

Planung/Projektierung einer Energieverteilung (1)

G. Pikulicki, Erlangen

„Planen Sie die Versorgung mit elektrischer Energie für unser neues Gebäude/Produktionsanlage“. Ein kleiner Satz, mit großer Wirkung. Denn nun beginnen Detailaufgaben, die gemäß nebenstehender Projektierungsschritte grob pauschaliert werden können. Nicht alle dieser Schritte kommen bei jeder Planung zum Tragen. Die folgenden Ausführungen geben Hinweise zur ordnungsgemäßen Durchführung und zur Vereinfachung der Planung.

1 Leistungsermittlung

1.1 Begriffe

Zum besseren Verständnis der Ausführungen werden einige wichtige Begriffe zur elektrischen Leistung näher betrachtet, die teilweise mißverständlich benutzt werden: **Installierte Leistung.** Summe der installierten Bemessungsleistung aller Verbraucher. **Tatsächliche Belastung.** Summe der installierten Bemessungsleistungen $\times$ Auslastungsfaktor.

Häufig werden in der Literatur und in den Bestimmungen Gleichzeitigkeitsfaktor und Ausnutzungsfaktor gleich gesetzt. Bei Motoren haben beide Werte jedoch erheblich unterschiedliche Auswirkungen auf die Belastung.

Spitzenleistung. Summe der installierten Bemessungsleistungen $\times$ Ausnutzungsfaktor $a_i \times$ Gleichzeitigkeitsfaktor g_i .

1.2 Beispiel einer Kleinanlage

Installiert sind 15 Steckdosenabzweige mit je 10 A Steckdosenleistung, d. h. in Summe 150 A. Tatsächlich jedoch werden damit nur 32 Schreibtische versorgt. Jeder Schreibtisch hat eine Schreibtischlampe (0,2 A) und einen PC mit Monitor (3 A). Dies ergibt eine abgerufene Leistung von $32 \times 3,2 \text{ A} = 102,4 \text{ A}$ und entspricht einem Nutzungsfaktor von 68 %. Zuleitung und Versicherung können somit für 70 % von 150 A ausgelegt werden, also für $= 105 \text{ A}$. Die Spitzenlast ist die Belastung, für die die Betriebsmittel für die Übertragung der elektrischen Energie zu bemessen sind. Aufgrund der thermischen Zeitkonstanten der Betriebsmittel wird dieser Wert in der Regel als quadratischer Mittelwert über 15 Minuten angegeben. Er berücksichtigt somit die Erfahrung, dass nicht alle Verbraucher gleichzeitig ihren max. Leistungsbedarf (= installierte Leistung $\times$ Ausnutzungs-

faktor) aus dem Netz entnehmen. Für diese Belastung sind Leitungen, Schienen, Schalter, Sicherungen usw. auszulegen, wobei Voraussetzung ist, dass ihre thermische Zeitkonstante größer 15 Minuten ist.

Für unser Beispiel nehmen wir an, dass die Spitzenleistung sich aus der abgerufenen Leistung plus einem zusätzlichen Verbraucher von 50 A mit einer Einschaltdauer (ED) von 20 % zusammensetzt. Dies bedeutet, drei Minuten lang sind die zusätzlichen Verbraucher eingeschaltet und 12 Minuten ausgeschaltet = 117 A. Das Kabel ist somit thermisch für 117 A zu dimensionieren.

1.3 Allgemeine Vorgehensweise

Sofern der Auftraggeber den Energiebedarf nicht kennt, kann dieser auf Grund der Nutzung des Gebäudes aus Standardwerten (Watt pro m²) ermittelt werden. Wichtig ist hierbei die Anzahl der Räume und deren Nutzung (z. B. Büro, Küche, Lager, Gänge, Werkstätten usw.). Weiterhin müssen Großverbraucher ermittelt werden (Aufzüge, Kälte-/Klimaanlagen, Heizung, Außenbeleuchtung usw.). Angaben zu Fertigungsmaschinen sind bei den Herstellern zu erfragen.

