

# **Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA)**

## **ERWEITERUNG SIA 380/4, ELEKTRISCHE ENERGIE IM HOCHBAU**

### Thema 4: Stromversorgung

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag der SIA Kommission 380/4 *Elektrische Energie im Hochbau* erstellt und diente als Grundlage für die Überarbeitung dieser Norm. Für den Inhalt des Berichts sind die Autoren verantwortlich. Allfällige Abweichungen der Norm vom Berichtsinhalt sind von der SIA Kommission 380/4 bewusst vorgenommen worden.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Geräte und Anlagen der Stromversorgung .....</b>	<b>1</b>
2.1. Allgemein .....	1
2.2. Verteilung und Transformation .....	2
2.2.1. Mittelspannungsschaltanlagen .....	2
2.2.2. Transformation .....	2
2.2.3. Niederspannungsschaltanlagen .....	2
2.2.4. Stromschienen und Kabel .....	3
2.3. Leitsystem .....	3
2.4. Unterbrechungsfreie Stromversorgung .....	3
2.5. Gleichrichteranlagen .....	4
2.6. Eigenerzeugung .....	4
<b>3. Gewichtung der Geräte und Anlagen .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Gewichtung des Verwendungszweckes.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Berechnungsmethoden und Anforderungen.....</b>	<b>7</b>
<b>6. Vorschlag der weiter zu bearbeitenden Geräte und Anlagen.....</b>	<b>8</b>

## 1. EINLEITUNG

Für die Überarbeitung der Empfehlung SIA 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ werden die für den Verwendungszweck Stromversorgung benötigten Geräte und Anlagen aufgeführt und kurz beschrieben. Die verschiedenen Geräte und Anlagen werden innerhalb des Verwendungszweckes nach Häufigkeit und Verbrauch gewichtet. Der Verwendungszweck Stromversorgung wird im Vergleich zu den anderen Verwendungszwecken, wie z.B. Betriebseinrichtungen, Hilfsenergie für Raumheizung und Warmwasser usw., gewichtet.

Für die gewichtigen Geräte und Anlagen des Verwendungszweckes Stromversorgung wird ein grober Vorschlag für die zugehörigen Berechnungsmethoden und dem Vorgehen zur Festlegung der Anforderungen aufgezeigt.

Dieser 1. Schritt zur Überarbeitung der Empfehlung SIA 380/4 soll als Entscheidungsgrundlage für die Festlegung der weiter zu bearbeitenden Geräte und Anlagen des Verwendungszweckes Stromversorgung dienen.

## 2. GERÄTE UND ANLAGEN DER STROMVERSORGUNG

### 2.1. ALLGEMEIN

Die Geräte und Anlagen des Verwendungszweckes Stromversorgung können zwei Kategorien zugeordnet werden. Die eine Kategorie umfasst die Geräte und Anlagen oder Teile davon, die zur Leitung der elektrischen Energie an die Endverbraucher benötigt werden. Dazu gehören die Transformatoren, die Kabel oder Stromschienen, die Sammelschienen und Schalter von Verteilungen sowie leistungselektronische Komponenten oder Speichereinheiten. Der Stromverbrauch dieser Geräte und Anlagen, d.h. der durch die Stromübertragung verursachte elektrische Energieverlust, ist stark von der zu übertragenden elektrischen Energie abhängig. Die andere Kategorie umfasst die Geräte und Anlagen oder Teile davon, die als Hilfsbetriebe für die Stromversorgung dienen. Dazu gehören Steuer- und Schutzeinrichtungen wie auch Kompensations- oder Filteranlagen. Der Stromverbrauch dieser Geräte und Anlagen ist unabhängig von der zu übertragenden Energie. Allerdings können Kompensations- und/oder Filteranlagen abhängig von der zu übertragenden Energie oder dem Betrieb einzelner Geräte oder Anlagen anderer Verwendungszwecke allenfalls weggeschaltet werden.

## 2.2. VERTEILUNG UND TRANSFORMATION

### 2.2.1. Mittelspannungsschaltanlagen

Bei Hochbauten, die in Mittelspannung versorgt werden, erfolgt die Einspeisung über eine Mittelspannungsschaltanlage (MS-Schaltanlage). Diese MS-Schaltanlage kann je nach Anwendung aus einem Trenner mit Hochspannungssicherung oder aus einer umfangreichen Schaltanlage mit Schutz- und Messeinrichtungen bestehen. Ab der MS-Schaltanlage werden Transformatoren und/oder Mittelspannungsverbraucher, wie z.B. Hochspannungsmotoren, angespeist.

