen Kipphebelschalter der Firma Gardy gesteuert. In der nordwestlichen Raumecke befindet sich noch ein Porzellan-Drehschalter, welcher das Licht im ehemaligen Heizungskeller geschaltet hat (Zugang durch Tür neben dem Schalter). Die Gestaltung und die technische Machart deuten beim zweiten Schalter auf die 1920er Jahre, wohingegen der erste ca. 10-20 Jahre später datiert wird.

Abbildung 20.7.: Nicht mehr in Betrieb befindliche Installation unter *Treppe 1* (Juni 2024), Foto: André Lison

Vom *Foyer* gelangt man durch eine in Wandfarbe gefasste und bündig mit der Wand erstellte Holztür in einen Gang zum ehemaligen Heizungskeller. Dort ist unter der Treppe (siehe Abb. 20.7) ein Tablar mit 2 Porzellan-Drehschaltern und 3 Lampen montiert. Offensichtlich konnte so entweder nur die obere oder alle 3 Lampen eingeschaltet werden. Bei den unteren beiden ist das dunkel eingefärbte Glas noch vorhanden. Der Zweck dieser Konstruktion ist nicht ersichtlich. Möglicherweise diente sie der Kontrolle, ob das Licht im jeweiligen Raum, ein- oder ausgeschaltet ist.

[8] heute Presto-Vedder GmbH

Abbildung 20.6.: Elektroinstallation im *Foyer* (Juni 2024), Foto: André Lison

Im eigentlichen Heizungskeller ist noch eine Fassung mit Stromdieb und Glühlampe an den betrachteten Stromkreis angeschlossen und wird mutmasslich über den aussen angebrachten Drehschalter geschaltet (siehe Abb. 19b auf Seite 290).

Fotos der Schalter sind im Abb. 19 auf Seite 290 zu finden.

Aussen

Im Aussenbereich ist eine mit einem Bewegungsmelder Passive infrared sensor (PIR)-gesteuerte Wandlampe moderne Bauart angebracht. Im Türdurchgang ist zudem ein Drehschalter mit unbekanntem Zweck verbaut.

Klavierzimmer

Auch das *Klavierzimmer* ist auf eine zentrale Beleuchtung und einen Schalter beschränkt. Der Kipphebelschalter aus Kunststoff stammt von der Schweizer Firma „Xamax“, welcher erst ab Mitte der 1940er Jahre in das Geschäft mit Steckdosen und Schaltern eingestiegen ist.

Bilder des Schalters sind im Abb. 20 auf Seite 291 zu finden.

Abbildung 20.8.: Beleuchtung *Foyer* (Mai 2024), Foto: André Lison

Abbildung 20.9.: Elektroinstallation *Bibliothek* (Mai 2024), Foto: André Lison

Bibliothek

Der Druckschalter aus Kunststoff ohne Herstellerkennzeichen für die einzige Deckenlampe befindet sich rechts neben der Tür.

Von der Bibliothek verläuft die Leitung durch den Fensterrahmen auf der Fassade bis in die darunterliegende Garage. Dort dient eine festinstallierte Steckdose als Verteiler für zwei bewegungsgesteuerte Scheinwerfer. Einer ist im Aussenbereich und einer in der Garage angebracht. Eine weitere Verlängerungsleitung führt von dieser Steckdose in den Nebenraum mit unbekanntem Zweck.

Abbildungen der Installation sind im Abb. 21 auf Seite 292 zu finden.

20.3.4. Lampen

Nachfolgend wird eine Zusammenstellung der in den Räumen verwendeten Leuchtmittel präsentiert. Alle Lampen sind funktionsfähig, mit Ausnahme des Leuchters im *Klavierzimmer*, in dem die drei lateralen Fassungen leer gelassen wurden. Alle Fassungen sind vom Typ Lampenfassung Edison 14 (E27).

Zimmer	Fassungen	$P_{aktuell}$/W	Bemerkung
Kleine Küche	1	ca. 60	
Treppe 2	1	1 x 4.5	bereits LED
Kaminzimmer	4	3 x 50 & 1 x ∼75	mittleres Leuchtmittel geschätzt
Zimmer 1	3	2 x 60 & 1 x 11	11 W = Energiesparlampe
Foyer	2	2 x 54	
Aussen	1	60	geschätzt
Klavierzimmer	4	1 x 60	
Bibliothek	1	1 x 54	
Gesamt	17	∼700	

Tabelle 20.2.: Leuchtmittel pro Zimmer im untersuchten Bereich des nördlichen Stromkreises des EG

20.3.5. Datierung

Die Installation ist, wie üblich, über die Jahrezehnte ergänzt und verändert worden. Daher ist ein einzige Datierung nicht zielführend. Beginnend kann die Frage nach dem Jahr der Erstinstallation gestellt werden. Davon ausgehend, dass die sichtbare Leitungsführung auf Isolatoren aus der Bauzeit der Installation stammt, so darf ein Datierung spätestens in den 1930er Jahren angenommen werden. Zu dieser Pha-

Abbildung 20.10.: Loser Isolator oben rechts (*Klavierzimmer* Juni 2024)

se gehört der Porzellanschalter im *Foyer* (siehe Abb. 19a auf Seite 290). Die Wanddurchbrüche deuten auf ein Erstellungsjahr nach der Errichtung des Castellos und Fassung der Wände, d.h. nach 1906 hin.

Eine zweite Phase mit Erneuerung der meisten Schalter kann anhand der bekannten Fabrikate und Typen zwischen 1946 und den 1970er Jahren angenommen werden. Die Steckdose im *Kaminzimmer* war wahrscheinlich auch Teil dieser Modernisierung. Einzig der Schalter in der Bibliothek (Abb. 21a auf Seite 292) wurde später ergänzt.

Die nicht mehr in Betrieb befindliche Telefonleitung im Stahlrohr ist mutmasslich ebenfalls eine Nachkriegsergänzung.

20.4. Zustand

Die nachfolgende Zustandsbeurteilung beschäftigt sich im Gegensatz zur gewohnten restauratorischen Zustandsbeurteilung nur mit Schäden oder Degradationen, wenn die Funktion oder die Sicherheit der Elektroinstallation beeinträchtigt oder eine Beeinträchtigung mittelfristig zu befürchten ist.

Abbildung 20.11.: Leitungsunterbruch behoben mit Schraubklemme

20.4.1. Leitungen und Isolatoren

- Die Leitungen und Isolatoren sind teils sehr stark verschmutzt (siehe u.a. Abb. 14 auf Seite 284). Es sind eine schwarz-braune Schicht (zunehmend Richtung Küche/Süden) auf allen Bauteilen (möglicherweise Russ) und biogene Verunreinigungen durch Spinnen und Spinnweben festzustellen. Im Zusammenspiel mit Feuchtigkeit kann dies zu unerwünschtem Stromfluss führen, was wiederum die Betriebssicherheit beeinträchtigt.
- Die Textilisolierung scheint zum überwiegenden Teil intakt zu sein.
- Teilweise sind die Leitungen mit selbstklebendem Isolierband umwickelt, was sich stellenweise ablöst.
- Die Isolatoren und die Befestigung der Leitungen sind intakt. Ein einzelner Isolator hat sich durch das Fehlen der Befestigungsschraube abgelöst (siehe Abb. 20.10).
- Im *Kaminzimmer* wurde der Unterbruch einer Leitung mit einer Lüsterklemme behoben.
- Die meisten Befestigungsschrauben der Isolatoren und die Briden inklusive der Schrauben zeigen Korrosion. Ob dies funktionsrelevant ist, muss noch geprüft werden. Ein schnelles Fortschreiten ist auf Grund der klimatischen Bedingungen kurz- bis mittelfristig nicht zu befürchten.

Fehlerströme

Die anlässlich der Bestandsaufnahme ausgeschaltete Sicherung 4 im Dachgeschoss löste beim Einschalten den zugehörigen Fehlerstromschalter (FI) Nr. 4 aus. Bei der Fehlersuche mit einem hinzugezogenen Elektriker am 4. Juli 2024 ist zu Tage getreten, dass sowohl der EG-, als auch der Apartment-Stromkreis Auslöser dieses Problem sind. In einem ersten Schritt wurde letzterer näher untersucht. Um eine Eingrenzung des Fehlers vornehmen zu können, wurde im einem der hinteren Zimmern die Leitung getrennt. Dies jedoch nicht zu Behebung geführt, so dass der Fehler im vorderen Bereich vermutet werden muss. Eine Isolationsmessung gegen Erde ergab einen Widerstand von 28 kΩ, was deutlich unter den von der NIN geforderten 500 kΩ liegt. Der fliessende Fehlerstrom berechnet sich wie folgt:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230\,\mathrm{V}}{28\,\mathrm{k\Omega}} = 8.2\,\mathrm{mA} \tag{20.1}$$

Der Fehlerstrom I liegt sehr nahe am Bemessungsdifferenzstroms des RCD von $I_n = 10\,\mathrm{mA}$ und kann auf Grund der Toleranzen des RCD[9] bereits hinreichend für dessen Abschalten sein. Es wird vermutet, dass die Summe vieler kleiner Fehlerströme, etwa durch erhöhte Materialfeuchtigkeit und Verunreinigungen zum Abschalten führte. Zusätzlich ist der FI mit 10 mA sehr empfindlich. In Hausinstallationen werden daher RCDs mit 30 mA empfohlen, um Fehlauslösungen zu vermeiden.

Trotz intensive Suche im Apartment-Stromkreis konnte der Fehler nicht isolieren werden, so dass der gesamte Stromkreis hinter LS 4 vorläufig abgeschaltet wurde.

20.4.2. Schalter

Alle Schalter sind funktionstüchtig. Es wurden keine mechanischen Beschädigungen festgestellt. Die notwendigen Ausbrüche für die Leitungseinführungen sind klein genug, um das Berühren stromführender Teile im Inneren zu verhindern.

Beurteilung

Im vorliegenden Fall des Castellos Trefogli sind der stark mangelhafte Berührungs- und Brandschutz anzumerken. Die Textilisolierungen sind alt und der vollständige Zustand nicht bekannt. Hinzu kommt, dass sich die Isolationswirkung bei ansteigender Luftfeuchtigkeit stark verschlechtern kann.

[9] Werden die erlaubten Abweichungen des Auslösestroms berücksichtigt, so kann der RCD zwischen 3.5 mA und 14 mA auslösen [3]

20.5. Erhaltungskonzept

Obwohl der Fokus auf den *Klavierzimmer* liegt und nur dessen Elektrik in einem ersten Schritt erhalten werden soll, so ist es sinnvoll, den restlichen Stromkreis «Castello Trefogli Nord» in die Überlegungen mit einzubeziehen um das Konzept mit vergleichsweise wenig Aufwand auf mehrere Zimmer, wenn nicht den gesamten Stromkreis, skalieren zu können.

20.5.1. Variante 1: Erneuerung der Leitungen

Wie bereits in Kapitel 14 auf Seite 175 erwähnt, ist die Isolation der vorhandenen, textilummantelten Leitungen fragwürdig und leistet nicht mehr den notwendigen Berührungsschutz.

