Innenraumschaltanlage
Einführung Elektrische Anlagentechnik
433.005

Oliver Gerler
9330412

24. April 2001

Betreuender Universitätsassistent: Schmautzer
ausgestellt am: 13.11.2000

Kapitel 1

Aufgabenstellung

Projektieren Sie eine 20-kV-Innenraumschaltanlage unter Behandlung folgender Detailfragen:

1. Ermittlung des Platzbedarfs unter Berücksichtigung der Mindestabstände
2. Thermische Bemessung der Leiter
3. Auslegung und Beschreibung der hochspannungsseitigen Betriebsmittel
4. Einlinienschaltbild
5. Schematischer maßstäblicher Aufriß der Anlage
6. Beschreibung der Schutzeinrichtung für Transformatoren

Gegebenes Anlagenkonzept:

- offene Bauweise
- Sammelschienen: 2
- Anzahl der Abzweige:
  - Kabel: 8
  - Transformatoren: 4
- Bemessungsströme:
  - Kurzschlußstrom $I_k'' = 20\ kA$
  - Nennstrom $I_N = 0.6\ kA$

Bei der Projektierung sind die geltenden Vorschriften und Richtlinien zu beachten.

Kapitel 2

Ausarbeitung

2.1 Ermittlung des Platzbedarfs

Die Mindestabstände sind begründet im Schutz der Betriebsmittel und im Schutz der Personen.

Werden als Trennung Gitter und Gittertüren mit einer Höhe von 1800mm eingesetzt, so ergibt sich als Mindestabstand der Gitter von den Betriebsmitteln ein Wert von $B = 315mm$ ($B = A + 100mm$, mit $A = 215mm$ bei $U_N = 20kV$), als Mindesthöhe von unter Spannung stehenden Teilen über Gängen ein Wert von $H = 2515mm$ (siehe [EH1], §4.14, Tab.6.3, bzw. [BBC], Tab.4-13, S.162). Da Stromschienen und keine Seile verwendet werden, ist ein evtl. Durchhang nicht zu berücksichtigen.

Die Mindestgangbreite bei Innenraumanlagen (mit einer Ganglänge $>$3000 mm) mit Gittertüren beträgt (bei ein- und zweiseitiger Spannungsführung) 1000 mm (siehe [EH1], §6.3.2.1, bzw. [BBC], Tab.4.26 rechts, S.160). Um genügend Bewegungsmöglichkeit im Fluchtfalle zu haben, wird die Gangbreite bei zweiseitiger Spannungsführung mit 1500 mm festgelegt und die Schaltfeldtüren sollen in Fluchtrichtung zuschlagen.

Die Auslegung der Anlage erfolgt für zwei Sammelschienen, daraus ergeben sich (siehe [Skriptum], Z.Nr. 100/8.21, Bild 6) folgende Richtwerte für die einzelne Zelle: Zellenteilung $a = 1400mm$, Zellentiefe $b = 1900mm$, Kopftiefe $c = 2300mm$ und Raumhöhe $h = 4600mm$.

Die erforderliche Grundfläche des benötigten Raumes läßt sich aus der Zellenzahl ermitteln, wenn zugrundegelegt wird, dasz 4 Transformator- und 8 Kabel-Abzweige benötigt werden. Eine zusätzliche Zelle wird belegt durch die Sammelschienenkupplung. Durch die Anzahl der Abzweige wird es sinnvoll, Längstrenner in die Sammelschienen einzaubauen, was eine weitere Zelle belegt. Das ergibt eine Summe von 14 Zellen, die in zwei Reihen zu je 7 Zellen angeordnet werden können.

Die Rauminnenabmessungen ergeben sich dadurch in der Länge zu

$$L = 7 \cdot a + 2 \cdot b_2 = 7 \cdot 1400 + 2 \cdot 1000 = 11800 \text{ mm}$$

und in der Breite zu

$B = 2\cdot(b+2\cdot(A+100)+b_2)+b_1 = 2\cdot(1900+2\cdot 315+1000)+1500 = 8560$ mm.

Siehe dazu auch Abb. 2.2.