Diese Informationen geben Aufschluss über den zu erwartenden Energiebedarf als Maximalwert. Dieser muss nun noch gemäß Einschaltdauer (ED) und dem Nennbemessungsbelastungsfaktor (= Gleichzeitigkeitsfaktor) bewertet werden. Damit erhält man die Dauerleistung, für die die Kabel ausgelegt werden müssen [1].

2 Schwierige Verbraucher und Einsatzbereiche

So manches Mal machen einem unbedachte Kleinigkeiten das Leben schwer. Hierzu zählen unter anderem Gasentladungslampen sowie Verbraucher, die über Stromrichter versorgt werden. Hier ist die Belastung des Netzes mit Oberschwingungen zu untersuchen. Diese können unter anderem die elektronischen Überstromauslöser von Leistungsschaltern stören oder Resonanz-

Projektierungsschritte

1. Leistungsermittlung
2. Schwierige Verbraucher und Einsatzbereiche
3. Reserven
4. Netzform und Netzqualität
5. Notbeleuchtung
6. Notstromversorgung
7. Zahl der MS-Transformatoren
8. Kabelwege/Trassen
9. Schaltgeräteauswahl
10. Auslegung der Schaltgeräte/Kabel
11. Selektivität ermitteln und überprüfen
12. Aufbauart der Schaltanlage
13. Bedienkonzept für die Schaltanlage
14. Anpassen an vorhandene Fläche
15. Angebot erstellen
16. Auftragsverhandlungen
17. Änderungsplanung
18. Fertigen der Schaltanlage für NS-HV
19. Schaltanlagemontage
20. Abnahme durch Bauherren und TÜV

erscheinungen zwischen induktiven (motorischen, transformatorischen) und kapazitiven (Kompensationsanlagen) Verbrauchern verursachen. Diese Resonanzerscheinungen, selbst energiearm, erzeugen durchaus hohe Kreisströme, die nur noch von den ohmschen, induktiven und kapazitiven Widerständen abhängen. Nimmt man an, dass die induktiven und kapazitiven Widerstände ungefähr gleich sind, so wird die entstehende Oberschwingungsspannung nur noch durch die ohmschen Leitungswiderstände begrenzt. Diese Spannungen im Bereich von mehreren kV können Entladungslichtbögen hervorrufen, die wiederum einen Störlichtbogen zünden können. Dies kann meist durch den Einsatz von Filterkreisen vermieden werden.

Zur Projektierung sind die Betriebsanleitungen der Geräte notwendig, die vorher angefordert werden müssen. In der Regel lohnt sich dies.

Weiterhin ist bei Räumen oder Anwendungen mit Feuchtigkeit oder Wasser Vorsicht geboten. Das wohl bekannteste Thema ist der FI-Schutz. Darüber hinaus gibt es aber noch weitere Punkte zu beachten, wie reduzierte max. zulässige Berührungsspannung oder erhöhte Luft- und Kriechstrecken. Abhilfe bieten hier z. B. FI-Schutzschalter (Personenschutz) oder Leistungsschalter mit Differenzstrom(DI)-Baustein (Anlagenschutz) – oder Geräte mit einer Nennspannung von 24 V oder 12 V (z. B. Teilleuchten) oder die Klimatisierung der Schaltschränke.