Ein Ersatz durch neue Leitungen mit PVC-Isolierung wäre eine Möglichkeit, den Schutz wiederherzustellen. Am nächsten an den Ursprungszustand kämen dabei Einzeladern, welche nur einfach isoliert sind, um die ursprünglichen Durchmesser nachzubilden. Vorbehaltlich der Verfügbarkeit auch optisch passender Leitungen wäre dies technisch vertretbar. Ein Austausch der Leitungen bedeutet auch einen Austausch der Befestigung mit Draht am Isolator. Diese originalen Zeugnisse vergangener Handwerkskunst würden dadurch zerstört. Von der eigentlichen Installation an der Decke blieben dann nur noch die Isolatoren erhalten. Der Verlust grosser Teile der historischen Substanz sprechen gegen diese Variante.

Alternativ könnte in Erwägung gezogen werden, die originalen Leitungen funktionslos zu belassen und - möglichst verdeckt - neue Mantelleitungen zu installieren. Um eine Störung des Gesamteindrucks zu vermeiden, müssten diese Unterputz verlegt werden. Dies ist ohne eine Beschädigung der gefassten, originalen Wandoberfläche jedoch nicht möglich.

20.5.2. Variante 2: Schutz durch Kleinspannung

Die Gefährlichkeit des elektrischen Stroms für den Körper nimmt mit sinkender Spannung ab. Aus diesem Grund sind «Schwachstromanlagen mit Betriebsspannungen von $\leq$50 V AC bzw. $\leq$120 V DC und Betriebsströmen von $\leq$2 A» [4, Absatz 1.1.1.2a] von den Bestimmungen der NIN ausgenommen. Mit einer Kleinspannung in diesen Bereichen könnte die Anlage gefahrlos mit nur geringfügigen Änderungen betrieben werden (mehr dazu im weiteren Text).

Der Stromkreis des nördliche EG umfasst 17 Leuchtmittel mit derzeit $\sim$700 W Leistung. Die elektrische Leistung berechnet sich wie folgt:

$$P = U \cdot I \tag{20.2}$$

Bei maximal möglichen $U = 50\,\text{V}$ und $I = 2\,\text{A}$ ergibt sich eine maximale Leistung von $P = 100\,\text{W}$, was deutlich unter der derzeitigen von ~700 W liegt. Um die Installation mit Kleinspannung betreiben zu können, ist also eine Reduktion der Leistungsaufnahme notwendig.

Dies kann einerseits durch die Reduktion der Anzahl der Leuchtmittel und andererseits durch Leuchmittel mit geringerer Leistungsaufnahme erfolgen. Da die meisten Leuchmittel im Moment noch Glühlampen sind, wäre eine Reduktion durch den Austausch gegen LED-Leuchtmittel möglich. Wählt man vereinfacht 6 W pro Leuchtmittel, resultiert dies in folgender Gesamtleistung:

$$P_{LED} = 17 \cdot 6\,\text{W} = 102\,\text{W} \tag{20.3}$$

Die 2 W überzähliger Leistung würde nur gebraucht, wenn alle Lampen gleichzeitig eingeschaltet wären, was nicht dem angenommen Normalbetrieb entspricht. Mit einer entsprechenden Absicherung auf 2 A wäre es möglich, ein Anstieg des Stroms über diesen Betrag hinaus zu verhindern und damit die Grenze der NIN nicht zu überschreiten. In diesem Fall würde das Netzteil abriegeln und alle Lampen ausschalten.

Leider sind keine Light emitting diode (LED)-Lampen mit 50 V-Nennspannung und einem E27-Gewinde[10] im Handel verfügbar. Selbst bei 48 V ist das Angebot stark begrenzt. Sinnvoller scheint daher eine Spannung von 24 V, wofür eine grosse Anzahl an «Glühlampen» zu annehmbaren Preisen verfügbar sind.

Leider wird durch die Reduktion der Spannung auf 24 V die zur Verfügung stehende Gesamtleistung praktisch halbiert:

$$P_{gesamt} = 24\,\text{V} \cdot 2\,\text{A} = 48\,\text{W} \tag{20.4}$$

Eine weitere Reduktion der Leistungsaufnahme der Leuchtmittel ist nicht mehr möglich. Als Lösungswege bleiben damit nur, entweder

1. weniger Räume versorgen oder
2. eine Erhöhung der Stromstärke.

Während Punkt 1 problemlos möglich ist, hat er den Nachteil, dass eben nicht die gesamte historische Installation zukunftstauglich und sicher gemacht werden kann. Ist dies weiterhin das Ziel, müsste die Installation unterteilt werden, was zusätzliche Leitungen und eine aufwendigere Installation nach sich zöge.

Um den Leistungsverlust durch die geringere Spannung zu kompensieren, müsste die Stromstärke auf

[10] https://de.wikipedia.org/wiki/Lampensockel

$$I = \frac{P}{U}$$
$$I_{24V} = \frac{102\,\mathrm{W}}{24\,\mathrm{V}} = 4.25\,\mathrm{A} \tag{20.5}$$

erhöht werden.

Die Erhöhung der Stromstärke (Punkt 2) hat zur Folge, dass die Installation wieder unter die NIN fällt und eine Prüfpflicht[11] entsteht. Da die Spannung aber weiterhin eine Kleinspannung ist, entfallen alle Anforderungen zum Berührungsschutz. Dies ist in der [4, Abs. 4.1.4] im Absatz «Schutz durch Kleinspannung: SELV und PELV» ausgeführt: "Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) ist erreicht, wenn ... die Bemessungsspannung ... 50 V AC oder 120 V DC ... nicht überschreiten kann-[4, Absatz 4.1.4.2] und wenn ein zertifiziertes SELV-Netzteil zum Einsatz kommt. Diese Stromquellen sind in [4, Abs. 4.1.4.3] näher spezifiziert. Die Erfüllung weiterer, im Kapitel 4.1.4 aufgeführter Kriterien ist im Castello Trefogli ebenfalls gewährleistet.

Abbildung 20.12.: 5 Geregelte Stromversorgung, Ausgang: DC 24 V/5 A, Foto: Siemens

Durch die Erhöhung der maximalen Stromstärke auf z.B. 5 A werden jedoch die Anforderungen an den Brandschutz tangiert. Zum einen muss die Leitung gegen Überlast (z.B. Kurzschluss) gesichert werden, zum anderen ist eine Isolationsprüfung notwendig. Nach NIN [4, Absatz 6.1.3.3.2, Tabelle 3] wird ein Widerstand von $\geq$0.5 MΩ bei 250 V Messgleichspannung gefordert.

Um letzteres Kriterium zu erfüllen, könnte eine Reinigung der Leitungen und Isolatoren notwendig werden, sowie etwaige kleinere Anpassungen. Die auf Isolatoren geführten Leitungen sollten damit einen ausreichenden Isolationswiderstand aufweisen, da sie über einen genügend grossen Abstand zueinander verfügen. Dies gilt unter Umständen nicht für die Steigleitungen im Bergmannrohr, wenn auch mit geringer Wahrscheinlichkeit. Hier kann eine Aussage erst mit einer Isolationsmessung getätigt werden. Sollten die Leitungen die Prüfung nicht bestehen, müssten sie ersetzt werden. Da sie verdeckt und grösstenteils durch gerade Rohre verlaufen, wird vergleichsweise wenig Aufwand erwartet.

[11] periodischer Kontrolle, SiNa, [5]

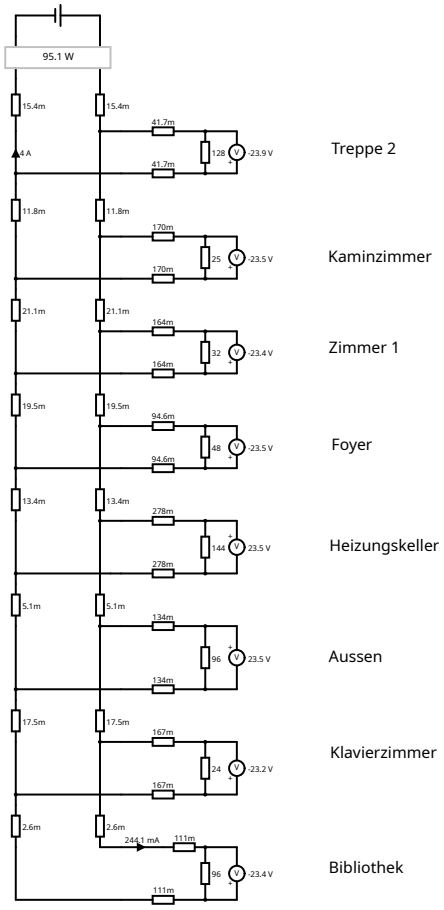


Abbildung 20.13.: Berechnung des Spannungsabfalls

Ein Netzteil, was sowohl SELV-zertifiziert ist und über den notwendigen Überlastschutz verfügt bei gleichzeitiger Bereitstellung von 24 V bei 5 A ist das Siemens SITOP PSU200M - 6EP1333-3BA10[12] (Abb. 20.12 auf der vorherigen Seite). Der Einbau erfolgt im bereits vorhanden Sicherungskasten im 1. OG, entsprechendes Platzangebot vorausgesetzt.

Leitungsverluste

Durch den elektrischen Widerstand erwärmt der fliessende Strom die Leitung und führt zu einem Spannungsabfall. Diese Verlustleistung P_V errechnet sich mit Hilfe des materialabhängigen spezifischen Widerstands ϱ des Leiters (Abschnitt 20.5.2):

[12] https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6EP1333-3BA10

$$R_{Leitung} = \varrho \frac{l_K}{q} \tag{20.6}$$

$$P_V = R\,I^2 \tag{20.7}$$

$$= \varrho \frac{l_K\,P^2}{q\,U^2} \tag{20.8}$$

$$= \varrho \frac{l_K\,I^2}{q} \tag{20.9}$$

Der elektrische Strom geht in die Verlustleistung mit seinem Quadrat ein, hat also einen grossen Einfluss. Eine Verdoppelung des Stroms vervierfacht die Verlustleistung. Um abschätzen zu können, ob die Verlustleistung und der Spannungsabfall zu gross werden, ist eine überschlägige Berechnung notwendig.

Auf Basis der ungefähren Leitungslängen (siehe Abb. 20.2 auf Seite 243) und der Leistung der Leuchtmittel können die Leitungswiderstände bestimmt und der Spannungsabfall berechnet werden. Dafür werden die Daten (Listing 1 auf Seite 292) in den Falstad-Simulator[13] eingegeben (siehe Abb. 20.13)

Wie die Abbildung zeigt, sind die Leitungsverluste auf der Hauptleitung auf Grund ihres grösseren Querschnittes sehr gering und werden durch die einzelnen Lampenleitungen übertroffen. Der grösste Spannungsabfall ist im *Klavierzimmer* zu beobachten (−0.8 V). Die LED-Leuchtmittel können mit diesem geringen Spannungsabfall problemlos betrieben werden[14]. Das dimmbare LED-Leuchtmittel von «Paulmann» reduziert bei geringerer Spannung die Helligkeit, während bei alle anderen bei gleichbleibender Helligkeit und damit Leistung der aufgenommene Strom entsprechend Gleichung (20.2) auf Seite 255 steigt.

