

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 78 (1987)

**Heft:** 13

**Artikel:** Planung elektrischer Netze mit Hilfe von CAD

**Autor:** Belkhofer, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903879>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Planung elektrischer Netze mit Hilfe von CAD

H. Belkhofer

**Es wird das CAD-System von Siemens zur Planung elektrischer Netze mit interaktiver Graphikunterstützung und Anschluss an ein Netzinformationssystem beschrieben.**

**L'auteur décrit le système CAO de Siemens pour la planification de réseaux électriques avec assistance graphique interactive et raccordement à un système d'information du réseau.**

## 1. Einleitung

Das Ziel der elektrischen Energieversorgungsunternehmen ist die zuverlässige und kostengünstige Bereitstellung von elektrischer Energie. Zwei wichtige Werkzeuge sind die Netzplanung und ein Netzinformationssystem.

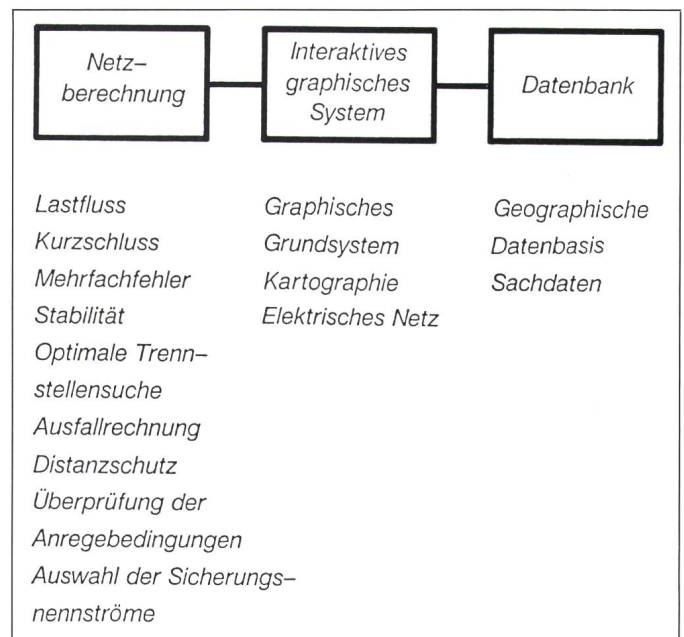
Als Hilfsmittel zur Netzplanung diente und dient auch heute noch das Netzmodell. Dabei werden die Netze analog aufgebaut. Seit einigen Jahren werden diese Netzmodelle durch Digitalprogramme und Programmsysteme abgelöst. Anfangs waren es Einzelprogramme, die im Batch-Betrieb liefen, dann Dialogversionen, und schliesslich kam die Graphik dazu. Mit heutigen Systemen ist es möglich, die Netze zu digitalisieren, zu berechnen und die

Rechenergebnisse in die Netzpläne einzutragen.

Die Informationen über das Netz stecken in Karteien, Listen, Tabellen oder in graphischer Form in Zeichnungen, Lageplänen oder Prinzipschaltbildern. Sehr oft werden diese Informationen in mehreren Abteilungen parallelgeführt, woraus sich das Problem des Abgleiches ergibt. Die Datenverarbeitung bietet hier in Form von alphanumerischen und graphischen Datenbanken eine Lösung.

Im folgenden wird das bei Siemens AG entwickelte und verwendete System zur Planung elektrischer Netze mit interaktiver graphischer Unterstützung dargestellt. Das Programmsystem besteht aus drei Komponenten: der Netzberechnung, dem interaktiven graphischen System und der Datenbank (Fig. 1).

**Figur 1**  
Systemübersicht



Nach dem Vortrag an der ETG-(SEV-)Informationstagung «Conception des réseaux d'énergie électrique assistée par ordinateur» am 17. März 1987 in Lausanne.

### Adresse des Autors

Dipl.-Ing. Harald Belkhofer, Siemens AG, Unternehmensbereich Energie- und Automatisierungstechnik, Werner-von-Siemens-Strasse 50, D-8520 Erlangen.