Die Mittelspannungsübertragungsverluste innerhalb eines Gebäudes sind auf Grund der im Vergleich zur Niederspannung kleinen Ströme und der kurzen Distanzen sehr gering. Der Verbrauch der Schutz- und Messeinrichtungen bewegt sich im Bereich einiger Watt.

### 2.2.2. Transformation

Bei Hochbauten, die in Mittelspannung versorgt werden, muss die elektrische Energie mittels Transformatoren auf die Niederspannungsebene transformiert werden. Transformatoren dienen somit als Verbindungsglied zwischen den MS-Schaltanlagen und den NS-Schaltanlagen. Die benötigte Transformatorleistung ist jeweils vom Elektrizitätsbedarf des versorgten Gebäudes abhängig. Die Transformatoren werden je nach Anforderung als Giessharztransformator oder als Öltransformator realisiert.

Die Verluste der Transformatoren werden aufgeteilt in die Eisen- und in die Kupferverluste. Die Eisenverluste sind weitgehend unabhängig von der Belastung des Transformators und betragen ca. 0.1 % der Nennleistung des Transformators. Die Kupferverluste sind abhängig von der elektrischen Belastung und betragen bei Nennlast abhängig von der Grösse des Transformators 0.5 % bis 1 % der Transformatornennleistung. Bei einem zu 80 % belasteten 1'600 kVA Transformator betragen die Verluste ca. 9 kW. Die durch die Transformatorverluste verursachte Abwärme muss mittels der Belüftung des Transformatorraumes weggeführt werden.

### 2.2.3. Niederspannungsschaltanlagen

Niederspannungsschaltanlagen (NS-Schaltanlagen) bestehen jeweils aus mehreren Feldern, die über Sammelschienen miteinander verbunden sind. Die Einspeise-, Kuppel- und/oder Abgangsfeldern enthalten unterschiedliche Schalteinrichtungen, wie z.B. Trenner mit Hochleistungssicherungen, Schalter mit Schutz- und Messeinrichtungen oder Schaltschütze.

Weitere Bestandteile von Niederspannungsschaltanlagen sind Kompensationsanlagen und Netzfilter. Kompensationsanlagen werden benötigt, um den Bezug von Blindleistung zu reduzieren und dadurch die Belastung der Transformatoren und des versorgenden Netzes zu reduzieren. Netzfilter dienen zur Verbesserung der Spannungsqualität, sei dies durch die Reduktion von Störungen aus dem Netz oder zur Reduktion der durch den eigenen Betrieb erzeugten Oberschwingungsströme.

NS-Schaltanlagen werden bezüglich ihrer Funktion unterteilt in NS-Hauptverteilungen und NS-Unterverteilungen. NS-Hauptverteilungen werden meist zentral, NS-Unterverteilungen jedoch meist dezentral platziert.

Die Übertragungsverluste in den NS-Schaltanlagen sind trotz der grossen Ströme auf Grund der kurzen Distanzen gering. Der Verbrauch der Schutz- und Messeinrichtungen bewegt sich

im Bereich einiger Watt. Der Verbrauch aller in einer NS-Schaltanlage vorhandener Schaltschütze kann bereits einige kW betragen.

Stärker ins Gewicht fallen jedoch die Verluste der Kompensationsanlagen und Netzfilter. Die Verluste liegen dabei abhängig von der Güte der verwendeten Komponenten im Prozentbereich der elektrischen Leistung der jeweiligen Kompensationsanlagen und Netzfilter.

#### **2.2.4. Stromschienen und Kabel**

Die NS-Unterverteilungen werden über Stromschienen oder Kabel ab den NS-Hauptverteilungen versorgt. Die Feinverteilung zu den Verbrauchern erfolgt ab den NS-Unterverteilungen mittels Kabel.

Abhängig von der Länge und der elektrischen Belastung der Stromschienen und Kabel können die Verluste im Prozentbereich der übertragenen elektrischen Leistung liegen. So betragen z.B. die Verluste bei einer übertragenen 3-phasigen Leistung von 200 kVA über eine 100 m lange, 3-phasige Leitung bestehend aus Kupferkabel mit dem Leiterquerschnitt von 240 mm<sup>2</sup> ca. 2.3 kW.