Zwischen Gittertüren und Betriebsmittel muß noch der Schutzvorrichtungsabstand berücksichtigt werden, der aber kleiner ist als die Differenz zwischen Kopftiefe und Zellentiefe und somit in die Abmessungen nicht mehr eingeht.

Abstand	$[mm]$
Gittertürenhöhe	1800
Schutzvorrichtungsabstand $A+100$	315
Mindesthöhe H	2515
Gangbreite (zweiseitig) b_1	1500
Gangbreite (einseitig) b_2	1000
Zellenteilung a	1400
Zellentiefe b	1900
Kopftiefe c	2300
Raumhöhe h	4600
Raumlänge L	11800
Raumbreite B	8560

Tabelle 2.1: Abstände und Abmessungen

2.2 Thermische Bemessung

Nach [BBC], Kap. 13.1.2, S.516, kann die Dauerstrombelastbarkeit von Stromschienen nach

$$I_{Dauer} = I_{Tabelle} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

berechnet werden. Dieser I_{Dauer} musz dabei größer sein als der gegebene I_N unter Berücksichtigung der Korrekturfaktoren k_1 bis k_5.

2.2.1 Berechnung der Korrekturfaktoren

Für die Berechnung gelten folgende Voraussetzungen, damit die Tabellen aus [BBC] verwendet werden können:

- umgebende Luft unbewegt (Innenraumanlage).
- blanke Stromschienen, teilweise oxidiert; der Emissionsgrad ist somit 0.35 für Al.

- DIN 43670 für Dauerstrombelastbarkeit von Al.

Pro Phase werden $n = 2$ rechteckige Al-F-10-Schienen hochkant eingebaut und bei Wechselstrom mit $f = 50Hz$ betrieben. Die Betriebstemperatur der Schienen erreiche dabei $\vartheta_s = 80$ °C bei einer Umgebungstemperatur von $\vartheta_u = 35$ °C.

Korrekturfaktor k_1 für leitfähigkeitsabhängige Belastungsänderungen

Die Berechnung von k_1 erfolgt nach [BBC], Bild 13-3, S.517. Al-F-10 besitzt nach [BBC], Tab. 13-1, S.499 eine Leitfähigkeit von $\kappa = 34\frac{m}{\Omega mm^2}$ bei 20 °C. Damit ergibt sich ein Korrekturfaktor von

$$k_1 = 0.982.$$

Korrekturfaktor k_2 für abweichende Temperaturen von Umgebungs und Stromschienen

k_2 wird aus dem Diagramm aus [BBC], Bild 13-4, S.517 abgelesen. Für $\vartheta_u = 35$ °C und $\vartheta_s = 80$ °C ergibt sich der Faktor zu

$$k_2 = 1.24.$$

Korrekturfaktor k_3 für Belastungsminderung für waagrechten Einbau der Stromschienen

Da die Stromschienen senkrecht eingebaut werden, ergibt sich keine Belastungsminderung und der Korrekturfaktor zu

$$k_3 = 1.0.$$

Korrekturfaktor k_4 für Belastungsänderungen durch Betrieb mit Wechselstrom

Dieser Faktor ergibt sich durch die geometrische Anordnung der Schienen und ihrer Abmessungen. Als Ansatz werden dabei 30x10 mm^2-Schienen gewählt, die im Abstand von 10mm zueinander und 160 mm lichtem Hauptleiterabstand montiert werden. Damit wird der lichte Abstand zu mehr als 80% des Hauptleitermittenabstand und die Parameter ergeben sich (bei stehender Montage nach [BBC], Bilder 13-5 und 13-6, S. 519f.) nach Tab. 2.2.

Daraus folgt der Parameter $\frac{b \cdot h}{a^2} = \frac{30 \cdot 30}{190^2} = 0.025$ und aus dem Diagramm läßt sich der Korrekturfaktor bestimmen zu

$$k_4 = 0.99.$$

n	2
h	30 mm
s	10 mm
b	30 mm
a	190 mm

Tabelle 2.2: Anordnung der Stromschienen für Korrekturfaktor k_4

Korrekturfaktor k_5 für Belastungsminderung ab 1000 m Seehöhe

Da die Anlage unter einer Seehöhe von 1000 m aufgestellt werden soll, wird auch dieser Korrekturfaktor zu

$$k_5 = 1.0.$$

Auswahl der entsprechenden Stromschienen

Der Dauerstrom, mit dem die Stromschienen maximal belastet werden dürfen, ergibt sich nun zu

$$\begin{aligned} I_{Dauer} &= I_{Tabelle} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = \\ &= I_{Tabelle} \cdot 0.982 \cdot 1.24 \cdot 1.0 \cdot 0.99 \cdot 1.0 = \\ &= I_{Tabelle} \cdot 1.206 \end{aligned}$$