## 2. Netzberechnung

Zur Netzberechnung wird das System BETINA (Bausteine eines technischen Informationssystems mit Netzanalyse) benutzt. Damit können Netzberechnungen sowohl im maskengeführten Dialog als auch als Hintergrundprozess ablaufen. Wird BETINA ohne Graphikeingabe angewendet, so zeichnet sich das System durch eine grosse Anzahl von Plausibilitätsprüfungen aus. Mit Graphikeingabe können viele Plausibilitätsprüfungen bereits bei der Digitalisierung vorgenommen werden.

Die gängigsten Berechnungsmethoden sind:

- Lastfluss
- Kurzschluss
- Mehrfachfehler
- Stabilität
- optimale Trennstellensuche
- Ausfallrechnung
- Distanzschutz
- Überprüfung der Anregebedingungen
- Auswahl der Sicherungsnennströme.

Die zur Netzberechnung am meisten verwendete Methode ist die *Lastflussberechnung*. Die Aufgabe ist die Ermittlung der Ströme, Spannungen und Leistungen im elektrischen Netz im Betriebszustand, beim Ausfall von Betriebsmitteln und geänderter Netzschaltung. Dabei dürfen keine Betriebsmittel überlastet sein, die Spannungen müssen im Toleranzband liegen, und die Generatoren müssen innerhalb ihres Regelbandes arbeiten.

Bei der *Kurzschluss-* und *Mehrfachfehlerberechnung* werden ein-, zwei- und dreipolige Einzelfehler bzw. Mehrfachfehler mit und ohne Unterbrechungen nachgebildet. Die Berechnungen können sowohl nach VDE 0102 als auch mit Vorbelastung durchgeführt werden. Bei unsymmetrischen Fehlern ist die Nachbildung der Transformatorsterngruppen, die Verschaltung der Transformatorsternpunkte sowie die Kopplung im Nullsystem zu berücksichtigen.

Eine *Stabilitätsuntersuchung* ermittelt ausser den Polradwinkeländerungen der Generatoren die Leistungsflüsse im Netz bei Kurzschlüssen und plötzlichen Leistungsänderungen durch Kraftwerksausfall oder Lastabwurf. Der zeitliche Verlauf der Polradwinkel der Generatoren ist ein Mass für die Stabilität des Netzes.

Bei der *optimalen Trennstellensuche* werden Niederspannungsnetze zuerst geschlossen, d.h. voll vermascht gerechnet. An den Stellen, an denen sich Stromminima ergeben, wird das Netz

aufgetrennt, wobei darauf geachtet wird, dass jeder Punkt des Netzes versorgt bleibt.

Die *Ausfallrechnung* simuliert den Ausfall eines Betriebsmittels und zeigt überlastete Netzelemente sowie schlechte Knotenspannungen auf. Beim Stationsausfall wird versucht, den bisher von dieser Station versorgten Netzteil durch Schliessen von Trennstellen von den Nachbarstationen zu speisen.

Das *Distanzschutzprogramm* ermittelt die Einstellwerte für die drei Stufen der Distanzschutzrelais für beliebig vermaschte Netze.

Bei der Überprüfung der *Anregebedingungen* wird kontrolliert, ob der Strom über das betrachtete Schutzgerät bei Fehlern im Schutzbereich überhaupt zu einer Anregung der Relais führt. Die gleiche Überprüfung wird auch durchgeführt, wenn das benachbarte Schutzgerät bereits ausgelöst hat. Diese Untersuchungen werden auch für den Reserveschutz vorgenommen. Es werden ein-, zwei- und dreipolige Kurzschlüsse nachgebildet.

Das Programm zur Auswahl der *Sicherungsnennströme* wird in Niederspannungsnetzen eingesetzt. Die Sicherungsnennströme müssen einerseits so gross sein, dass der Laststrom geführt werden kann. Andererseits müssen sie aber so klein sein, dass bei ungünstigsten einpoligen Fehlerorten noch eine Abschaltung in annehmbarer Zeit gewährleistet wird. Auf Widersprüche dieser beiden Forderungen wird vom Programm hingewiesen.

