**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:** 77 (1986)

**Heft:** 13

**Artikel:** Rechnergestützte Auswertung systematischer Netzbelastungsmessungen

**Autor:** Marty, Walter

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-904227

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 12.07.2025

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

# Rechnergestützte Auswertung systematischer Netzbelastungsmessungen

***In Niederspannungs-Verteilnetzen wird der herkömmliche Streifenschreiber, der nur bei Bedarf an kritischen Stellen des Netzes eingesetzt wird und dessen Registrierstreifen nur mit grossem Aufwand auswertbar sind, zunehmend durch eigentliche Messsysteme abgelöst, die alle Teilbereiche von der lokalen Datenerfassung über den Transport bis zur Auswertung und Archivierung in einer zentralen Stelle umfassen. Auch komplexe statistische Berechnungen und Datenbankfunktionen können in einer für den Benützer leicht verständlichen Dialogführung realisiert werden. Es wird ein derartiges Messsystem beschrieben.***

***Dans des réseaux de distribution en basse tension, l'enregistreur sur bande, qui n'est installé au besoin qu'à des endroits critiques du réseau et dont les bandes ne peuvent être interprétées que malaisément, est de plus en plus souvent remplacé par des systèmes de mesure, dont tous les domaines partiels, de la détection des données au transport, à l'interprétation et à l'archivage, aboutissent à un poste central. Des calculs complexes de statistique et des fonctions de banque de données sont réalisables par la conduite d'un dialogue aisément compréhensible pour l'utilisateur. C'est un système de ce genre qui est décrit.***

**Adresse der Autoren**

*Walter Marty*, Leiter technische Datenverarbeitung, und
*Werner Witz*, Dr. sc. nat., Entwicklungsleiter,
ELMES Staub + Co. AG, 8805 Richterswil.

## 1. Einleitung

Belastungsmessungen einzelner Netzelemente im Niederspannungs-Verteilnetz spielen in der Elektrizitätsversorgung seit jeher eine wichtige Rolle. Sie sollen primär zeigen, wann ein bestimmtes Netzelement (Kabel, Transformator) wie hoch belastet ist. Zusammen mit den Kenndaten dieser Elemente (z.B. Leiterquerschnitte) und weiteren einsatzspezifischen Parametern (z.B. Verlegungsart eines Kabels) geben die Belastungsmessungen Auskunft über kritische Netzelemente, über Ausmass allfälliger Engpässe bzw. Reserven sowie über die zu erwartende Lebensdauer der Elemente. Diese Informationen bilden die Basis für den sicheren und wirtschaftlichen Netzbetrieb und liefern Entscheidungshilfen für die Planung des Netzausbaus, die Beurteilung von Anschlussgesuchen usw.

In der Regel werden Ströme, in Sonderfällen auch Leistungen gemessen. Für die Beurteilung der Belastung sind Momentanwerte wenig relevant; aufgrund der thermischen Zeitkonstanten der untersuchten Elemente muss die Messgrösse über Zeitintervalle von typisch 15 min gemittelt werden.

Das traditionelle Instrument für die Belastungsmessung ist der Punkt- oder Linienschreiber in ein- oder mehrkanaliger Ausführung. Seine Diagrammstreifen werden zumeist manuell ausgewertet, was zeitraubend und ungenau ist. Die Registrierkurven stellen näherungsweise Momentanwerte dar, aus denen die eigentlich interessierenden Mittelwerte nur schätzungsweise abzuleiten sind, sofern der Aufwand in Grenzen bleiben soll. Ein weiteres Problem betrifft die Archivierung der Messdaten: Der Zugriff auf abgelegte Registrierstreifen ist unpraktisch und langsam, das Volumen des Archivs gross.

Aus heutiger Sicht ist also der konventionelle Streifenschreiber für die systematische Datenerfassung als Grundlage langfristiger statistischer Untersuchungen gänzlich ungeeignet. Der Netzbetreiber verlangt vielmehr ein Messsystem, welches die Datenerfassung vor Ort, die Speicherung auf einem maschinell lesbaren Datenträger und den Einsatz neuzeitlicher EDV-Mittel zur Auswertung und Archivierung einschliesst [1; 2].