Die Verlustleistung werden mit Abschnitt 20.5.2 berechnet. Sie betragen auf der Hauptleitung ($q_H = 3.45\,\mathrm{mm}^2$) rund 0.083 W m^{-1} und auf den Lampenleitungen ($q_L = 0.64\,\mathrm{mm}^2$) maximal rund 0.028 W m^{-1}. Beide Werte sind so niedrig, dass eine signifikante Erwärmung der Leitung nicht zu erwarten ist.

Schutz bei Kurzschluss

Um eine übermässige Erwärmung der Leitung im Kurzschlussfall zu verhindern, schreibt die NIN 2020, [4, 4.3.4.5.2, S. 336] vor, dass

$$k^2 S^2 \tag{20.10}$$

[13] `https://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html`

[14] Getestet mit diesen Leuchtmitteln: Paulmann 330028741 (Lampenfassung Edison 14 (E14), 2W), Bailey 145610 (E27, 6 W), Osram/Ledvance 4099854040467 (E27, 9 W), Osram/Ledvance 4099854040368 (E27, 6.5 W)

grösser als der vom Hersteller angegebene Wert der Durchlassenergie I^2t der Schutzeinrichtung (hier Bestandteil der Siemens SITOP Stromversorgung) sein muss. Dabei ist

- t Kurzschlussdauer in s
- S Leiterquerschnitt in mm^2
- I wirksamer Kurzschlussstrom in A
- k Faktor aus [4, 4.3.3 Tabelle 1, S. 337]. Für Querschnitte unter $< 10\,\mathrm{mm}^2$ sind keine Werte definiert, ebensowenig wie für historische Isolationsmaterialien. Daher wird für alle weiteren Berechnungen der kleinste Wert in der Tabelle gewählt: $k = 15$

Siemens weist für den maximalen I^2t-Wert $1.7\,\mathrm{A}^2\,\mathrm{s}$ aus[6, S. 1], s.a. Abschnitt H auf Seite 300. Der Vergleich mit Gleichung (20.10) auf der vorherigen Seite ergibt

$$k^2S^2 = (15\sqrt{s}\mathrm{A\,mm}^{-2})^2 \cdot (0.64\,\mathrm{mm}^2)^2 = 92.16\,\mathrm{A}^2\,\mathrm{s} \gg 1.7\,\mathrm{A}^2\,\mathrm{s}, \tag{20.11}$$

womit die Ansprechzeit der Schutzeinrichtung sehr deutlich im sicheren Bereich liegt.

Auch eine Berechnung der instationären Erwärmung in Kapitel 11 auf Seite 141 bestätigt dieses Ergebnis.

Periodische Kontrolle

Die Durchführung einer periodischen Kontrolle in einer 24 V-"SELV-Installation unterscheidet sich prinzipiell nicht von der in einer Niederspannungsanlage.

Zusätzlich zur Sichtkontrolle sollte eine Isolationsmessung durchgeführt werden. Zur Vorbereitung ist es notwendig, allfällige Schraubverbindungen zu prüfen und festzuziehen. Alle elektronischen und elektrischen Geräte inklusive der Stromversorgung müssen aus dem Stromkreis entfernt werden. Nur wenn das mit angemessenem Aufwand möglich ist, kann die Messung durchgeführt werden.

Ist das nicht möglich, sollte geprüft werden, ob durch Teilen des Stromkreises prüfbare Unterstromkreise geschaffen werden können. Die ermittelten Isolationswiderstände sind dann anhand des der Kirchhoffschen Regeln und der Regeln für parallele und serielle Widerstände zu einem Gesamtwiderstand zu verrechnen.

Es wird derart geprüft, dass alle Unter-Stromkreise mitgetestet werden, d.h. Lichtschalter etc. sind einzuschalten.

Vorteile

Die Umstellung auf SELV von 24 V ermöglicht den Erhalt aller Schalter, Leitungen und Lampen ohne Umbauten oder Leitungsverlegungen jeglicher Art. Das ist sowohl

ökologisch, als auch ökonomisch und sichert das technische Kulturgut. Weiterhin schützt der vollständige Verzicht auf Umbauten den originalen Wandaufbau und die Fassung vor Beschädigung.

Nachteile

Leider können mit dieser Lösung die vorhandenen Steckdose nicht weiterbetrieben und keine neuen Steckdosen an diesem Stromkreis installiert werden. Ob dies auch auf die über andere Wege verbunden Steckdosen im *Kaminzimmer* und *Zimmer 1* gilt, wird noch eruiert.

Ebenfalls nicht weiterverwendbar sind die zwei Lampen im Aussenbereich, welche durch Bewegungsmelder gesteuert sind. Es existieren jedoch günstige Lösungen auf Basis von Kleinspannung oder solarbetrieben.

Kosten

Die Kosten für die Umstellung werden nachfolgend grob geschätzt. Abhängig von der konkreten Umsetzung können die echten Kosten abweichen. Nicht geschätzt werden können die Kosten für eine Umstellung der vorhandenen oder die allfällige Installation neuer Steckdosen.

Nr.	Person	Händler	Artikelnr.	Anzahl	Preis	Gesamt
1	Siemens SITOP 24V/5A	conrad	510195 - AW	1	CHF 159.07	CHF 159.07
2	LED (Osram E27 6.5W)	conrad	2866586 - AW	17	CHF 5.92	CHF 100.64
3	Verbrauchsartikel diverse			1	CHF 50.00	CHF 50.00
4	Inbetriebnahme Elektriker inkl. SiNa (geschätzt)			1	CHF 150.00	CHF 150.00
	Ersatz Wandlampe mit Bewegungssteuerung:					
5	Homematic IP Bewegungsmelder HmIP-SMO-2	ELV	156203	1	CHF 68.63	CHF 68.63
6	Homematic IP Smart Home Schaltplatine HmIP-PCBS	ELV	150776	1	CHF 30.00	CHF 30.00
7	Lampe antik	?		1	?	?
	Gesamt					CHF 558.34
	Mwst.					CHF 45.23
	Total inkl. MwSt. ohne Versand					CHF 603.57

Tabelle 20.3.: Geschätzte Kosten der Umstellung auf Kleinspannung

20.5.3. Wahl der Variante

Beiden Varianten haben Nachteile. Setzt man als oberstes Ziel den möglichst vollständige Erhalt der historischen Substanz, so ist Variante 2 eindeutig zu favorisieren. Auch in Hinblick auf den zu erwartenden Aufwand kann diese Variante überzeugen. Einzig der Wegfall der Steckdosen und der Ersatz der modernen Aussenbeleuchtung sind auf der Negativseite zu verbuchen. Dafür existieren jedoch Lösungen, welche durchaus annehmbar sind.

Es wird daher die Variante 2 (SELV/Kleinspannung mit erhöhter Stromstärke $\geq$2 A) zur Umsetzung empfohlen.

20.5.4. Weitere Arbeiten

Wie schon in Abschnitt 20.5.2 auf Seite 257 beschrieben, ist eine sorgfältige Reinigung der Leitungen und Isolatoren notwendig. Allgemeine gilt für Isolatoren und Leitung, dass eine Reinigung der Verfärbungen aus Gründen der Funktionssicherheit nicht notwendig ist. Um die Anforderungen an den Isolationswiderstand zu erfüllen, muss die Oberfläche der Isolatoren und Tüllen möglichst frei von Verunreinigungen sein. Die Prozellanisolatoren sind annähernd chemisch inert und robust gegen mechanische Beschädigungen. Eine feuchte Reinigung, eventuell unter Zusatz von Tensiden, sollte ausreichend sein. Auch die Leitungen müssen von allen aufliegenden Verschmutzungen befreit werden, damit kein Stromfluss zur anderen Leiter oder der Wand möglich ist. Dabei ist darauf zu achten, dass die mechanische Belastung möglichst gering gehalten wird.

Weiterhin sollte loses Isolierband entfernt[15] oder ersetzt und der lose Isolator (Abb. 20.10 auf Seite 252) befestigt werden.

[15] Das Isolierband dient nur dem Berührungsschutz, der durch die Umstellung auf Kleinspannung nicht mehr notwendig ist

Literatur

[1] *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Sondernummer zur Feier des 50-jährigen Bestehens des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke* 1. Sep. 1945 (siehe S. 241).

[2] D. Gugerli, *Zur Elektrifizierung der Schweiz 1880–1914* (Redeströme), ger. Zürich: Chronos Verlag, 1996, ISBN: 978-3-905311-91-4 (siehe S. 242).

[3] Fluke Corporation. «Testen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit Installationstestern der Serie 1650B.» (2009), Adresse: https://www.recom.ch/shop/DBFiles/Anwendungsbericht_1650B_FI_11545-ger-01-A.pdf (siehe S. 254).

[4] Electrosuisse, *NIN 2020 NIBT, Niederspannungs-Installationsnorm, SN 411000:-2020 de*, 2020 (siehe S. 255, 257, 259, 260).

[5] Der Schweizerische Bundesrat, *Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV), SR 734.27*, 2024. Adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2002/22/de (siehe S. 257).

[6] Siemens. «Datenblatt SITOP PSU200M/1-2AC/DC24V/5A (6EP1333-3BA10).» (ca. 2024), Adresse: https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatasheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D6EP1333-3BA10%26language%3Dde (besucht am 13. 10. 2024) (siehe S. 260).

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Textstellen und Materialien wie z.B. Abbildungen, Grafiken, Tabellen etc., die nicht von mir stammen, sind als Zitate gekennzeichnet und mit dem genauen Hinweis auf ihre Herkunft versehen.

Ich übertrage der Berner Fachhochschule BFH, Hochschule der Künste Bern HKB, und dem Fachbereich Konservierung und Restaurierung das einfache Nutzungsrecht, um Kopien der Arbeit herzustellen und zu verbreiten.