## 3. Interaktives graphisches System

Das interaktive graphische System besteht aus den drei Komponenten:

- Graphisches Grundsystem
- Kartographie
- Elektrisches Netz

Das *graphische Grundsystem* gestattet die interaktive Bearbeitung der graphischen Grundelemente, wie z.B. Linien, Kreise, Rechtecke, Text usw. Durch die Menü- und Prozedurtechnik wird das Handling wesentlich erleichtert.

Der *Kartographieteil* erfüllt die geodätischen Anforderungen, wie z.B. Transformationen, Orthogonalität, Parallelität, und stellt Konstruktionshilfen, wie z.B. Schraffuren oder Bemessungen, zur Verfügung.

Die wichtigsten Elemente im *elektrischen Netzteil* sind die Netzpunkte und


Symbolbibliothek	
Symbolname	MUFFE
Ausprägung	
min. Abgangszahl	1
max. Abgangszahl	3
Leitungsart	NK
.	.
.	.
Leitungstypdatei	
Leitungsart	NK
Leitungsbezeichnung	3x50/25 NAKBA
Strichmodus	-----
Strichstärke	5
Hauptleiterquerschnitt	50
Nulleiterquerschnitt	25
Kabeltyp	NAKBA
Nennspannung	0,4 kV
thermischer Grenzstrom	0,148 kA
.	.
.	.

Tabelle I Symbolbibliothek und Leitungstypdatei

die Leitungsverbindungen. Netzpunkte sind z.B. Hausanschlüsse, Muffen, Stationen. Leitungsverbindungen können sowohl Kabel als auch Freileitungen sein.

Die verschiedenen Netzpunktarten werden in der Symbolbibliothek hinterlegt. Für jede Netzpunktart sind die graphische Ausprägung, der Symbolname und die minimale und maximale Anzahl der Abgänge angegeben.

Ebenso enthält die Symbolbibliothek die zulässige Leitungsart (Niederspannungsverteilungskabel, Beleuchtungskabel, Signalkabel), die an das jeweilige Symbol angeschlossen werden darf (Tab. I). Die tatsächliche Netzpunkterzeugung beim Digitalisieren des Netzplanes erfolgt dann über das Menü, hinter dem der Symbolname abgelegt ist, so dass lediglich der jeweilige Knotenpunktname sowie die Position und eventuell ein Vergrößerungs- oder Verkleinerungsfaktor angegeben werden müssen. Die wichtigsten Netzpunktcommandos erzeugen oder löschen Netzpunkte, fügen Netzpunkte in Leitungen ein oder verschieben Netzpunkte mit den angeschlossenen Leitungen.

So wie die unterschiedlichen Netzpunktarten in der Symbolbibliothek gespeichert sind, werden die verschiedenen Arten der Leitungsverbindungen in der Leitungstypdatei abgespei-

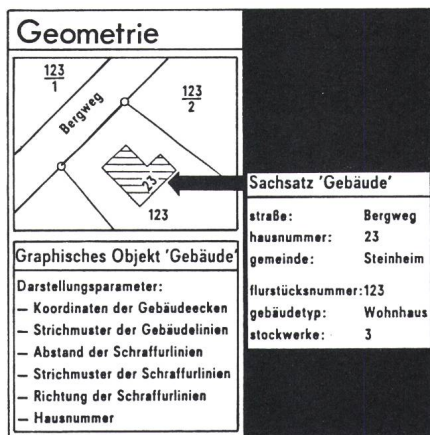
chert. In dieser Datei sind die Leitungsart, die graphische Darstellung sowie die elektrischen Kenndaten der Leitungen hinterlegt (Tab. I). Die wichtigsten Leitungskommandos erzeugen oder löschen Einfach- oder Mehrfachleitungen, stellen Verrohrungen dar oder zeigen die Leitungsbezeichnung am Bildschirm.