Der Einzug der dezentralen Datenverarbeitung mit Hilfe von Arbeitsplatzrechnern (Personal-Computern) hat eine neue Dimension in das Gebiet der Belastungsmessung gebracht. Es ist heute möglich, nicht nur die Auswertung einzelner Messungen (einschliesslich ihrer Darstellung in tabellarischer oder graphischer Form), sondern auch weiterführende Berechnungen (z.B. Dauerkurven, Korrelation mehrerer Messreihen usw.) sowie die Archivierung aller wichtigen Messdaten und Resultate auf einem solchen Rechner vorzunehmen. Schnelle und exakte Datenverarbeitung, eindeutige und prägnante Darstellung der Ergebnisse, rascher Zugriff auf die gespeicherten Daten sind Merkmale eines derartigen Systems, welches trotz günstiger Kosten auch anspruchsvollen Messaufgaben – wie sie aus der Forderung nach ständiger Optimierung von Netzbetrieb und -planung resultieren – gerecht wird.

In den folgenden Abschnitten wird ein auf diesem Konzept basierendes Messsystem beschrieben, welches bereits seit einiger Zeit von zahlreichen Elektrizitätswerken (EVU) des In- und Auslandes eingesetzt wird.

## 2. Datenerfassung und Datenspeicherung

### *2.1 Registriergeräte*

Für die Belastungsmessungen werden gewöhnlich Messeinschübe mit Stromeingängen verwendet, welche über Zangenstromwandler angekoppelt werden. Es können aber auch Einschübe zur direkten Erfassung von Spannung, Wirk- und Blindleistung, Oberwellenpegel, Temperatur und Feuchte oder zum Zählen von Impulsen aus Energiezählern eingesetzt werden. Je nach Art des verwendeten Messeinschubs wird entweder der Mittelwert der Messgrösse über das gewählte Intervall, ein Extremwert oder der Momentanwert am Intervallende bestimmt und als 8-bit-Wort digitalisiert. Zur Erfassung und Speicherung der Messdaten dienen tragbare Kassetten-Registriergeräte in modularer Bauweise. Die Aufzeichnung erfolgt auf handelsüblichen C60-Kassetten.

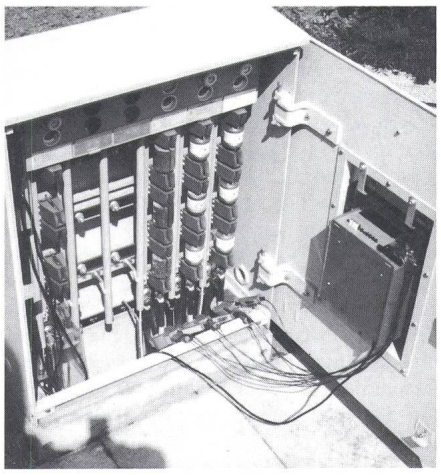


**Fig. 1 Kassettenregistriergerät eingebaut in der Türe eines Verteilkastens**

Entsprechend den unterschiedlichen Bedürfnissen stehen drei Grundgeräte-Typen zur Verfügung, mit denen (bei voller Bestückung mit Stromeinschüben) gleichzeitig 12, 21 oder 33 Stränge gemessen werden können. Figur 1 zeigt einen typischen Einsatz in einer Kabelverteilkabine.

Zusätzlich werden von allen Registriergeräten periodisch Zeit-/Datum-Codes, die Gerätenummer sowie die aktuelle Einschubkonfiguration gespeichert. Unterbrüche in der Speisespannung stören die Aufzeichnung nicht, da eine Pufferbatterie eingebaut ist.