### **2.3. LEITSYSTEM**

Die Stromversorgung von Gebäuden mit umfangreichen MS-Schaltanlagen und mehreren Transformatoren wird häufig mit einem eigenen Leitsystem für die Stromversorgung überwacht und gesteuert. Diese Leitsysteme verwenden zur Visualisierung und Bedienung auf der Leitebene einen PC und/oder ein Blindschaltbild.

Bei Leitsystemen neuerer Technik erfolgt die Kommunikation zwischen der Leitebene und den Schaltanlagen resp. den Transformatoren direkt mit den lokalen Steuer- und Überwachungsgeräten mittels Bussystem. Bei älteren Systemen erfolgt diese Kommunikation häufig über Relaisumsetzschränke und eine umfangreiche Verdrahtung von den Relaisumsetzschränken zu den Feldern der Schaltanlagen resp. den Transformatoren.

Der Energieverbrauch der Leitebene entspricht demjenigen eines PCs, der allerdings 8760 h im Jahr eingeschaltet ist. Werden für die Kommunikation Relaisumsetzschränke verwendet, so kann der Verbrauch abhängig von der Grösse der überwachten Anlage einige kW betragen.

### **2.4. UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNG**

Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen (USV-Anlagen) werden zum Schutz von kritischen und empfindlichen Verbrauchern vor Störungen aus dem Netz oder beim Ausfall der Netzversorgung sowie zur Reduktion von Rückwirkungen der Verbraucher auf das Netz eingesetzt. USV-Anlagen bestehen aus einem leistungselektronischen Teil und einem Energiespeicher, der meistens mit Batterien realisiert wird.

Im Normalbetrieb erfolgt der Energiefluss vom Netz über den leistungselektronischen Teil zu den Verbrauchern, dabei wird ebenfalls die Batterie geladen, resp. im geladenen Zustand gehalten. Bei einer Netzstörung erfolgt der Energiefluss ab der Batterie über den leistungselektronischen Teil zu den Verbrauchern.

USV-Anlagen können im Normalbetrieb über den USV-Pfad oder über den elektronischen Bypass betrieben werden. Beim Betrieb über den USV-Pfad erfolgt bei einer Netzstörung eine

unterbrechungsfreie Umschaltung auf den Batteriebetrieb. Beim Betrieb über den elektronischen Bypass erfolgt bei einer Netzstörung die Umschaltung auf die gesicherte Stromversorgung innerhalb von 20 ms.

Für den Verbrauch, d.h. die Verluste resp. den Wirkungsgrad, einer USV-Anlage ist der Normalbetrieb massgebend.

Der Wirkungsgrad des leistungselektronischen Teils ist abhängig von der Art der USV-Anlage, der Nennleistung, der Belastung und der Betriebsart. Abhängig von der Art und der Nennleistung der USV-Anlage liegt der Wirkungsgrad bei Nennleistung und Betrieb über den USV-Pfad zwischen 92 % und 97 %. Mit einer Optimierung der Betriebsart, d.h. dem Betrieb über den elektronischen Bypass, kann der Wirkungsgrad einer USV-Anlage im Nennlastbetrieb auf 97 % bis 99 % verbessert werden. Zudem sollten USV-Anlagen so ausgelegt werden, dass sie nicht unter 25 % ihrer Nennleistung belastet werden, da sonst der Wirkungsgrad stark verschlechtert wird.

Batterien weisen eine Selbstentladung auf. Die USV-Anlage versorgt daher die Batterien dauernd mit einem kleinen Strom, um die Selbstentladung zu kompensieren, damit bei einer Netzstörung die Versorgung der Verbraucher jederzeit gewährleistet ist. Die Selbstentladung pro Monat liegt bei einigen Prozenten der Nennkapazität.

USV-Anlagen werden als zentrale Anlage oder als dezentrale Anlagen resp. Geräte realisiert.

## **2.5. GLEICHRICHTERANLAGEN**

Gleichrichteranlagen versorgen elektronische Anlagen mit Gleichstrom. Dabei erfolgt die Versorgung meistens dezentral und abhängig von den angeschlossenen Anlagen in unterschiedlichen Gleichspannungen. Bei einem Unterbruch der Niederspannungsversorgung müssen die Gleichrichteranlagen die Gleichstromversorgung der angeschlossenen Anlagen unterbrechungsfrei gewährleisten, daher kommen wie bei den USV-Anlagen Batterien als Energiespeicher zum Einsatz.

Der Wirkungsgrad von Gleichrichteranlagen liegt zwischen 80 % und 90 %.