Durch die Angabe der zulässigen Leitungsart beim Netzpunkt und bei der Leitung ist gewährleistet, dass immer nur passende Leitungen und Netzpunkte miteinander verbunden werden können. Der Netzpunkt «EL. Hausanschluss» kann so z.B. nicht mit einer Wasserrohrleitung verbunden werden.

#### 4. Datenbank

In der Datenbank ist sowohl graphische als auch alphanumerische Information in Form von Sachsätzen gespeichert.

Der *graphische* Teil enthält alle zur zeichnerischen Darstellung benötigten Informationen, wie z.B. Koordinaten, Strichstärken, Strichmodus, Schraffuren usw. (Fig. 2).

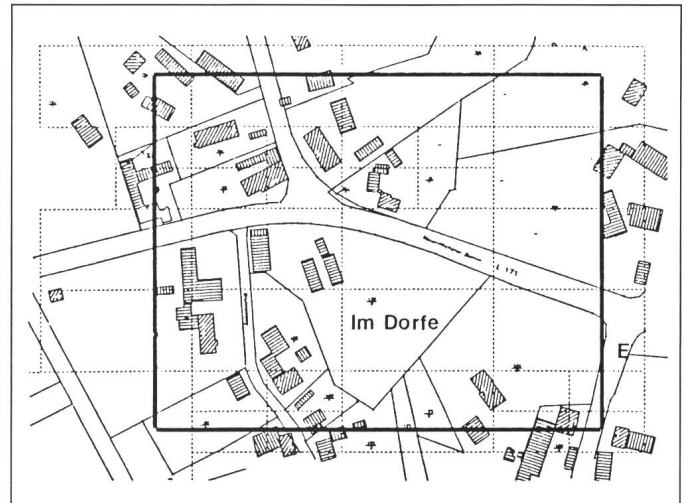


Figur 2 Graphische Datenbank mit Sachdatensatz

Im *Sachdatensatz* können alle zur näheren Beschreibung des Betriebsmittels benötigten Daten, wie z.B. Leitungstyp, Querschnitt, Reduktionsfaktor, thermischer Grenzstrom, Baujahr usw., hinterlegt sein.

Ein Gleichlauf zwischen graphischen Daten und den Sachdaten ist sichergestellt. Dadurch bewirken Änderungen in der Graphik die entsprechenden Änderungen in den Sachda-

Figur 3 Ausschnitt aus der graphischen Datenbank mit Zellteilungsgrenzen



ten. Die Auswertung der Sachdaten ist auch ohne Graphik möglich. Die Sachdaten können aber auch in der Graphik dargestellt werden.

Die graphische Datenbank erstreckt sich über das gesamte zu bearbeitende Plangebiet. Dieses Gebiet ist in Zellen von je 4 KByte unterteilt. Ist die Aufnahmekapazität einer Zelle erschöpft, wird die Zelle automatisch geviertelt. Beim Lesen aus der Datenbank oder Schreiben in die Datenbank werden dann lediglich die für den Ausschnitt benötigten Zellen transferiert, was die Zugriffszeit wesentlich reduziert. Beim Lesen aus den Datenbank mit Rückschreibeabsicht sind die benötigten Zellen gesperrt, die anderen Zellen des Plangebietes können aber parallel dazu bearbeitet werden.

Figur 3 zeigt einen Ausschnitt aus der graphischen Datenbank. Die strichlierten Linien sind die Zellteilungsgrenzen.