FI-Schutzschalter bzw. Leistungsschalter mit einem Differenzstrom(DI)-Baustein können aber auch noch andere Aufgaben übernehmen. Befinden sich in einem Stromkreis eine Steckdose (max. Abschaltzeit bei Kurzschluss $t_a \leq 0,4 \text{ s}$) und ein Maschinenanschluss ($t_a \leq 5 \text{ s}$), so darf die

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Gustav Pikulicki ist Mitarbeiter der Siemens AG, Erlangen.

max. Abschaltzeit bei einem Kurzschluss ≤ 5 s betragen, wenn die zulässige Berührungsspannung von 50 V nicht überschritten wird. Ist z. B. am Ende einer Kabelstrecke der zu erwartende (prospektive) Kurzschlussstrom so klein, dass der Elektromagnetauslöser des Schaltgeräts nicht mehr innerhalb von 0,4 s anspricht, so kann die Abschaltung – ggf. bei reduziertem Leiternennquerschnitt – auch ein FI-Schutzschalter oder ein von einem DI-Baustein angeregter Leistungsschalter übernehmen.

3 Reserven

Spätere Erweiterungsmöglichkeiten können nur in Zusammenarbeit mit dem Nutzer der Anlage ermittelt werden. Ein Anhaltspunkt bei Büros ist die Nutzfläche. Derzeit geht man bei einem Bildschirmarbeitsplatz von etwa 8 bis 9 m² pro Mitarbeiter aus (inklusive Fläche der Büromöbel und Wege). Dividiert man nun die Gesamtfläche durch acht (8 bis 9 m²), so erhält man die maximale Anzahl der Arbeitsplätze und damit den Energiebedarf. Üblich ist eine Reserve von mehr als 20 %.

4 Netzform und Netzqualität

Festzulegen ist das notwendige Netzsystem (nach Art der Erdverbindung ein TN-C-, TN-S-, TT-, IT-System), und es ist die Netzqualität zu überprüfen.

PC-Netze sind nach Empfehlung gemäß HD 386 und DIN VDE 0100 möglichst mit fremdspannungsfreiem PE aufzubauen. Fremdspannungsfreie PE-Leiter sind nur im TN-S-System (PE und N getrennt), im IT- und im TT-System möglich (ebenfalls nur bei zentraler Gebäudeeinspeisung und Stickleitungsnetz).

Das richtige Netzsystem ist entscheidend für die Abschaltbedingung im Fehlerfall und für die am Fehlerort auftretende Spannung. Ebenso bestimmt das gewählte Netzsystem, ob die Kuppelschalter in 3-poliger oder 4-poliger Ausführung (Bild 1) notwendig sind (Behandlung der Auftrennung zwischen N und PE, die lt. Norm ja nur an einer Stelle vorgenommen werden darf).

Ebenso bedürfen Daten-Netze einer genauen Planung des Netzsystems. Die Schirmung der PC-Netzkabel darf auf keinen Fall etwaige Ausgleichsströme führen. Ausgleichsströme können auftreten, wenn der Potentialausgleich der einzelnen PC-Stationen innerhalb des Gebäudes zu hochohmig ist oder die Netzform (TN-C-S-System) nicht exakt eingehalten wurde. Dies führt dann zu sporadischem Ausfall der Netzverbindung einzelner PCs zum Server. Diese Ausfälle dann auf die ungünstig dimensionierte Potentialausgleiche



oder Netzsysteme zurück zu führen, ist nur sehr schwer möglich.

Das richtige Netzsystem hängt also sehr von den vorhandenen Verbrauchern ab, aber auch davon, ob geschirmte Kabel verlegt werden müssen. Dies ist im Zeitalter der Computer immer häufiger der Fall.

Entscheidend ist auch, ob die Verbraucher über Stromrichter gespeist werden (siehe Abschn. 2). Ebenso wichtig ist es zu wissen, welcher Leistungsfaktor (= Phasenverschiebung zwischen Wirk- und Scheinstrom) im Netz vorliegt. Ein zu hoher Scheinstrom belastet die Kabel sehr stark. Die meisten EVU's berechnen ab einem gewissen Anteil dies auch ihren Stromabnehmern.