Die unter 2.2.1 gewählte Stromschiene 30x10 mm^2 besitzt einen $I_{Tabelle} = 832A$ (siehe [BBC], Tab. 13-7, S.508) und somit einen maximalen Dauerstrom von

$$I_{Dauer} = I_{Tabelle} \cdot k = 832 \cdot 1.206 = 1003.4A.$$

Es wären auch Schienen mit einem Querschnitt von nur 40x5 mm^2 oder 20x10 mm^2 für den Dauerstrom ausreichend, diese sind aber nicht mehr für $I''_K = 20kA$ kurzschlußfest.

2.2.2 Bemessung auf thermische Kurzschlußfestigkeit

Nach [BBC], Kap. 4.2.5, S.132ff. werden Sammelschienen, Abzweige und eingebaute Betriebsmittel im Kurzschlußfall thermisch belastet. Diese Beanspruchung hängt von Größe, Dauer und zeitlichem Verlauf des Kurzschlußstromes ab.

Als thermisch wirksamen Mittelwert bezeichnet man den Kurzzeitstrom I_{th}, dessen Effektivwert die gleiche Wärmemenge erzeugt, wie der veränderliche Kurzschlußstrom während seiner Kurzschlußdauer T_k. Für einen einzelnen Kurzschlußvorgang der Dauer T_k errechnet er sich zu:

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m+n}$$

mit m, dem Gleich- und n dem Wechselstromanteil des Kurzschlußstroms.

Da nichts anderes angegeben, wird generatorferner Kurzschluß angenommen:

$$I_{th} = I_k'' = I_k = 20000A.$$

Für Geräte wird von den Herstellern der zulässige Nenn-Kurzzeitstrom $I_{th,N}$ für die Nennkurzschlußdauer $T_{k,N}$ angegeben. Das ist der Effektivwert des Stromes, dessen Wirkung das Betriebsmittel während der Dauer $T_{k,N}$ aushält.

Elektrische Betriebsmittel haben daher eine ausreichende Festigkeit, wenn gilt:

$$I_{th} \leq I_{th.N} \qquad \text{für } T_k \leq T_{k,N}$$

und

$$I_{th} \leq I_{th.N} \cdot \sqrt{\frac{T_{k,N}}{T_k}} \qquad \text{für } T_k \geq T_{k,N}.$$

Bei Leitungen rechnet man mit der thermisch wirksamen Kurzzeitstromdichte S_{th}, die kleiner sein soll, als die Nennkurzzeitstromdichte $S_{th.N}$. Diese läßt sich aus dem Diagramm ([BBC], Bild 4-9, S. 134) entnehmen. Mit der Betriebstemperatur der Schienen $\vartheta_s = \vartheta_a = 80$ °C und der maximalen Materialtemperatur im Kurzschlußfalle $\vartheta_e = 200$ °C (siehe [BBC], S.134) ergibt sich für die Nennkurzzeitstromdichte

$$S_{th,N} = 84 \ \frac{A}{mm^2}.$$

Leiter haben nun eine ausreichende thermische Festigkeit, wenn der Kurzzeitstrom I_{th} durch die Stromschiene keinen höheren Wert als $S_{th,N}$ ergibt:

$$\frac{I_{th}}{A} \leq S_{th,N} \cdot \frac{1}{\sqrt{\eta}} \cdot \sqrt{\frac{T_{k,N}}{T_k}}$$

Da es sich nicht um ein Massekabel handelt, wird $\eta = 1$ gesetzt und $T_k = T_{k,N} = 1s$ gewählt. Damit ergibt sich

$$\begin{array}{rcl} \frac{I_{th}}{A} & \leq & S_{th,N} \\ \frac{20000}{299} = 66.89 \ \frac{A}{mm^2} & \leq & 84 \ \frac{A}{mm^2}. \end{array}$$