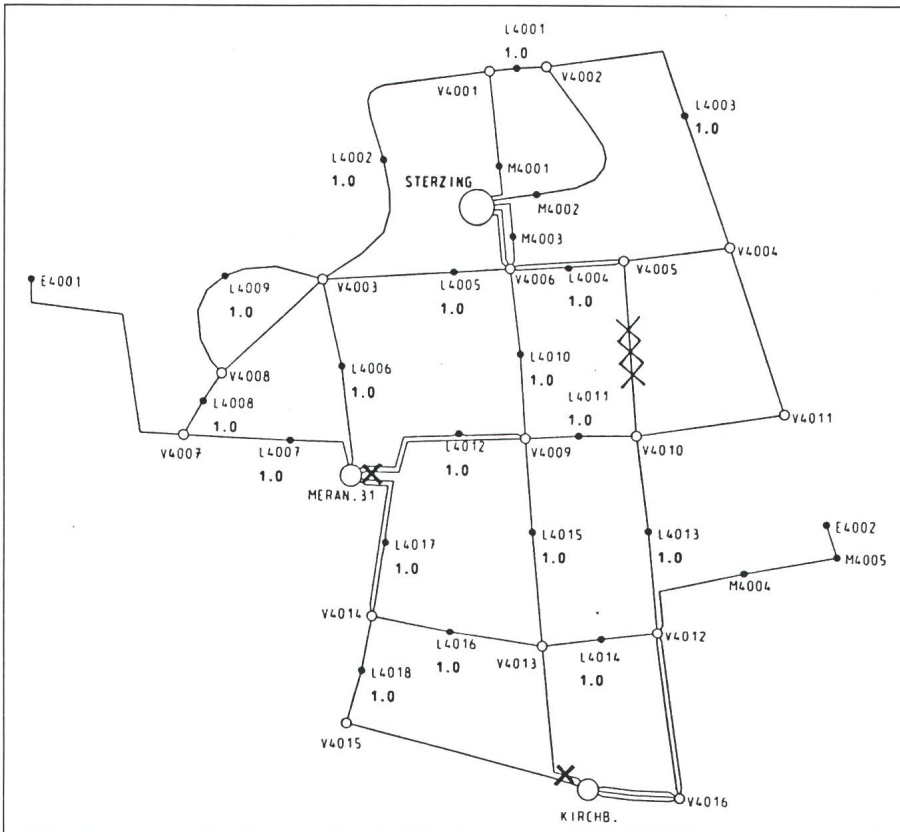
#### 5. Lagerichtige Netzpläne

Lagerichtige Netzpläne werden meist in Nieder- und Mittelspannungsnetzen verwendet. Die zu digitalisierenden Netzpläne haben in der Regel unterschiedliche Massstäbe. Die Zuordnung der Pläne erfolgt über Passpunkte. Mit Hilfe der graphischen Datenbank ist eine blattschnittlose Bearbeitung möglich.

Als Beispiel für die Anwendung von lagerichtigen Netzplänen wird ein kleines Niederspannungsmaschennetz gezeigt (Fig. 4), in dem die Sicherungsnennströme bestimmt werden sollen. Das Netz hat drei Stationen und eine

Anzahl von Verteilerschränken und Lastpunkten. Die Namen der Verteilerschränke beginnen mit V, diejenigen der Lastpunkte mit L. In der Symbolbibliothek sind für die Stationen zwei Symbole, für die Verteilerschränke und Lastpunkte je ein Symbol gespeichert. Die im Netz vorhandenen Kabel sind in der Leitungstypdatei abgespeichert, daraus sind die spezifischen elektrischen Werte bekannt. Die Leitungslänge ergibt sich aus der gezeichneten Länge und dem Massstab. Dadurch können die Leitungsimpedanzen im Mit- und Nullsystem berechnet werden. Nach dem Eingeben der Lasten in den Lastpunkten werden die Sicherungsnennströme dazugespielt. Im vorliegenden Fall wird angenommen, dass in allen Abgängen der Stationen und Verteilerschränke Sicherungen mit 100 A Nennstrom eingebaut sind.