## **2.6. EIGENERZEUGUNG**

Der Einsatz von Eigenerzeugungsanlagen wie Blockheizkraftwerken, Brennstoffzellen, Solaranlagen oder Notstromaggregaten wird zunehmen. Diese Anlagen wirken im Stand-by-Betrieb als Verbraucher. Im Minimum wird dabei die Steuerung mit elektrischer Energie versorgt. Dabei ist der Verbrauch gering. Notstromaggregate können jedoch einen grossen jährlichen Energieverbrauch aufweisen, wenn z.B. eine elektrische Vorheizung notwendig ist, um die volle Leistung unmittelbar nach dem Start des Aggregates zu gewährleisten.

### 3. GEWICHTUNG DER GERÄTE UND ANLAGEN

In der Tabelle 1 werden die Geräte und Anlagen der Stromversorgung aufgeführt und innerhalb des Verwendungszweckes Stromversorgung nach der Häufigkeit und dem Verbrauch gewichtet.

Geräte / Anlagen	Häufigkeit	Verbrauch
<b>Mittelspannungsschaltanlagen</b>	Bei Gebäuden mit einem grossen Stromverbrauch werden häufig Mittelspannungsschaltanlagen eingesetzt.	Der Energieverbrauch ist gering.
<b>Transformatoren</b>	Transformatoren werden in Hochbauten mit Mittelspannungsversorgung eingesetzt. Dabei werden häufig mehrere Transformatoren eingesetzt.	Der Energieverbrauch, der Summe aller im Hochbau eingesetzten Transformatoren, ist gross und verursacht für die Wegführung der konzentriert anfallenden Abwärme einen zusätzlichen Energieverbrauch.
<b>Niederspannungsschaltanlagen</b>  Hauptverteilungen und Unterverteilungen.	Haupt- und Unterverteilungen werden in allen Hochbauten eingesetzt. Wobei der Umfang und die Grösse dieser Verteilungen, abhängig von der gesamten Last des jeweiligen Gebäudes, sehr unterschiedlich sind.	Der Energieverbrauch der Sammelschienen, Trenner und Schalter sowie der Schutz- und Steuergeräte, ist gering.  Sind in den Verteilungen viele Schaltschütze eingesetzt, so steigt der Energieverbrauch an.
Kompensationsanlagen und Filter	Kompensationsanlagen und/oder Filter gehören bei Niederspannungsschaltanlagen grösserer Leistung zur Standardausrüstung.	Der Energieverbrauch von Kompensationsanlagen und Filter ist abhängig von der Güte der eingesetzten Komponenten und daher nicht zu vernachlässigen.
<b>Stromschienen und Kabel</b>	Niederspannungskabel zur Verteilung der elektrischen Energie werden in allen Hochbauten eingesetzt.  Stromschienen gelangen nur bei grossen Verbrauchsleistungen zum Einsatz.	Der Energieverbrauch ist von der Dauerbelastung der Kabel resp. Stromschienen abhängig. Der Verbrauch muss daher bei einer Energieanalyse betrachtet werden.

Geräte / Anlagen	Häufigkeit	Verbrauch
<b>Leitsystem</b>	Leitsysteme für die Stromversorgung werden bei Hochbauten mit umfangreichen Mittel- und Niederspannungsschalten eingesetzt.	Der Energieverbrauch der Leitsysteme ist gering. Beim Einsatz von Relaisumsetzschranken steigt der Energieverbrauch an und ist nicht zu vernachlässigen.
<b>USV-Anlagen</b>	USV-Anlagen werden sehr häufig eingesetzt, sei dies als leistungsstarke zentrale Anlagen bei grossen Gebäuden oder als dezentrale kleinere Anlagen bei vielen einzelnen Verbrauchern.	Der Energieverbrauch, aller im Hochbau eingesetzten USV-Anlagen, ist beträchtlich und verursacht für die Wegführung der anfallenden Abwärme häufig einen zusätzlichen Energieverbrauch.
<b>Gleichrichteranlagen</b>	Gleichrichteranlagen werden häufig eingesetzt. Sie werden hauptsächlich dezentrale bei den zu versorgenden Anlagen installiert.	Der Energieverbrauch, aller im Hochbau eingesetzten Gleichrichteranlagen, ist beträchtlich und verursacht für die Wegführung der anfallenden Abwärme häufig einen zusätzlichen Energieverbrauch.
<b>Eigenerzeugung</b>	Die Häufigkeit der Eigenerzeugungsanlagen wird zunehmen.  In Gebäuden mit grossen Anforderungen an die Verfügbarkeit der elektrischen Versorgung werden Notstromaggregate eingesetzt, die jederzeit unmittelbar verfügbar sein müssen.	Der Energieverbrauch im Standby-Betrieb von Eigenerzeugungsanlagen ohne hohe Anforderungen bezüglich einer Notstromversorgung ist gering.  Notstromanlagen mit hohen Anforderungen an die jederzeitige Verfügbarkeit haben einen grossen Energieverbrauch im Standby-Betrieb.