Diese Stromschienen sind somit kurzschlußfest für einen Kurzschlußstrom von $I_k'' = 20kA$. Die unter 2.2.1 erwähnten kleineren Schienen mit 40x5 mm^2 oder 20x10 mm^2 Querschnitt würden diesen Kurzschlußfall nicht mehr aushalten, da sich eine Stromdichte $\frac{I_{th}}{A} = \frac{20000}{199} = 100.5 \ \frac{A}{mm^2}$ ergibt.

2.3 Auslegung der Betriebsmittel auf der Hochspannungsseite

2.3.1 Trennschalter

Siehe [BBC], Kap.8.1.1, S.315f.

Trennschalter sind mechanische Schaltgeräte, die beim Ausschalten eine Trennstrecke herstellen. Sie sind fähig, einen Stromkreis zu öffnen oder zu schließen, wenn entweder ein vernachlässigbar kleiner Strom geschaltet wird oder keine wesentliche Änderung der Spannung zwischen den Anschlüssen der Pole eintritt. Sie sind also Leerschaltgeräte, die die Aufgabe haben, einen Stromkreis mit genügend Isoliervermögen zuverlässig erkennbar abzutrennen.

In den Mittelspannungsanlagen bis 30 kV werden vorwiegend Kipptrennschalter verwendet, auch wenn diese gegenüber den Schubtrennschaltern eine grösere Einbautiefe benötigen. Der Kippvorgang der Trennermesser ist bezüglich des Spannungsabstandes bei der Wahl der Feldabmessungen zu berücksichtigen. Bei stehend oder hängend eingebauten Kipptrennschaltern muß verhindert werden, dasz sich die Trennmesser durch ihr Eigengewicht ungewollt bewegen.

Maßgebend für die Auswahl sind Nennspannung, Nennstrom, Nennkurzzeitstrom und Nennkurzschlußdauer, d.h. für $U_N = 20\ kV$, $I_N = 600\ A$, $I''_k = 20\ kA$.

Nach [BBC], Tab. 10-1, S.363f. gibt es genormte Werte für Trennschalter. Es wird der nächst größere Wert (hier: $U = 24\ kV$) als Auswahlgrundlage verwendet.

2.3.2 Leistungsschalter

Siehe [BBC], Kap. 8.1.6, S.320f.

Leistungsschalter sind Schaltgeräte, die in der Lage sind, sowhohl bei ungestörtem Betrieb als auch im Störungsfalle, elektrische Ströme einzuschalten, über eine festgelegte Zeit zu übertragen und wieder zu unterbrechen. In Mittelspannungsanlagen werden vorzugsweise öllose Leistungsschalter eingesetzt.

Maßgebend für die Auswahl sind Nennspannung, Nennstrom, Betriebsfrequenz, Nennausschaltleistung, Nennkurzzeitstrom, Nennkurzschlußdauer und Schalthäufigkeit, d.h. für $U_N = 20\ KV$, $I_N = 600\ A$, $f = 50\ Hz$, $I''_k = 20\ kA$, $P_{a,N} = U_N \cdot I_N = 20k \cdot 600 = 12\ MVA$.

Nach [BBC], Tab. 10-3 gibt es genormte Werte für Leistungsschalter. Es wird der nächst größere Wert (hier: $U = 34\ kV$) als Auswahlgrundlage verwendet.

2.3.3 Meßwandler

Meßwandler haben die Aufgabe, hohe Spannungen und Ströme bei niedrigem Eigenleistungsbedarf auf einheitliche und ungefährlich meßbare Werte zu transformieren. Die Spannung bzw. der Strom auf der Sekundärseite ist dabei dem primärseitigen Betriebswert bis auf die Wandlerfehler phasen- und verhältnisgleich. Stromwandler arbeiten nahezu im Kurszschluß, Spannungswandler nahezu im Leerlauf. Primär- und Sekundärseite sind fast immer galvanisch getrennt und gemäß der Betriebsspannung gegeneinander isoliert. Man unterscheidet Wandler für Meßzwecke (Nennüberstromfaktor $k_{ü} = 5..10$) und Wandler für Schutzzwecke. Sie werden nach ihrer Meßgenauigkeit in Klasen eingeteilt und entsprechend gekennzeichnet.