### *2.2 Das Messprogramm*

Voraussetzung für systematische Belastungsmessungen im Rahmen eines Messsystems ist ein Konzept für den Geräteeinsatz. Das Messprogramm ist unter Berücksichtigung zahlreicher Faktoren aufzustellen: Art und Grösse des Netzes, Charakteristik massgeblicher Lasten, bisherige Aktivitäten auf dem Gebiet (d.h. bereits bekannte Daten), Struktur des EVU (zentrale oder mehrere regionale Betriebsleitungen) und natürlich nicht zuletzt auch finanzielle Erwägungen (personeller und apparativer Aufwand).

Als Beispiel für ein zweckmässiges Messprogramm seien Netzbelastungsmessungen im Stichprobenverfahren genannt. Im Niederspannungsnetz können diese am einfachsten mittels Strommessung auf der 0,4-kV-Seite der Transformatoren erfolgen. Je nach Netztopologie und -charakteristik sind auch Messungen an weiteren Punkten, z.B. in Kabelverteilkabinen oder an Kabeln zwischen diesen, zu empfehlen.

Jede Trafostation wird einmal alle ein bis zwei Jahre gemessen. Meistens genügt es, pro Strang eine Phase herauszugreifen; an kritischen Stellen soll jedoch dreiphasig gemessen werden. Der Zeitpunkt der Messung muss in die Periode mit dem höchsten Verbrauch gelegt werden, d.h. also für Wohngebiete in die Wintermonate. Es empfiehlt sich ferner, dieselbe Station nicht immer im selben Monat zu erfassen. Die Dauer der Messung hängt in der Praxis von der Netzgrösse und der Anzahl vorhandener Geräte ab. Ideal ist eine Messung über eine volle Woche, häufig genügen auch 24 h.

Ist das Netz einmal systematisch durchgemessen, sinkt der Aufwand für die folgenden Jahre ganz erheblich. Mit Hilfe des Auswerterechners werden nämlich alle kritischen Netzelemente (z.B. mit einer Belastung von über 75% des zulässigen Maximalwerts) gesucht und in erster Priorität gemessen. Für die übrigen Elemente genügen dann grössere Zeitabstände.

## 3. Auswertung der Messdaten

### *3.1 Auswertesystem*

Bei der Durchführung eines Messprogramms fällt ein grosses Datenvolumen an. Diese Daten müssen aufbereitet, klassiert, sortiert, komprimiert und in geeigneter Form dargestellt werden, bevor sie als Entscheidungsgrundlage dienen können.

Alle diese Schritte erfolgen in einem zentralen Auswertesystem (Fig. 2), welches aus einem Arbeitsplatzrechner mit angeschlossenem Kassettenleser sowie weiteren Peripheriegeräten (Drucker, Plotter) besteht. Die Kassette mit den gespeicherten Messdaten wird zunächst eingelesen und automatisch auf Fehler kontrolliert. Einige Zusatzinformationen wie Ort des Messung, Übersetzungsverhältnisse von Strom- und Spannungswandlern können manuell eingegeben werden. Die Gesamtheit der Daten wird schliesslich auf Diskette oder Festplatte gespeichert und steht dann für weitere Verarbeitungsschritte entsprechend den individuellen Anforderungen bereit.

### *3.2 Auswertung*

Grundsätzlich gliedert sich das gespeicherte Datenmaterial in einzelne Messreihen. Eine solche ist stets einem bestimmten Netzelement zugeordnet und besteht aus einer lückenlosen Folge von Werten, die in konstantem zeitlichem Abstand («Intervall») gemessen wurden.

Das vorhandene Programmpaket besteht aus Programmen zur Darstellung von Messreihen sowie Verarbeitungsprogrammen, welche aus einer oder mehreren Messreihen eine neue Messreihe erzeugen. Unabhängig von ihrer Herkunft (direkt aus Messdaten oder als Resultat eines Verarbeitungsprogramms) kann jede Messreihe allen Verarbeitungsprogrammen zugeführt werden.

#### Darstellung von Messreihen

Bevorzugt erfolgt die Ausgabe von Resultaten in Form von
- Messwertlisten
- Extremwerten
- Grenzwertüberschreitungen
- prozentualer Messwertverteilung
- Belastungsgrad bzw. Verlustleistungsfaktor (berechnet)
- Summen (bzw. Mittelwerten) und Standardabweichungen (berechnet).