20. Mai 2025

André Lison

Abbildungsverzeichnis

1.2 Moderne Installation in denkmalgeschütztem Privathaus, Berner Oberland, Foto: André Lison 2022 5
1.3 Kabelkanal in historischen, mutmasslich mittelalterlichen Täfer gefräst, 2020, Foto: André Lison 2020 5
1.4 Moderne Steckdose in historischem Täfer verbaut, Cuort Ligia Grischa, 2016, Foto: André Lison 2016 6

3.1 Brand in der Telefonzentrale 16
3.2 Kumulierte Kapazitäten schweizerischer Kraftwerke nach System, Quelle: „Zur Elektrifizierung der Schweiz 1880–1914“ 1996 [16] aus [11] 18
3.3 Briefkopf des Kander-Elektrizitätswerks im Besitz der „Motor“-AG 1900, PTT-Archiv Bern, Foto: André Lison 2024 18
3.4 Beleuchtung anlässlich der Lichtwoche 1932 19
3.5 Entwicklung der Produktion elektrischer Energie und Verbreitung elektrischer Endgeräte in den Jahren 1910-1980 20
3.6 Sicherheits- und Qualitätszeichen 1960, verliehen vom SEV [14] . . 21
3.7 Prüfbericht des SEV für eine Handkreissäge, 1980, Foto: André Lison 2024 22

4.1 Sonnerie-/Klingeltaster aus Holz mit Fassungsresten, Produktionsjahr ca. 1935, Durchmesser ca. 4 cm, St. Johanns-Vorstadt Basel, Foto: André Lison 2024 31
4.2 Stecker, wahlweise in schwarzem Isoliermaterial (J) und weissem Galalith (W) erhältlich, links aus „Katalog Adolf Feller“ 1925, rechts Objekt aus dem Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024 32
4.3 Glasierter Porzellandrehschalter mit aufwendiger Fassung und Knebel aus Hartgummi. Bollier/Feller ca. 1909, Feller-Archiv Horgen, Foto: André Lison 2024 33
4.4 Sockel („Gehäuse“) eines Drehschalters aus Steatit. Feller 7100 [11, S. 11], Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024 34
4.5 Verwendung von Metall an Schaltern, Fotos: André Lison 2024 . . . 35
4.6 3-polige Unterputzsteckdose mit Glasplatte. Unter der Glasplatte sind noch Reste der Tapete zu finden. Hrst. Feller, ca. 1925-1933, Feller-Archiv, Foto: André Lison 2024 36
4.7 Übersicht Kunststoffe, „Tabellenbuch für die Elektrotechnik“ 1949[21] 37

4.8 Drehschalter aus Duroplast, Hrst. Feller, ab 1946, Foto: André Lison 2024 . . . 38
4.9 Feller FFF Programm-Neuheit, Feller-Katalog 1975[32], Feller-Archiv 39
4.10 Verschiedene Bedienkonzepte, Fotos soweit nicht anders vermerkt: André Lison 2024 . . . 43
4.11 Drehschalter Unteransicht, ca. 1915, Foto: André Lison 2024 . . . 44
4.12 Geöffneter Kippschalter als Momentschalter in den zwei möglichen Stellungen (links offen, rechts geschlossen), whs. englisches oder amerikanisches Fabrikat aus Anfang des 20. Jh., Durchmesser Sockel ∼7 cm, Villa Langmatt Baden, Foto: André Lison 2024 . . . 45
4.13 Stromdieb aus Porzellan für E27-Gewinde, Hersteller Gardy, Foto: André Lison 2024 . . . 46
4.14 Steckkontaktbilder: Übersicht über die in SNV 24503 definierten Kontaktformen für bis zu 250 V, „Gardy, Catalogue № 160“ 1933 [12] 47
4.16 Type 26 „Eurostecker“ ab 1972, Foto: André Lison . . . 47
4.15 Auszug aus Norm SEV 1011.1959[27] . . . 48
4.17 Steckdosen der Norm 1011.1959, links Feller, rechts Xamax, Foto: André Lison 2024 . . . 48
4.18 Unterputz-Kipphebelschalter, Villa Langmatt, Baden, Foto: André Lison 2024 . . . 50
4.19 Aufputz-Kipphebelschalter und -taster mit Unterputz-Leitungsführung, Villa Langmatt, Baden, Foto: André Lison 2024 . . . 51
4.20 Montage auf Sockel/Unterlagscheibe . . . 52
4.21 Gardy Halbunterputzmontage, „Gardy, Catalogue № 160“ 1933 . . . 52
4.22 FLF-Apparate, Fotos: André Lison 2024 . . . 52
4.23 Hersteller-Identifikation, Fotos: André Lison 2022-2024 . . . 53

5.1 Motorinstallation mit mehradrigen Kabeln auf Isolierrollen. Quelle: „Die Verwendung der Elektromotoren für gewerbliche Zwecke“ 1894 [1, Fig. 10] . . . 60
5.2 Bemessung der Leitung, Querschnittsreihe (Ausschnitt). Quelle: „Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen“ 1909 [5, S. 14] . . . 61
5.3 Verseilung eines Drahtes. Quelle: „Handbuch der Elektrotechnik“ 1904 [4, S. 116] . . . 62
5.4 Gummibandleitung im Aussenbereich. Abgewitterter Baumwollbeflechtung legt Kautschukband frei. Davos Schatzalp, Foto: André Lison 2024 . . . 63
5.5 Flexible Gummiaderleitung mit stark degradierter Isolierung. Sichtbar ist als unterste Lage die Umspinnung, dann das daraufliegende Kautschuk in kleinen, hellen Stücken, darauf die abdichtende Bitumenmasse und die abschliessende Umflechtung mit whs. Glanzgarn. Foto: André Lison 2024 . . . 64

5.6 Längsschnitt durch eine gelbe Gummiaderleitung, ca. 1936, Foto: André Lison 2024 65
5.7 Querschnitt durch eine gelbe Gummiaderleitung mit entfernter Kupferader, ca. 1936, Foto: André Lison 2024 66
5.8 Querschnitt durch eine weisse, textilummantelte Leitung; Alter unbekannt; Joos Huus Valendas/GR, Foto: André Lison 2024 67
5.9 Überblick über Leitungstypen und Installationsrohre. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1950 [15, S. 82] 68
5.10 Leitung mit Armierung durch spiralförmige Eisenbänder. Alter unbekannt. Ehemalige Reithalle Thun, Foto: André Lison 2024 69
5.11 Werbung der Isolawerke für Soflex-PVC-Kabel 1965. Quelle: ETH e-periodica aus «Bulletin des SEV» 1965 [21, S. 6] 72
5.12 Thermoplastische Isolierung mit Beschädigung an einer Ader, Leitung stammt aus Zeit 1965-1980, Foto: André Lison 2024 74

6.1 Sehr frühe Verlegeform mit unisolierten Leitern. Quelle: „The history of electric wiring“ 1957 [24, S. 205] 80
6.2 Verlegung in Holzleisten, auf Isolier- und Klemmrollen. Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ 1922 [6, S. 59] 80
6.3 Verschieden grosse Isolierrollen, Foto: André Lison 2024 81
6.4 Holzdübel mit Abdruck von und Löchern für Isolierrollen (r) und Wanddurchführung mit Isolierpfeifen aus Porzellan (l). Berghotel Schatzalp Davos, Foto: André Lison 2024 82
6.5 Isolierglocken an gebogenen Deckenstützen. Ehemaliges Kühlhaus Berlin, Bj 1901[36], Isolatoren whs. nicht bauzeitlich, Foto: André Lison 2024 82
6.7 Die Abbildung zeigt, «wie diese Bindungen kunstgerecht hergestellt werden». Oben: Kopfbund, Unten: Halsbund. Quelle: „Die Elektrizität“ 1898 [1, S. 113] 83
6.6 Kellerisolator mit Wassertropfen-abhaltendem Dach. Quelle: [7] . . 83
6.8 Kreuzbund, Vorder- und Rückseite (links, rechts). Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ 1922 [6, S. 61] 85
6.9 Verschiedene Verlegungsarten nebeneinander. V.l.n.r. Rohrdraht, Isolierrollen, in Holzleisten, auf Klemmen, Kuhlo-Rohrdraht, Bergmannrohr. Quelle: Museum Eckernförde, Elektrosammlung Wesnigk 86
6.10 Panzerrohr in Abzweigdose geschraubt. Durchmesser Abzweigdose ca.6 cm. Villa Langmatt Baden, Februar 2024 87
6.11 Bergmannrohr mit 2 einadrigen Leitungen. Gut zu erkennen ist die Papierisolation und der Falz des Blechmantels. Quelle: Wikipedia, Foto: Andreas Gortan - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, `https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=131271544` . . 88

6.12 Bögen und Dosen für das Bergmannsystem, G.E.C. 1892. Quelle: „The history of electric wiring“ 1957 [24] 89
6.13 Bergmannrohre Detailaufnahmen, Löwenplatz Baden, Fotos: André Lison 2020 90
6.14 Bergmannrohr kunstvoll an Gewölbe angepasst, mit Winkeln und Muffen, im Hintergrund eine offene Installation auf Porzellanrollen. Casa Desax, Trun, Foto: André Lison 2024 91
6.15 Zwei Rohrbiegezangen für Bergmannrohre. Beide Zangen sind für 16 mm Rohre, haben allerdings unterschiedliche Biegeradien. Foto: André Lison 2024 92
6.16 Flexibles Isolierrohr, mutmasslich ”Kopex”, Durchmesser 20 mm, Wohnhaus Graubünden, ca. 1950, Foto: André Lison 2024 92
6.17 Rohrdraht. Quelle: „Siemens Handbuch - Elektrische Installationen für Licht und Kraft“ 1922 [6, S. 83] 93
6.18 Cortaillod Pyrotenax: «Flachgehämmerter Leiter. Trotz der sehr starken Verformung sind die Leiter untereinander und gegen den äu’seren Mantel isoliert». Quelle: „Schweizer Baukatalog 1951/52“ 1952 [21, S. 776] 94
6.19 Siemens Peschel-Rohr. Quelle: „Siemens Peschelrohr“ 1939 [14] . . 95
6.20 Dätwyler produzierte in den 1960er Jahren sowohl traditionelle, als auch neue, thermoplastische Installationsrohre. Quelle: Bulletin des SEV 1962[26] 97
6.21 «Brüstungskanal mit Feller-Steckdose 10 A / 220 V und Feller-Telephonsteckdose»[27, S. 26], Quelle: „Feller Katalog“ 1964 99
6.22 Holzdübel und Einlasskasten. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1936 [11, S. 115] 100
6.23 Stahldübel. Quelle: „Elektrizität und Bauen“ 1936 [11, S. 154] . . . 100
6.24 Grosser Holzdübel mit Duroplast-Drehschalter ab 1946. Holzdübel zeigt noch Abdrücke eines früher dort befestigten Apparats, Berghotel Schatzalp, Foto: André Lison 2024 102

7.1 Chronologie der Politik, der Hersteller und des Materials 108
7.2 Chronologie der Apparate, des Installationsmaterials und der Leitungen 109

9.1 Einfacher Stromkreis, geöffnet. Es fliesst kein Strom. 118
9.2 Einfacher Stromkreis, geschlossen. Es fliesst ein Strom. 118
9.3 Serienschaltung zweier Widerstände 120
9.4 Parallelschaltung zweier Widerstände 120
9.5 Drehstromgenerator Rheinfelden 1900 123
9.6 Sternschaltung im Drehstromsystem, Bild: Curtis Newton, Wikipedia, CC BY-SA 2.0 de 123

10.1 Stromkreis mit Lastwiderstand R_L und Widerstand durch Fehlerstelle R_F . . . 129
10.2 Verlustleistung in Abhängigkeit vom Widerstand . . . 133
10.3 Phasen 1 – 5 der Entstehung eines seriellen Lichtbogens durch eine Leiterverengung, Quelle [5, Bild 9, S. 18] . . . 134
10.4 Verlustleistung in Abhängigkeit vom Widerstand und des sich einstellenden Stroms bei 24 V . . . 135
10.5 Stromkreis mit Lastwiderstand R_L und Widerstand durch Fehlerstelle R_F . . . 136