Nach dem Ablauf des Programmes «Auswahl der Sicherungsnennströme» stehen die Ergebnisse in alphanumerischer Form zur Verfügung. Da in Niederspannungskabelplänen meist wenig Platz zur Ergebnisdarstellung vorhanden ist, wurde zur «Negativauswertung» übergegangen, das heisst, dass nur überlastete Leitungen, zu niedrige Knotenspannungen und Widersprüche bei der Dimensionierung der Sicherungsnennströme in den Plan eingetragen werden. Im Plan wird dies durch Kreuze sichtbar gemacht. Im vorliegenden Netz ist in zwei Fällen der Sicherungsnennstrom zu gross, was durch je ein Kreuz im Plan vermerkt wird. Es würde sich eine zu lange Abschaltzeit bei einpoligen Fehlern im Schutzbereich ergeben.



Figur 4 Lagerichtiger Netzplan

Die drei Kreuze im Leitungszug deuten darauf hin, dass der verwendete Kabelquerschnitt nach VDE 0100, Teil 523, nicht mit 100 A abgesichert werden darf. Die genauen Werte können am alphanumerischen Bildschirm oder im Schnelldruckerprotokoll angesehen werden.

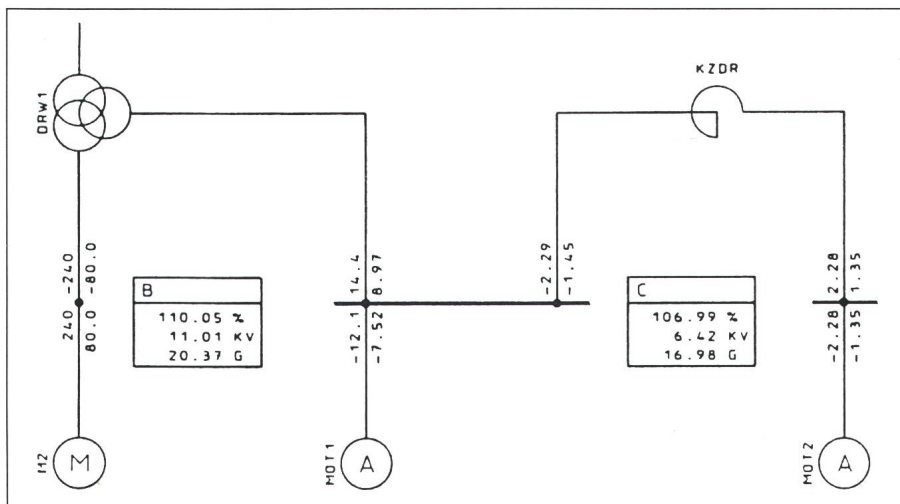
## 6. Schematische Netzpläne

Schematische Netzpläne werden in Industrie-, Mittel- und Hochspannungsnetzen verwendet. Es handelt sich meist um Übersichtspläne, die räumliche Zuordnung geht verloren.

Das System arbeitet mit waagerechten und senkrechten Sammelschienen sowie mit Knoten. Während Knoten maximal vier Anschlusspunkte haben, ist die Länge der Sammelschiene durch die Anzahl der Abgänge bestimmt. Der minimale Abstand zwischen zwei Abgängen ergibt sich durch den Flächenbedarf für die Schrift beim Eintragen der Ergebnisse.

Die Arbeitsweise ist die gleiche wie bei den lagerichtigen Netzplänen. Nach dem Digitalisieren der Netzpläne, der Eingabe der elektrischen Daten und der Rechnung können folgende Netzpläne erzeugt werden:

- Leerbild mit der Topologie, den Knoten- und Elementnamen,
- Leerbild mit der Topologie, den Knotennamen und Nennspannungen, den Elementnamen und elektrischen Eingabedaten,
- Ergebnisdaten mit der Topologie, Knotennamen sowie Knoten- und Zweigergebnisse entsprechend der jeweiligen Berechnungsart (Fig. 5).



Figur 5 Schematischer Netzplan mit Lastflussergebnissen

Die Erfahrungen zeigen, dass geschlossene Systeme wie das hier vorgestellte für Netzdokumentation und Netzberechnung in der Praxis wirtschaftlich eingesetzt werden können.