Maßgebend für die Auswahl sind Nennstrom, Nennspannung, Klasse, Nennleistung, Nennkurzzeitstrom, Nennkurzschlußdauer und Aufstellungsort (innen, außen), d.h. für $U_N = 20\ KV$, $I_N = 600\ A$, $I_k'' = 20\ kA$.

Es wird ein Stromwandler mit den folgenden Daten gewählt: Wandler $1000/5\ A$, $30\ VA$, Klasse 0.5, M5. Für den Spannungswandler ergibt sich: Wandler $20000/100\ V$, $20\ VA$, Klasse 0.5.

Weiters muß eine Bürde von mindestens $20\ VA$ gewählt werden, damit der Überstromfaktor im Bereich zwischen 5 und 10 zu liegen kommt: $\frac{30 \cdot 5}{20} = 7.5$

2.3.4 Überspannungsableiter

Siehe [BBC], Kap. 10.6, S.401ff.

Überspannungsableiter werden zum Schutz wichtiger Geräte und Anlagen, insbesondere von Transformatoren vor atmosphärischen Überspannungen und Schaltüberspannungen eingesetzt.

Maßgebend für die Ausswahl sind Ableiternennspannung, maximale betriebsfremquente Spannung, Schutzpegel und Energieauflösevermögen.

2.3.5 Stützer

Siehe [BBC], kap. 13.1.5, S.537f.

Stützer dienen zum Tragen blanker Leiter. Für die Wahl eines Stützers muß nicht nur das gewicht der Stromschienen bekannt sein, sondern wesentlich sind auch die Kräfte auf parallel verlaufende Sammelschienen im Kurzschlußfall, sowie Kriechwege.

Maßgebend für die Auswahl sind Nennstrom (damit Nennkraft), höchstzulässige Betriebsspannnung, Nennisolation, Einbauort, mechanischer Zug bzw. Druck (durch Gewicht), aus [BBC], Tab. 13-32, S.537 ergeben sich die Abmessungen für eine höchste zulässige Betriebsspannung von $U = 24\ kV$.

2.4 Einlinienschaltbild

In Abb. 2.1 ist das Einlinienschaltbild der konzipierten Anlage zu sehen.

Legende:

SS	Sammelschiene 40x5 mm, $U_N = 20\ kV$, $I_N = 658\ A$
TS	(Längs-) Trennschalter $U_N = 24\ kV$
LS	Leistungsschalter $U_N = 34\ kV$
I	Stromwandler $1000/5\ A$, $30\ VA$, Kl.0.5M5
U	Spannungswandler $20000/100\ V$, $20\ VA$, Kl.0.5
ETS	Erdungstrenner
Ü	Überspannungsableiter
K	Kabelabzweig
Tr	Transformatorabzweig

2.5 Schematischer Aufriß

Der schematische Aufriß in Abb. 2.2 stellt im Maßstab 1:60 einen Querschnitt durch die konzipierte Anlage dar und zeigt anschaulich ihren inneren Aufbau.

2.6 Schutzeinrichtungen für Transformatoren

Transformatoren sind zu schützen gegen Äußere und Innere Einwirkungen, siehe dazu [BBC], Kap. 12.1.6, S.475f.

2.6.1 Äußere Einwirkungen

- Atmosphärische überspannungen: Schutz des Transformators durch entsprechende Wahl von Überspannungsableitern.
- Überlastung und äußere Kurzschlüße:
  - Überstromzeitrelais erfassen Kurzschlüße und können dadurch den Leistungsschalter des entsprechenden Abzweigs ausschalten.
  - Thermorelais werden gegen unzulässige Erwärmung des Transformators eingesetzt und melden Überlast.
  - Einschaltsichere Prozent-Differentialrelais erfassen innere Kurzschlüße und Fehler. Sie lösen die zugehörigen Transformatorschutzschalter aus, sprechen aber nicht auf den Einschaltstromstoß eines gesunden Transformators an.