11.1 Wärmedurchgang durch eine Wand. Quelle: „Script Wärmelehre“ 2003 [5, S. 68] . . . 144
11.2 Temperaturentwicklung im Kurzschlussfall (I=15 A) in Abhängigkeit von der Zeit . . . 151
11.3 Testaufbau Experiment Leitertemperatur, DUT = Device under Test = getestete Leitung . . . 152
11.4 Temperaturmessung am Kabel, Fotos: André Lison 2024 . . . 153
11.5 Erwärmung eines Leiters bei 14 V und 15 A . . . 153
11.6 Thermografieaufnahme des Kabels im Experiment 3, 12:09:58, Foto: André Lison 2024 . . . 154

12.1 Lichtbogen bei 3 kV zwischen zwei Nägeln[16] . . . 159
12.2 Paschenkurve für Luft und Kupfer, aus [11, S. 46] . . . 161
12.3 Bogenspannung als Funktion der Bogenlänge, Wilhelm Rieder[4] . 162
12.4 «Static characteristic of an arc with copper electrodes. Fit curves are obtained using Andrea equation.»[15, Fig. 10] . . . 163
12.5 Lichtbogen-Zündgrenze, ermittelt auf der Basis von Kupferelektroden, grüne Markierungen zeigen den Bereich 24 V/2 A & 5 A, Quelle: Jan Zornikau/TÜV Rheinland[8]. . . . 166

13.1 Verschiedene Quecksilberschalter . . . 173

14.1 Nulleiterbrücke (grün-gelb) in geöffneter Steckdose, Castello Trefolgi, Foto: André Lison 2024 . . . 176
14.2 Schema I (TN-S), II (TN-C-S) und III (TN-C). Roter Kreis zeigt Nullungsbrücke (siehe Abb. 14.1 auf Seite 176). Quelle: „Vorschriften betreffend Erstellung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Hausinstallationen“ 1927 [2, S. 12f] . . . 177
14.3 Steckdosen, links ohne (Typ T12) und rechts mit Schutzkragen (Typ T13), Foto: André Lison 2024 . . . 179
14.4 Steckdose ohne Kragen: Berührung der Kontakte beim Einstecken möglich. Foto: André Lison, 2024 . . . 179
14.5 Degradationen, Fotos: André Lison 2024 . . . 182

14.6 Makroaufnahme einer flexiblen Gummiaderleitung für eine Zuglampe. Die kautschukummantelten Adern sind mit einem Seil zur Zugentlastung verdrillt und abschliessend mit einem Gewebe umhüllt. Die Kautschukisolation ist mehrfach gebrochen. Foto: André Lison 2024 182
14.7 Craquelé auf Bedienhebel eines Duroplast-Drehschalters, Makroaufname von Schalter in Abb. 4.8 auf Seite 38, Foto: André Lison 2024 185

16.1 Ablauf der Erstprüfung und der periodischen Kontrolle 202

17.1 Ersatzschaltbild Leitungsabschnitte, Leitungswiderstände und Isolationswiderstände. 206
17.2 Differenzstromzange Uniks CL8, Quelle: www.uniks.it 207
17.3 Ersatzschaltbild Leitungsabschnitte, Leitungswiderstände und Spannungen. 207
17.4 Ersatzschaltbild Bestimmung R_F: Leitung mit lokal erhöhtem Widerstand R_F und Leitungswiderstand R_W. 209
17.5 «Anhand der Erwärmung (weiß-rot-gelb) erkennbare, heiße Anschlussstelle und Kabelende an einem Schütz, üblicherweise aufgrund erhöhtem Übergangswiderstands am Anschluss», Von Sönke Krüll - [1], CC BY 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7425932 210
17.6 TDR: Veränderung der der Rechteckwelle als Resultat verschiedener Leiter- und Isolationsdiskontinuitäten, Quelle: Tektronix[2] 212
17.7 Die TDR-Wellenform zeigt Diskontinuitäten in einem Leiterplattenzug, Quelle: Tektronix[2] 213
17.8 Isolationsschaden zu Testzwecken, Foto: André Lison 2024 215
17.9 NanoVNA TDR: Marker 1 zeigt den Defekt bei 73.8 cm 216
17.10 NanoVNA TDR: Marker 2 zeigt den Defekt bei 1.51 m 216
17.11 NanoVNA TDR: Marker 3 zeigt das Ende der Leitung bei 2.28 m . . . 217
17.12 NanoVNA TDR: Identische Messung wie Abbildungen 17.9 bis 17.11 jedoch Window = Normal 217

19.1 http://doi.org/10.3932/ethz-a-000901932 223
19.2 Querschnitt durch das Sanatorium Schatzalp im östlichen Teil vor dem heutigen Eingang, Blick Richtung Westen, Quelle: ETH e-periodica, ursprünglich [7] 224
19.3 Sanatorium Schatzalp Horizontalschnitt EG, 1902, Quelle: ETH e-periodica, ursprünglich [7] 224
19.4 Zweier-Zimmer [3], Quelle: ETH e-pics 226
19.5 Schatzalpbahn in Davos [1] aus [2] 227
19.9 Kombination mit starken Gebrauchsspuren, Unterputz, whs. Feller 1950-1960, Berghotel Schatzalp, Foto: André Lison 2024 228
19.6 Deckenuhr Siemens-Halske, Foto: André Lison 2024 229

19.7 Antrieb und Steuerung Aufzug, Foto: André Lison 2024 229
19.8 Signalisation, Fotos: André Lison 2024 230
19.10 Bauzeitliche Aufnahme des Laubengangs mit Auslegerlampen (rechts oben), Blick Richtung Westen, Quelle: ETH e-pics 231
19.11 Lage und Leitungslängen für die Aussenbeleuchtung im EG Berghotel Schatzalp (rot markiert), Quelle Horizontalschnitt: `https://www.schatzalp.ch/rundgang/` 232
19.12 Berghotel Schatzalp, Südfassade, mittlerer Laubengang, Leitungsführung, Fotos: André Lison 2024 232
19.13 Geöffnete Abzweigdose im westlichen Laubengang, Foto: André Lison 2024 233
19.14 Nulleiter-Sockel mit Nulleiterstöpsel von Gardy, ähnlich denen von der Schatzalp. ca. 1920, Foto: André Lison 2024 234
19.15 Einfaches Modell zur Berechnung des Spannungsabfalls 235
19.16 Erweitertes Modell zur Berechnung des Spannungsabfalls 237
19.17 Davos Berghotel Schatzalp, Laubengang, mittlerer Bereich Blick Richtung Osten, Auslegerlampen leuchten nach Umstellung auf 24 V, Foto: André Lison 2024 238

20.1 Sicherungskasten im Dachgeschoss (Nov 2023), Foto: André Lison . 242
20.2 Skizze des Erdgeschosses (Ausschnitt, grob massstäblich) Castello Trefogli mit Schema der Elektroinstallation (Mai 2024) 243
20.3 Leitungsführung über Porzellanisolatoren, Fotos: André Lison 2024 244
20.4 Offene Leitungsführung an der Decke mit Steigleitung im Bergmannrohr, Foto: André Lison 2023 245
20.5 Elektroinstallation an der Westseite des *Klavierzimmers* (Juni 2024), Foto: André Lison 247
20.7 Nicht mehr in Betrieb befindliche Installation unter *Treppe 1* (Juni 2024), Foto: André Lison 248
20.6 Elektroinstallation im *Foyer* (Juni 2024), Foto: André Lison 249
20.8 Beleuchtung *Foyer* (Mai 2024), Foto: André Lison 250
20.9 Elektroinstallation *Bibliothek* (Mai 2024), Foto: André Lison 250
20.10 Loser Isolator oben rechts (*Klavierzimmer* Juni 2024) 252
20.11 Leitungsunterbruch behoben mit Schraubklemme 253
20.12 5 Geregelte Stromversorgung, Ausgang: DC 24 V/5 A, Foto: Siemens 257
20.13 Berechnung des Spannungsabfalls 258
14 Wanddurchbrüche I, Fotos: André Lison 2024 284
15 Wanddurchbrüche II, Fotos: André Lison 2023/2024 285
16 Schalter *Treppe 2*, Fotos: André Lison 2024 287
17 Elektroinstallation *Kaminzimmer*, Fotos: André Lison 2024 288
18 Elektroinstallation *Raum 1*, Fotos: André Lison 2024 289
19 Schalter *Foyer*, Fotos: André Lison 2024 290
20 Schalter *Klavierzimmer*, Fotos: André Lison 2024 291
21 Schalter *Bibliothek*, Fotos: André Lison 2024 292

Tabellenverzeichnis

9.1 Kategorisierung der elektrischen Energie anhand ihrer Spannung . . 121
9.2 Kategorisierung nach der Frequenz 124

10.1 Verlustleistung in Abhängigkeit von R_L und R_F 131

11.1 Erwartete stationäre Leitungstemperaturen für die beiden vorgefundenen Leitungstypen bei Nennstrom und Kurzschluss 149
11.2 Ermittlung von τ aus den Messdaten 155

19.1 Länge und Widerstände der Lampenzuleitungen 237

20.1 Leiter- und Leitungsquerschnitte 246
20.2 Leuchtmittel pro Zimmer im untersuchten Bereich des nördlichen Stromkreises des EG 251
20.3 Geschätzte Kosten der Umstellung auf Kleinspannung 262

Listings

1. Quellcode für Abb. 20.13 auf Seite 258 292
2. Falstad-Simulation des Spannungsabfalls im Hotel Schatzalp/Davos 295
3. heating.py zur Kalkulation der Leitertemperatur 296
4. Berechnung des kritischen Bereichs des Übergangswiderstands . . . 298

Akronyme

AC Alternating Current 124
AEG Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft 15, 17, 28
AFDD Arc fault detection device 159, 167, 178, 199
ASEV Association Suisse des Electriciens 247

BASF Badischen Anilin- & Sodafabrik 70
BAZ Baugeschichtliches Archiv Zürich 16, 19
BBC Brown, Boveri & Cie. 15, 18
bfu Beratungsstelle für Unfallverhütung 114
BKW Bernische Kraftwerke AG 20, 23

CEE Commission Internationale de Réglementation en vue de l'Approbation de l'Equipement Electrique 95
CENELEC Comité Européen de Normalisation Électrotechnique 21, 113

DC Direct Current 124, 137
DUT Device under test 152, 153, 213, 271

E14 Lampenfassung Edison 14 259
E27 Lampenfassung Edison 14 251, 256, 259
EKZ Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich 21
ESTI Eidgenössisches Starkstrominspektorat 17, 114, 192
EWB Elektrizitätswerk Basel 19
EWZ Elektrizitätswerk der Stadt Zürich 21, 23

FDR Frequency domain reflectometry 210–212
FFF Funktion, Form, Farbe 38, 39, 268
FI Fehlerstromschalter 254
FLF Flansch mit Federbefestigung vi, 38, 52, 53, 268

G.E.C. General Electric Company 89, 270

HV Hausinstallationsvorschriften 21–23, 44, 49, 53, 73, 80, 81, 83, 84, 178

IEC Internationale Elektrotechnische Kommission 113
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers 7, 163
IFFT Inverse Fast Fourier Transform 211

KIR Kunststoff-Installationsrohr 96

LED Light emitting diode 256, 259
LS Leitungsschutzschalter 129, 130, 136, 142, 176, 243, 244, 254