Tabelle 1: Gewichtung der Geräte und Anlagen nach Häufigkeit und Verbrauch



## 4. GEWICHTUNG DES VERWENDUNGSZWECKES

Der Energieverbrauch des Verwendungszweckes Stromversorgung, d.h. der durch die Stromversorgung verursachte elektrische Energieverlust, ist abhängig von den für die Stromversorgung eingesetzten Geräten und Anlagen sowie vom elektrischen Energieverbrauch aller Verbraucher eines Gebäudes.

Der durch die Stromversorgung verursachte Energieverbrauch, d.h. der elektrische Energieverlust, beträgt einige Prozent des gesamten elektrischen Energieverbrauches eines Gebäudes. Die durch die Stromversorgung verursachten Verluste fallen als Wärmelast an, die durch eine allfällige Gebäudeklimatisierung weggefordert werden muss und damit den Energieverbrauch zusätzlich erhöht.

Massnahmen zur Reduktion der durch die Energieversorgung verursachten Verluste sind daher ebenso wichtig wie entsprechende Massnahmen bei den anderen Verwendungszwecken. Zudem ist eine Stromversorgung bei allen Hochbauten mit elektrischen Verbraucher vorhanden.

## 5. BERECHNUNGSMETHODEN UND ANFORDERUNGEN

Bei der Berechnung des Energieverbrauchs der Stromversorgung, d.h. bei der Berechnung der durch die Stromversorgung verursachten elektrischen Energieverluste, muss unterschieden werden zwischen Komponenten, deren Verluste stark von der Versorgungsleistung abhängig sind und Komponenten, deren Verluste nur gering von der Versorgungsleistung abhängig sind.

Transformatoren, USV-Anlagen, Gleichrichteranlagen sowie Stromschienen und Kabel sind gewichtige Geräte und Anlagen, deren Verluste stark von der Versorgungsleistung abhängen. Die Methode zur Berechnung der Verluste dieser Komponenten muss den zu betrachtenden Arbeitspunkt, d.h. die prozentuale Auslastung definieren und falls relevant, wie z.B. bei USV-Anlagen, auch auf die Betriebsart eingehen.

Kompensationsanlagen, Filter, Relaisumsetzschranke und Steuerschütze sowie Notstromaggregate im Standby-Betrieb sind gewichtige Geräte und Anlagen, deren Verluste nur gering von der Versorgungsleistung abhängen. Die Methode zur Berechnung der Verluste dieser Komponenten muss deren Verbrauch berücksichtigen sowie auch auf die jährliche Einsatzdauer eingehen.

Die Anforderungen, d.h. die Grenz- und Zielwerte für die gewichtigen Geräte und Anlagen der Stromversorgung müssen basierend auf der technischen und ökonomischen Machbarkeit ermittelt werden.

Bezüglich der standardisierten Darstellung des Elektrizitätsbedarfs muss diskutiert werden, ob es sinnvoll ist, den spezifischen Elektrizitätsbedarf für die Stromversorgung wie bei den anderen Verwendungszwecken bezogen auf die Grundfläche anzugeben, oder ob ein Bezug auf die elektrische Jahresenergiemenge eines Gebäudes allenfalls aussagekräftiger ist. Bei der Energiekennzahl ist der Bezug auf die gesamte Energiebezugsfläche eines Gebäudes jedoch aussagekräftig und somit sinnvoll.

## **6. VORSCHLAG DER WEITER ZU BEARBEITENDEN GERÄTE UND ANLAGEN**

Basierend auf der Gewichtung der Geräte und Anlagen für die Stromversorgung empfehlen wir im 2. Schritt der Überarbeitung der Empfehlung SIA 380/4 folgende Komponenten weiter zu bearbeiten:

- Transformatoren
- USV-Anlagen inkl. der Energiespeicherung
- Gleichrichteranlagen inkl. der Batterien
- Stromschienen und Kabel der Niederspannungsverteilung
- Kompensationsanlagen und Filter von Niederspannungsverteilungen
- Relaisumsetzschränke und Schaltschütze
- Notstromaggregate im Standby-Betrieb