2.6.2 Innere Einwirkungen

- Wicklungsschutz, Windungsschutz, Erdschluß innerhalb des Kessels: Zur Erfassung innerer Wicklungsschlüße eignet sich am Besten der Differentialschutz. Differentialrelais messen dabei die ober- und unterspannungsseitigen Ströme am Transformator. Bei Überschreiten eines eingestellten Verhältnisses von Differenz- zu Durchgangsstrom beim Vergleich der Werte im Relais erteilt das Relais ein Auslösekommando an den Leistungsschalter.

- Buchholtz-Schutz: Der Buchholtz-Schutz beruht auf dem Prinzip, dasz es bei jedem Fehler in einem Transformator zu einer Gasentwicklung und Ölströmung kommt, die zu einer Strömung von oder zu einem Ausgleichsgefäß führt. Diese Strömungen werden im Buchholtz-Relais erfaßt und führen zur Abschaltung.

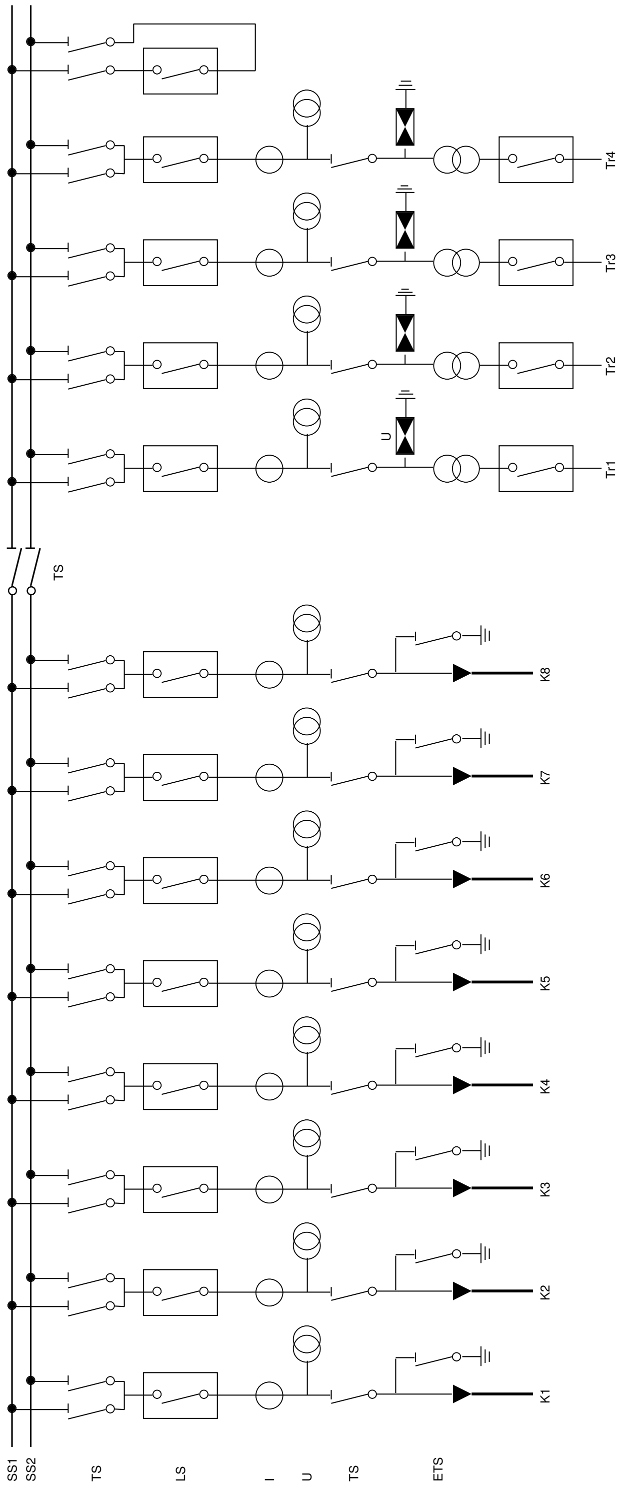

Abbildung 2.1: Einlinienschaltbild mit Längstrennung

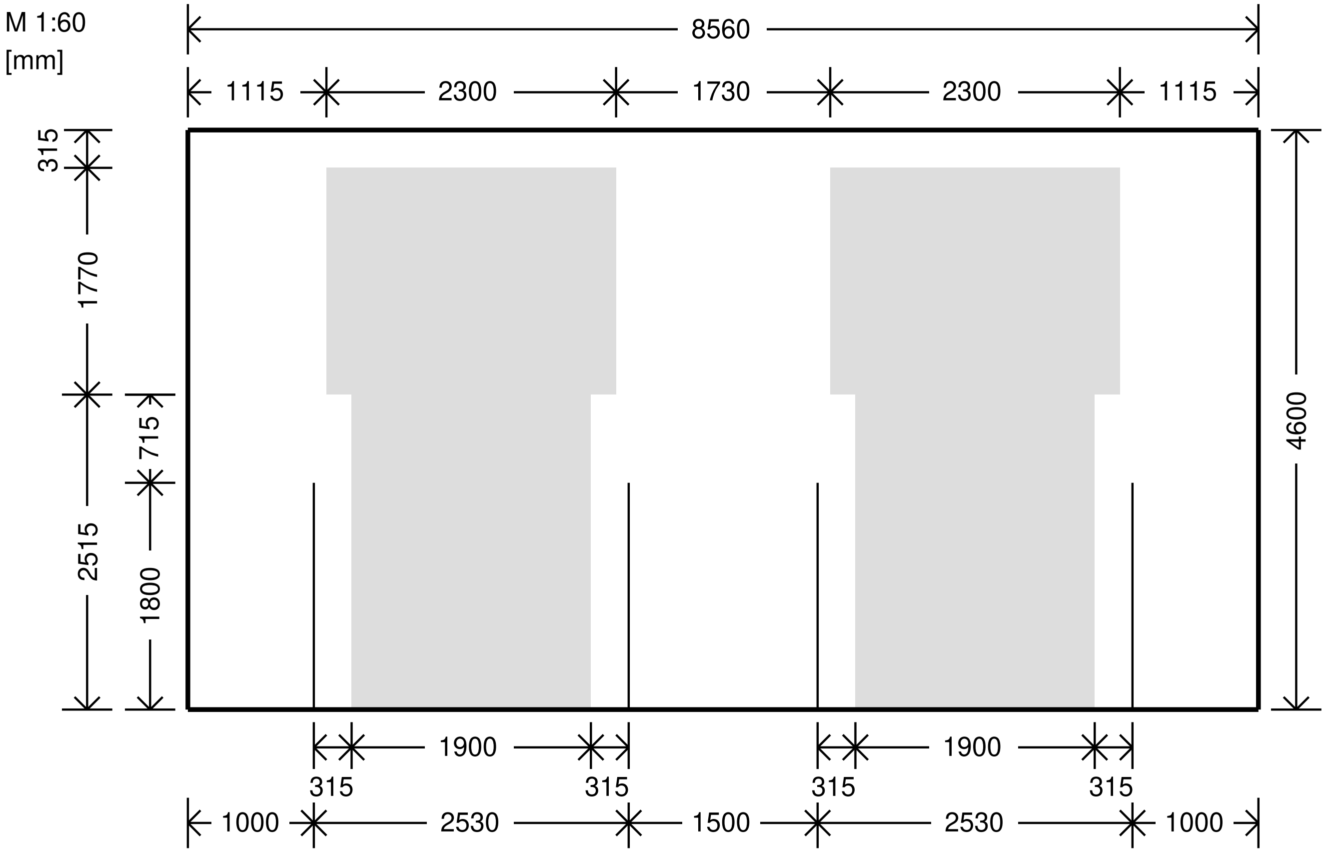

Abbildung 2.2: Aufriß der Anlage

Literaturverzeichnis

[Skriptum] Muckenhuber, Richard, DI Dr., *Studienbehelf zur Vorlesung Einführung in die elektrische Anlagentechnik*, TU-Graz, 1994

[BBC] Boehle, Bernhard, et.al., *Schaltanlagen*, Brown Boveri Taschenbuch, 8. Auflage, 1987, ISBN 3-590-80835-7

[EH1] ÖVE-Vorschrift, *EH-1*