MF Melamin-Formaldehyd-Harze 184
MFO Maschinenfabrik Oerlikon 15

NIN Niederspannungs-Installations-Norm 23, 113, 192, 195–197, 201, 202, 205, 254–257
NIV Niederspannungs-Installations-Verordnung 113, 114, 192, 195, 241
NOK Nordostschweizerische Kraftwerke AG 20
NZZ Neue Zürcher Zeitung 27, 71

PAK Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe 171, 172
PBT Polybutylenterephthalat 40
PC/ASA Polycarbonat und Acrylnitril-Styrol-Acrylat 40
PCB Polychlorierte Biphenyle 171
PE
  Polyethylen 71, 73
  Protective Earth 73, 96, 159, 176, 178, 192, 193, 244, 248
PE-LD Polyethylen Low Density 95
PEN Protective Earth & Neutral 248
PF Phenol-Formaldehyd-Harze 184
PIR Passive infrared sensor 249
PVC Polyvinylchlorid 70, 71, 73, 95, 96, 172, 181, 183–185, 255

RCD Residual Current operated Circuit-Breaker 128, 178, 243, 254

SELV Secure extra low voltage iv, viii, 121, 193, 195, 196, 201, 257, 258, 260, 263
SEV Schweizerischer Elektrotechnischer Verein 16, 17, 21, 22, 30, 47, 73, 80, 149, 267
SHAB Schweizerisches Handelsamtsblatt 89
SNV Schweizerische Normen-Vereinigung 113

TDR Time domain reflectometry 210–213
TN-C Terre neutre combiné, kombinierte neutrale Erde 177, 178, 271
TN-C-S Terre neutre combiné séparé, separate kombinierte neutrale Erde 177, 178, 271
TN-S Terre neutre séparé, separate neutrale Erde 177, 271

UV Ultraviolettes Licht 73

VNA Vector Network Analyzer 211
VOP Velocity of propagation 213
VSE Verband schweizerischer Elektrizitätsunternehmen 16

Appendices

A. Mail Prof. Dr. Christof Bucher

Betreff: AW: Störlichbögen bei 24V
Von: Bucher Christof [redacted]
Datum: 06.11.2024, 07:19
An: Lison André [redacted]

Guten Tag Herr Lison

Merci für die Anfrage. Ich teile Ihre Einschätzung: Ein Lichtbogen ist bei 24V praktisch ausgeschlossen. Zudem würde ich behaupten, dass ein Lichtbogen bei 24V in der Realität nicht stabil brennen kann. Eine Gefahr sehe ich wenn schon bei schlechten Kontakten, die sich erwärmen können. Wenn die Verbraucher bei den historischen Installationen die gleichen bleiben, werden die Ströme ja um Faktor 10 zunehmen. Das birgt neue Risiken, kaum aber im Bereich der Lichtbögen.

Leider kenne ich jedoch keine AFDDs ausserhalb der Wechselrichter. Und die in den Wechselrichtern arbeiten, wie Sie korrekt schreiben, bei deutlich höheren Spannungen.

Freundliche Grüsse
Christof Bucher

Berner Fachhochschule / Haute école spécialisée bernoise
Departement Technik und Informatik
Dr. Christof Bucher
Professor für Photovoltaiksysteme

[redacted]
www.bfh.ch/pvlab

-----Ursprüngliche Nachricht-----
Von: Lison André [redacted]
Gesendet: Dienstag, 5. November 2024 16:40
An: Bucher Christof [redacted]
Betreff: Störlichbögen bei 24V

Guten Tag Herr Bucher

Ich bin Teilzeitstudent der Restaurierung/Konservierung an der BFH und schreibe gerade an meiner Masterarbeit. Ich bin darüber hinaus auch Dipl.-Ing. (FH) Mikroelektronik. Mein MA-Thema ist der Erhalt historischer Elektroinstallationen.

Eine Strategie zum Erhalt historischer Installationen ist die Umstellung der Beleuchtung auf SELV (safety extra low voltage), in meinem Fall auf 24V DC. Ich schaue die erarbeiteten Lösungen regelmässig mit Electrosuisse an und es dabei die Frage aufgekommen, ob bei dieser Spannung (Stör-)Lichtbögen möglich sind und ob es eventuell Schutz durch AFDDs gibt. Auf Basis der Paschenkurve bin ich der Meinung, dass das Zünden eines Lichtbogens bei 24V ausgesprochen unwahrscheinlich ist. Sollte es jedoch tatsächlich zur Zündung kommen, so könnte er bei dieser Spannung dauerhaft brennen.

Sie haben sich im Rahmen Ihres Forschungsprojekts "Brandprävention an PV-Anlagen mit Lichtbogendetektoren" mit Lichtbögen beschäftigt, wenn auch, wie ich annehme, bei deutlich höheren Spannungen.

Wie ist Ihre Einschätzung der Möglichkeit eines Störlichtbogens im beschriebenen Umfeld? Können Sie mir vielleicht Literatur empfehlen oder kennen Sie eventuell AFDDs für Kleinspannung?

Vielen Dank im Voraus!

Freundliche Grüsse
André Lison
[redacted]

B. Wanddurchführungen

(a) *Treppe 2*: Durchführung in das 1. OG und das *Kaminzimmer*

(b) *Kaminzimmer*: Zuleitung von *Treppe 2*

(c) *Kaminzimmer*: Zuführung in das *Zimmer 1*: Wanddurchburch mit Porzellantüllen, Telefonltg. r.

(d) *Zimmer 1*: Zuleitung aus *Kaminzimmer*

(e) Zuführung aus *Zimmer 1* in das *Foyer*: Wanddurchburch mit Porzellantüllen

(f) Zuleitung aus *Zimmer 1*: Löcher erkennbar, Kabel grössenteils eingegipst/eingemauert, Telefonltg. l. (*Foyer*)

Abbildung 14.: Wanddurchbrüche I, Fotos: André Lison 2024

(a) Zuführung aus dem Foyer in das Klavierzimmer: Wanddurchburch mit Porzellantüllen (*Foyer*)

(b) Zuleitung aus dem Foyer: Wanddurchburch mit Porzellantüllen (*Klavierzimmer*)

(c) Abzweigung in die *Bibliothek*: Wanddurchburch mit Porzellantüllen (*Klavierzimmer*)

(d) Zuleitung aus dem *Klavierzimmer*: Wanddurchburch hinter Porzellanverteiler

Abbildung 15.: Wanddurchbrüche II, Fotos: André Lison 2023/2024

C. Schalter und Steckdosen

(a) Schalter links

(b) Schalter rechts

(c) Schalter links, geöffnet

(d) Schalter rechts, geöffnet

(e) Schalter links, Abdeckung von innen

(f) Schalter rechts, Abdeckung von innen

Abbildung 16.: Schalter *Treppe 2*, Fotos: André Lison 2024

(a) Lichtschalter

(b) Lichtschalter, geöffnet

(c) Lichtschalter Abdeckung

(d) Steckdose

(e) Steckdose, geöffnet

(f) Steckdose, Abdeckung innen

Abbildung 17.: Elektroinstallation *Kaminzimmer*, Fotos: André Lison 2024

(a) Lichtschalter

(b) Lichtschalter, geöffnet

Abbildung 18.: Elektroinstallation *Raum 1*, Fotos: André Lison 2024

(a) Lichtschalter 1

(b) Lichtschalter 2

(c) Lichtschalter 1, geöffnet

(d) Lichtschalter 2, geöffnet

(e) Lichtschalter 1, innen

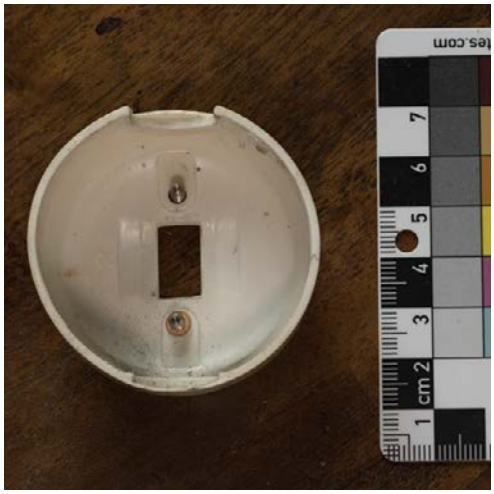
(f) Lichtschalter 2, innen

Abbildung 19.: Schalter *Foyer*, Fotos: André Lison 2024

(a) Lichtschalter

(b) Lichtschalter, geöffnet

(c) Lichtschalter, geöffnet



(d) Lichtschalter, Deckel innen

Abbildung 20.: Schalter *Klavierzimmer*, Fotos: André Lison 2024

(a) Lichtschalter

(b) Lichtschalter, geöffnet. Der Schalter ist neueren Baujahres, Befestigungslöcher und runder Abdruck des vorherigen Schalters sind sichtbar