Ein weiterer Faktor beeinflusst die Netzform – Verbraucher in direkter Nähe von Wasser oder anderen leitenden Flüssigkeiten (Schwimmbäder, Tankstellen usw.). Hier ist es sehr wichtig, dass hochohmige (schleichende) Verbindungen zwischen aktiven Leitern und Erde sehr schnell erkannt werden können oder dass diese keine schädigende Auswirkung haben. Diese Fehler sehr schnell erkennbar zu machen heißt, Einsatz von FI-Schutzschaltern oder Erdschlussrelais oder Einsatz von Leistungsschaltern mit DI-Baustein oder Erdschlussschutz (sogenannte G-Auslöser). Erdschlussströme können so bereits ab 30 mA erkannt und abgeschaltet werden. Soll vermieden werden, dass bereits der erste Fehler (leitende Verbindung eines Außenleiters mit PE) zu einer Abschaltung führt, so ist ein IT-System zu verwenden. IT-System heißt, kein Betriebsleiter (L1, L2, L3, (N)) am Einspeisepunkt ist mit Erde verbunden, die Verbraucher sind allein oder gemeinsam über PE-Leiter mit der Gebäudeerde und damit mit dem Erdpotential verbunden. Wird nun ein Außenleiter mit Erde verbunden, so ist dies nichts weiter als ein „Definieren des Erdpotentials“, erst ein weiterer Fehler führt dann zur Abschaltung. Dieser erste Fehler kann messtechnisch relativ einfach erfasst werden, z. B. durch Isolationsüberwachung oder Widerstandsmessgeräte von Außenleiter zu Erde. Dieses Netzsystem ist bei Ener-

gieverteilungen für medizinisch genutzte Räume zu bevorzugen, da der erste Fehler zwar erkannt wird, aber der gerade im Operationsaal liegende Patient noch völlig ungefährlich in eine medizinisch sichere Lage gebracht werden kann, bevor die Stromversorgung abgeschaltet werden muss.

Ein großer Teil der Arbeit bei Planung und Projektierung von Energieversorgungen ist ein Zusammentragen der entsprechenden Informationen. Erst wenn alle Informationen vorliegen, kann die elektrotechnische Bewertung beginnen. Bisher wurde nur ein Teil der Informationssammlung und elektrotechnischen Bewertung beschrieben.

5 Notbeleuchtung

Für die Energieversorgung der Notbeleuchtung kann gewählt werden zwischen:

- Notstromaggregat, Batterie oder
- zweite unabhängige Netzversorgung.

Die Projektierung und die Anforderungen hängen davon ab, ob es sich um eine notwendige Sicherheitseinrichtung im Sinne DIN VDE 0107 oder DIN VDE 0108 handelt oder nicht. Notwendig ist dies bei Gebäuden mit

- Menschenansammlungen – Theater, Kino, Restaurant usw.
- Gebäude mit Zugang von ortsfremden Personen (öffentliche) – Krankenhäuser, Büros usw.

Mindestbetriebsdauer und Aufbau der Anlagen, z. B. Anforderung eines selektiven Verhaltens der Schutzeinrichtung (Selektivitätsnachweis ist zu führen), werden dann durch die entsprechenden Bestimmungen geregelt – DIN-VDE-Normen und/oder EltBau (länderspezifisch).

Bei anderen Anwendungsfällen bestimmt der Nutzer, welche Anforderungen erfüllt sein müssen.

6 Notstromversorgung

Die Ermittlung der Leistung der Notstromaggregate erfolgt in der Regel nachdem alle Verbraucher bestimmt sind. Zuerst werden die Verbraucher festgelegt, die bei Netzausfall weiter funktionieren müssen. Aus deren installierter Leistung und dem dazugehörigen „Gleichzeitigkeitsfaktor“ ergibt sich die Nennleistung des Notstromaggregats.

Bei Notstromaggregaten muss ein Wartungsplan mit berücksichtigt werden (= Betriebssicherheit)

Literatur

- [1] Seip, G.: Elektrische Installationstechnik. 3. Auflage. Erlangen-München: Publicis MCD Verlag 1993.

In weiteren Beiträgen werden die folgenden Projektierungsschritte behandelt.