Abbildung 21.: Schalter *Bibliothek*, Fotos: André Lison 2024

D. Falstad input Castello Trefogli

```
$ 4 0.00000499999999999996 0.14549914146182014 31 5 50 5e-11
v 384 0 512 0 0 0 40 24 0 0 0.5
r 384 96 384 176 0 0.0154
r 512 96 512 176 0 0.0154
w 384 240 544 240 0
w 512 176 544 176 0
r 544 176 672 176 0 0.0417
r 544 240 672 240 0 0.0417
r 672 240 672 176 0 128
w 512 176 512 256 0
w 384 240 384 256 0
r 384 256 384 336 0 0.0118
r 512 256 512 336 0 0.0118
w 384 336 384 400 0
w 384 400 544 400 0
w 512 336 544 336 0
r 544 336 672 336 0 0.17
r 544 400 672 400 0 0.17
r 672 400 672 336 0 25
w 512 336 512 416 0
w 384 400 384 416 0
r 384 416 384 480 0 0.0211
```

```
r 512 416 512 480 0 0.0211
w 384 480 384 544 0
w 512 480 544 480 0
w 384 544 544 544 0
r 544 480 672 480 0 0.164
r 544 544 672 544 0 0.164
r 672 480 672 544 0 32
w 512 480 512 560 0
w 384 544 384 560 0
x 864 210 958 213 4 24 Treppe\s2
x 859 374 1004 377 4 24 Kaminzimmer
x 860 513 960 516 4 24 Zimmer\s1
r 384 560 384 624 0 0.0195
r 512 560 512 624 0 0.0195
w 384 624 384 688 0
w 512 624 544 624 0
w 384 688 544 688 0
w 512 624 512 704 0
w 384 688 384 704 0
r 544 624 672 624 0 0.0946
r 544 688 672 688 0 0.0946
r 672 624 672 688 0 48
r 384 1040 384 1104 0 0.0175
r 512 1040 512 1104 0 0.0175
w 384 1104 384 1184 0
w 384 1184 544 1184 0
w 512 1104 544 1104 0
r 544 1104 672 1104 0 0.167
r 544 1184 672 1184 0 0.167
r 672 1184 672 1104 0 24
w 512 1104 512 1200 0
w 384 1184 384 1200 0
x 864 660 925 663 4 24 Foyer
x 862 1128 1013 1131 4 24 Klavierzimmer
r 384 1200 384 1264 0 0.00257
r 512 1200 512 1264 0 0.00257
w 512 1264 544 1264 0
w 384 1264 384 1344 0
w 384 1344 544 1344 0
r 608 1264 672 1264 0 0.111
r 544 1344 672 1344 0 0.111
r 672 1264 672 1344 0 96
x 860 1303 963 1306 4 24 Bibliothek
w 672 176 720 176 0
```

```
w 672 240 720 240 0
w 672 336 720 336 0
w 672 400 720 400 0
w 672 480 720 480 0
w 672 544 720 544 0
w 672 624 720 624 0
w 672 688 720 688 0
w 672 1104 720 1104 0
w 672 1184 720 1184 0
w 672 1264 720 1264 0
w 672 1344 720 1344 0
p 720 1344 720 1264 3 0 0
p 720 1184 720 1104 3 0 0
p 720 688 720 624 3 0 0
p 720 544 720 480 3 0 0
p 720 400 720 336 3 0 0
p 720 240 720 176 3 0 0
r 384 704 384 768 0 0.0134
r 512 704 512 768 0 0.0134
w 384 768 384 848 0
w 384 848 528 848 0
w 512 768 544 768 0
w 528 848 544 848 0
r 544 768 672 768 0 0.278
r 544 848 672 848 0 0.278
r 672 768 672 848 0 144
w 672 768 720 768 0
w 672 848 720 848 0
w 512 768 512 864 0
w 384 848 384 864 0
r 384 864 384 928 0 0.00514
r 512 864 512 928 0 0.00514
w 512 928 544 928 0
w 384 928 384 1024 0
w 384 1024 544 1024 0
r 544 928 672 928 0 0.134
r 544 1024 672 1024 0 0.134
r 672 928 672 1024 0 96
w 512 928 512 1040 0
w 384 1024 384 1040 0
w 672 928 720 928 0
w 672 1024 720 1024 0
p 720 768 720 848 3 0 0
p 720 928 720 1024 3 0 0
```

```
x 861 814 1017 817 4 24 Heizungskeller
x 860 982 939 985 4 24 Aussen
370 384 240 384 176 1 0 0
420 384 32 384 96 0 128
w 384 0 384 32 0
w 512 0 512 32 0
370 544 1264 608 1264 1 0 0
```

Listing 1: Quellcode für Abb. 20.13 auf Seite 258

E. Falstad input Berghotel Schatzalp

```
$ 1 0.000005 10.20027730826997 50 5 50 5e-11
v 288 208 288 352 0 0 40 24 0 0 0.5
r 288 208 496 208 0 0.214
r 288 352 496 352 0 0.214
r 496 208 496 352 0 64
r 496 208 672 208 0 0.131
r 496 352 672 352 0 0.131
r 672 208 672 352 0 64
r 672 208 848 208 0 0.225
r 672 352 848 352 0 0.225
r 848 208 848 352 0 64
r 848 208 1024 208 0 0.083
r 848 352 1024 352 0 0.083
r 1024 208 1024 352 0 64
r 1024 208 1216 208 0 0.083
r 1024 352 1216 352 0 0.083
r 1216 208 1216 352 0 64
r 1216 208 1392 208 0 0.131
r 1216 352 1392 352 0 0.131
r 1392 208 1392 352 0 64
w 1392 208 1472 208 0
w 1392 352 1472 352 0
p 1472 208 1472 352 3 0 0
w 672 352 720 304 0
w 672 208 720 240 0
p 720 240 720 304 3 0 0
```

Listing 2: Falstad-Simulation des Spannungsabfalls im Hotel Schatzalp/Davos

F. Berechnung Leitertemperatur

```
import math
from scipy.optimize import fixed_point

t0 = 30   # temperature in C
t0K = t0 + 273.15  # temperature in K
Voltage = 24.0  # in Volt
Current = 14.73  # in Ampere
HeatTransfer = 4  # Wm-2K-1
# HeatTransfer = 12  # Wm-2K-1

DiameterInclIsolation = 4e-3  # in meter
DiameterWOIsolation = 2  # in millimeter

DensityAvg = 1.4  # g cm-3
CuResistivity20C = 0.0178  #
StefanBoltzmannConstant = 5.67e-8  # Wm-2K-4
EmissivityCotton = 0.98
# EmissivityCotton = 0.771

def calc_alpha_a():
    alpha_a = EmissivityCotton * StefanBoltzmannConstant * 4 *
        math.pow(t0K, 3) + HeatTransfer
    return alpha_a


def combined_function(temp):
    resistivity = calc_spec_resistivity(temp)
    return calc_temp(resistivity)


# Calculate the specific resistance
# of copper for a temperature
def calc_spec_resistivity(t):
    resistivity = CuResistivity20C * (1 + 3.9e-3 * (t - t0))
    print(f"Resistivity: {resistivity}")
    return resistivity


#
# Calculates the time constant tau
#
def calc_tau(spec_cap, density):
```

```
42      # we calculate in mm, so we need to convert diameter --> 1e3
43      # the first 1e3 is the result of converting spec_mass/cm^-3 and
            alpha_a/m^-2 to mm^x
44      return (spec_cap * density * 1e3 * math.pi *
            math.pow(DiameterInclIsolation * 1e3 / 2, 2)) / \
45          (calc_alpha_a() * math.pi * DiameterInclIsolation * 1e3)
46
47
48  # Calculate the final temperature of
49  # a copper wire when augmented with
50  # a certain current.
51  # param resistivity The used resistivity of the copper wire
52  def calc_temp(resistivity):
53      # Define the second equation g(y) = x
54      power = Voltage * Current
55      areaWire = math.pi * math.pow(DiameterWOIsolation / 2, 2)
56      nenner = resistivity
57      zaehler = math.pi * calc_alpha_a() * DiameterInclIsolation *
            areaWire * math.pow(Voltage, 2)
58
59      factor = nenner / zaehler
60      deltaT = factor * math.pow(power, 2)
61      return deltaT + t0
62
63
64  # Initial guess for x
65  initial_guess = t0
66
67
68  # Find the fixed point using scipy's solver
69  alpha_a = calc_alpha_a()
70  print(f"alpha_a={alpha_a}")
71  res = calc_spec_resistivity(t0)
72  print(f"Initial: resistivity = {res} at temp {t0}")
73  result = fixed_point(combined_function, initial_guess)
74  res = calc_spec_resistivity(result)
75  print(f"Fixed point found: t = {result} leading to resistivity {res}")
76  time_constant = calc_tau(1.1562, DensityAvg)
77  print(f"tau= {time_constant}")
```

Listing 3: heating.py zur Kalkulation der Leitertemperatur

G. Berechnung Kritischer Bereich

```
import math
import scipy.optimize as opt

UI_data = [
    [230, 16],
    [230, 13],
    [230, 10],
    [120, 5],
    [48, 7],
    [48, 5],
    [48, 2],
    [24, 7],
    [24, 5],
    [24, 2.5],
    [24, 2],
    [12, 5],
    [12, 2],
]


def calc_r_uebergang(u, max_power, r_l):
    t1 = math.pow(u, 2) - 2 * max_power * r_l
    inside_root = pow(u, 4) - 4 * max_power * r_l * math.pow(u, 2)
    if inside_root < 0:
        return [float('inf'), float('inf')]
    t2 = math.sqrt(inside_root)
    return [(t1 - t2) / (2 * max_power), (t1 + t2) / (2 * max_power)]


def calc_current(u, r_l, r_f):
    if r_l + r_f == 0:
        return 1e12
    return u / (r_l + r_f)


# Lastwiderstand R_L, Spannung, P_grenz, Ziel-Stromstaerke, take
    lower (0) or upper (1) value for optimization
def combined_function(r_l, u, p_grenz, target, lowerUpper):
    r_s = calc_r_uebergang(u, p_grenz, r_l)
    return abs(calc_current(u, r_l, r_s[lowerUpper]) - target)


```

```
42 def format(number, rounding):
43     if number == float('inf') or number != number:
44         return ""
45     if rounding > 0:
46         number = round(number, rounding)
47     return f"{number}"
48 
49 pgrenz = 50  # Watt
50 print("Spannung,Absicherung,RL,Rlower,Rupper,Delta,Klow,Khigh,Pmax,Pmaxs")
51 for values in UI_data:
52     U_ = values[0]
53     I_ = values[1]
54 
55     result = opt.minimize_scalar(combined_function, args=(U_, pgrenz,
           I_, 0))
56     optimized_r_l_0 = result.x
57     r_f_value_0 = calc_r_uebergang(U_, pgrenz, optimized_r_l_0)
58     delta = r_f_value_0[1] - r_f_value_0[0]
59     klow = U_ / I_
60     khigh = pow(U_, 2)/pgrenz
61     Pmaxs = U_ * I_
62     Pmax = math.nan
63     if khigh < klow:
64         klow = math.nan
65         khigh = math.nan
66         optimized_r_l_0 = math.nan
67 
68     if r_f_value_0[0] == r_f_value_0[1]:
69         r_f_value_0 = (math.nan, math.nan)
70     else:
71         IatMax = U_ / (2 * optimized_r_l_0)  # at maximum of graph
               R_L == R_F!
72         Pmax = (U_ / 2) * IatMax
73 
74 
75     print(f"{U_},{I_},{format(optimized_r_l_0,␣
           3)},{format(r_f_value_0[0],␣3)},{format(r_f_value_0[1],␣
           3)},{format(delta,␣1)},{format(klow,1)},{format(khigh,␣
           1)},{format(Pmax,␣3)},{format(Pmaxs,␣1)}")
```

Listing 4: Berechnung des kritischen Bereichs des Übergangswiderstands

H. Siemens PSU200M Datenblatt

SIEMENS

Datenblatt **6EP1333-3BA10**

SITOP PSU200M/1-2AC/DC24V/5A

SITOP PSU200M 5 A Geregelte Stromversorgung Eingang: AC 120/230-500 V Ausgang: DC 24 V/5 A

Eingang	
Form des Stromnetzwerks	1- und 2-phasig AC
Versorgungsspannung bei AC	Einstellung durch Umschalter am Gerät; Anlauf ab Ue > 90/180 V
Versorgungsspannung 1 bei AC	120 ... 230 V
Versorgungsspannung 2 bei AC	230 ... 500 V
Eingangsspannung 1 bei AC	85 ... 264 V
Eingangsspannung 2 bei AC	176 ... 550 V
Weitbereichseingang	Ja
Überlastfähigkeit bei Überspannung	1300 Vpeak, 1,3 ms
Überbrückungszeit bei Nennwert des Ausgangsstroms bei Netzausfall minimal	25 ms
Betriebsbedingung der Netzausfallüberbrückung	bei Ue = 120/230 V, typ. 150 ms bei Ue = 400 V
Netzfrequenz	50/60 Hz
Netzfrequenz	47 ... 63 Hz
Eingangsstrom	
● bei Nennwert der Eingangsspannung 120 V	2,2 A
● bei Nennwert der Eingangsspannung 230 V	1,2 A
● bei Nennwert der Eingangsspannung 500 V	0,61 A
Strombegrenzung des Einschaltstroms bei 25 °C maximal	35 A
I2t-Wert maximal	1,7 $A^2 \cdot s$
Ausführung der Absicherung	T 3,15 A (nicht zugänglich)
Ausführung der Absicherung in der Netzzuleitung	empfohlener LS-Schalter bei einphasigem Betrieb: ab 6 A (10 A) Charakteristik C (B); erforderlich bei zweiphasigem Betrieb: LS-Schalter zweipolig gekoppelt oder Leistungsschalter 3RV2011-1EA10 (Einstellung 3,8 A) oder 3RV2711-1ED10 (UL 489) bei 230 V; 3RV2011-1DA10 (Einstellung 3 A) oder 3RV2711-1DD10 (UL 489) bei 400/500 V
Ausgang	
Kurvenform der Spannung am Ausgang	geregelte, potentialfreie Gleichspannung
Ausgangsspannung bei DC Nennwert	24 V
Ausgangsspannung	
● am Ausgang 1 bei DC Nennwert	24 V
Ausgangsspannung ist einstellbar	Ja; über Potentiometer
einstellbare Ausgangsspannung	24 ... 28,8 V
relative Gesamttoleranz der Spannung	3 %
relative Regelgenauigkeit der Ausgangsspannung	
● bei langsamer Schwankung der Eingangsspannung	0,1 %
● bei langsamer Schwankung der ohmschen Last	0,1 %
Restwelligkeit	
● maximal	50 mV
Spannungsspitze	
● maximal	200 mV

Änderungen vorbehalten
© Copyright Siemens

Ausführung der Anzeige für Normalbetrieb	LED grün für 24 V O.K.
Art des Signals am Ausgang	Relaiskontakt (Schließer, Kontaktbelastbarkeit DC 60 V/0,3 A) für 24 V O.K.
Verhalten der Ausgangsspannung bei Einschalten	Überschwingen von Ua ca. 3 %
Ansprechverzögerungszeit maximal	1 s
Spannungsanstiegszeit der Ausgangsspannung	
● typisch	50 ms
Ausgangsstrom	
● Nennwert	5 A
● Bemessungsbereich	0 ... 5 A
abgegebene Wirkleistung typisch	120 W
kurzzeitiger Überlaststrom	
● bei Kurzschluss während Betrieb typisch	15 A
Dauer der Überlastfähigkeit bei Überstrom	
● bei Kurzschluss während Betrieb	25 ms
konstanter Überlaststrom	
● bei Kurzschluss während Hochlauf typisch	6 A
Parallelschalten von Betriebsmitteln	Ja; umschaltbare Kennlinie
Anzahl der parallelgeschalteten Betriebsmittel zur Leistungserhöhung	2
Wirkungsgrad	
Wirkungsgrad [%]	88 %
Verlustleistung [W]	
● bei Nennwert der Ausgangsspannung bei Nennwert des Ausgangsstroms typisch	17 W
● bei Leerlauf maximal	4 W
Regelung	
relative Regelgenauigkeit der Ausgangsspannung bei schneller Schwankung der Eingangsspannung um +/- 15 % typisch	0,1 %
relative Regelgenauigkeit der Ausgangsspannung bei Lastsprung der ohmschen Last 50/100/50 % typisch	3 %
Ausregelzeit	
● bei Lastsprung 50 % auf 100 % typisch	2 ms
● bei Lastsprung 100 % auf 50 % typisch	2 ms
Ausregelzeit	
● maximal	5 ms
Schutz und Überwachung	
Ausführung des Überspannungsschutzes	< 35 V
Eigenschaft des Ausgangs kurzschlussfest	Ja
Ausführung des Kurzschlussschutzes	wahlweise Konstantstromkennlinie ca. 5,5 A oder speichernde Abschaltung
● typisch	6 A
Dauerkurzschlussstrom Effektivwert	
● typisch	6 A
Ausführung der Anzeige für Überlast und Kurzschluss	LED gelb für "Überlast", LED rot für "speichernde Abschaltung"
Sicherheit	
Potenzialtrennung zwischen Eingang und Ausgang	Ja
Potenzialtrennung	SELV-Ausgangsspannung Ua nach EN 60950-1 und EN 50178
Betriebsmittelschutzklasse	Klasse I
Ableitstrom	
● maximal	3,5 mA
● typisch	0,25 mA
Schutzart IP	IP20
EMV	
Norm	
● für Störaussendung	EN 55022 Klasse B
● für Netzoberwellenbegrenzung	EN 61000-3-2
● für Störfestigkeit	EN 61000-6-2
Normen, Spezifikationen, Zulassungen	
Eignungsnachweis	
● CE-Kennzeichnung	Ja
● UL-Zulassung	Ja; cULus-Listed (UL 508, CSA C22.2 No. 107.1), File E197259; cCSAus (CSA C22.2 No. 60950-1, UL 60950-1)
● CSA-Zulassung	Ja; cULus-Listed (UL 508, CSA C22.2 No. 107.1), File E197259; cCSAus (CSA

© Copyright Siemens

	C22.2 No. 60950-1, UL 60950-1)
● UKCA-Kennzeichnung	Ja
● EAC-Zulassung	Ja
● Regulatory Compliance Mark (RCM)	Ja
● NEC Class 2	Nein
● SEMI F47	Ja
Art der Zertifizierung	
● BIS	Ja; R-41183539, R-41188271
● CB-Zertifikat	Ja
MTBF bei 40 °C	1 123 973 h
Normen, Spezifikationen, Zulassungen Gefährliche Umgebungen	
Eignungsnachweis	
● IECEx	Nein
● ATEX	Nein
● ULhazloc-Zulassung	Nein
● cCSAus, Class 1, Division 2	Nein
● FM-Zulassung	Nein
Normen, Spezifikationen, Zulassungen Schiffklassifikation	
Schiffbau-Zulassung	Ja
Schiffklassifikationsgesellschaft	
● American Bureau of Shipping Europe Ltd. (ABS)	Ja
● Bureau Veritas (BV)	Nein
● Det Norske Veritas (DNV)	Ja
● Lloyds Register of Shipping (LRS)	Nein
Normen, Spezifikationen, Zulassungen Umweltproduktdeklaration	
Umweltproduktdeklaration	Ja
Treibhauspotential [CO2 eq]	
● gesamt	541,7 kg
● während Herstellung	9,5 kg
● während Betrieb	531,9 kg
● nach End of Life	0,14 kg
Umgebungsbedingungen	
Umgebungstemperatur	
● während Betrieb	-25 ... +70 °C; bei natürlicher Konvektion; Anlauf getestet ab -40 °C Nennspannung
● während Transport	-40 ... +85 °C
● während Lagerung	-40 ... +85 °C
Umweltkategorie gemäß IEC 60721	Klimaklasse 3K3, 5 ... 95% ohne Betauung
Anschlusstechnik	
Ausführung des elektrischen Anschlusses	Schraubanschluss
● am Eingang	L, N, PE: je 1 Schraubklemme für 0,2 ... 2,5 mm² ein-/feindrähtig
● am Ausgang	+, -: je 2 Schraubklemmen für 0,2 ... 2,5 mm²
● für Hilfskontakte	13, 14 (Meldesignal): je 1 Schraubklemme für 0,14 ... 1,5 mm²
Mechanische Daten	
Breite × Höhe × Tiefe des Gehäuses	70 × 125 × 121 mm
Einbaubreite × Einbauhöhe	70 mm × 225 mm
einzuhaltender Abstand	
● oben	50 mm
● unten	50 mm
● links	0 mm
● rechts	0 mm
Befestigungsart	auf Normprofilschiene EN 60715 35x7,5/15 aufschnappbar
● Hutschienenmontage	Ja
● S7-Profilschienenmontage	Nein
● Wandmontage	Nein
anreihbares Gehäuse	Ja
Nettogewicht	0,6 kg
Zubehör	
elektrisches Zubehör	Puffermodul
Weitere Informationen Internet-Links	

Änderungen vorbehalten
© Copyright Siemens

Internet-Link	
• zur Webseite: Industry Mall	https://mall.industry.siemens.com
• zur Webseite: Auswahlhilfe TIA Selection Tool	https://www.siemens.com/tstcloud
• zur Webseite: Industrielle Kommunikation	https://siemens.com/industrial-communication
• zur Webseite: CAx-Download-Manager	https://siemens.com/cax
• zur Webseite: Industry Online Support	https://support.industry.siemens.com

Zusätzliche Informationen

sonstige Hinweise	Technische Daten gelten bei Eingangsspannungs-Nennwerten und +25 °C Umgebungstemperatur (wenn nicht anders angegeben)

Securityhinweise

Securityhinweis	Siemens bietet Produkte und Lösungen mit Industrial Cybersecurity-Funktionen an, die den sicheren Betrieb von Anlagen, Systemen, Maschinen und Netzwerken unterstützen. Um Anlagen, Systeme, Maschinen und Netzwerke gegen Cyber-Bedrohungen zu sichern, ist es erforderlich, ein ganzheitliches Industrial Cybersecurity-Konzept zu implementieren (und kontinuierlich aufrechtzuerhalten), das dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Die Produkte und Lösungen von Siemens formen einen Bestandteil eines solchen Konzepts. Die Kunden sind dafür verantwortlich, unbefugten Zugriff auf ihre Anlagen, Systeme, Maschinen und Netzwerke zu verhindern. Diese Systeme, Maschinen und Komponenten sollten nur mit dem Unternehmensnetzwerk oder dem Internet verbunden werden, wenn und soweit dies notwendig ist und nur wenn entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B. Firewalls und/oder Netzwerksegmentierung) ergriffen wurden. Weiterführende Informationen zu möglichen Schutzmaßnahmen im Bereich Industrial Cybersecurity finden Sie unter www.siemens.com/cybersecurity-industry. Die Produkte und Lösungen von Siemens werden ständig weiterentwickelt, um sie noch sicherer zu machen. Siemens empfiehlt ausdrücklich, Produkt-Updates anzuwenden, sobald sie zur Verfügung stehen und immer nur die aktuellen Produktversionen zu verwenden. Die Verwendung veralteter oder nicht mehr unterstützter Versionen kann das Risiko von Cyber-Bedrohungen erhöhen. Um stets über Produkt-Updates informiert zu sein, abonnieren Sie den Siemens Industrial Cybersecurity RSS Feed unter https://www.siemens.com/cert. (V4.7)

Klassifizierungen

	Version	Klassifizierung
eClass	14	27-04-07-01
eClass	12	27-04-07-01
eClass	9.1	27-04-07-01
eClass	9	27-04-07-01
eClass	8	27-04-90-02
eClass	7.1	27-04-90-02
eClass	6	27-04-90-02
ETIM	9	EC002540
ETIM	8	EC002540
ETIM	7	EC002540
IDEA	4	4130
UNSPSC	15	39-12-10-04

Approbationen Zertifikate

allgemeine Produktzulassung

Herstellererklärung Konformitätserklärung

allgemeine Produktzulassung | Marine / Schiffbau | Umwelt

BIS CRS

letzte Änderung: 28.08.2024

Änderungen vorbehalten
© Copyright Siemens