Alle diese Listen (bzw. Darstellungen) beziehen sich entweder auf die Gesamtheit der Werte einer Messreihe, oder es können bestimmte Zeitfenster ausgeblendet werden. So ist es z.B. möglich, ausgehend von einer dreiwöchigen Messreihe eine Liste mit den jeweils an zwei Wochentagen in der Zeit von 6 bis 20 Uhr aufgetretenen Höchst- und Tiefstwerten auszugeben.

Daneben existieren folgende Arten der graphischen Darstellung:
- Lastverlauf über einen Tag oder eine Woche
- Tagesextremwertkurve
- Dauerkurve.

Alle Resultate können wahlweise über Bildschirm oder Drucker abgerufen werden.

#### Verarbeitungsprogramme

Zur Datenkompression innerhalb einer Messreihe können entweder Mittelwerte über feste oder gleitende Intervalle vorge-

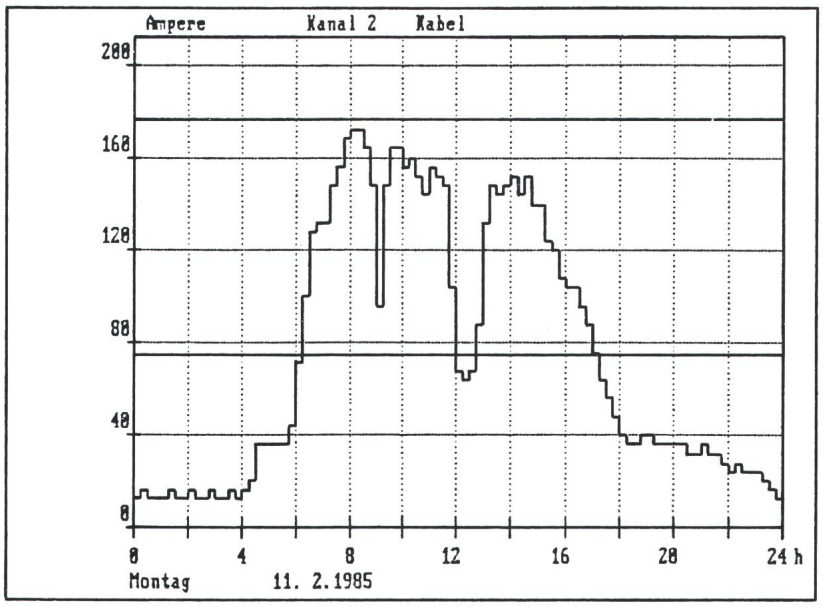
**Fig. 2 Auswertesystem, basierend auf IBM-PC, mit angeschlossenem Kassettenleser und Drucker**

```
Belastungsberechnung, Messung auswerten          Messung: S58J85
-----------------------------------------------  01.11 ---- Seite 1

Auswerteperiode        Sa 09.02.85 00:00   bis   Do 14.02.85 24:00
Gewaehlte Wochentage Mo  Di  Mi  Do  Fr  Sa  So
Intervall-Laenge       15 Min.

Messungscode : S0058-2 / 0285 / Nora

Kanal  2  Untervilligen Hafenquartier/Kanalstrasse
```




```
Maximalwert          :          172 Ampere
Mittelwert           :           75 Ampere
Belastungsgrad       :         0.44
Imax zulaessig       :          177 Ampere
Auslastung           :           97 %

Text : Station S0058, Leitung 2

Leitungsschluessel : S0058-2          Verlegeart          : Rohr
Kabeltyp           : xlpe             Material            : Cu
Kabelgruppe        : 1
Querschnitt        : 150 mm2          Leitertemperatur    : 90°
Erdbodenwiderstand :    0.90   K.m/W  Erdbodentemperatur  : 15°

Rohrlagen:  2     Rohre pro Lage:  6   Kabel pro Rohr:  3
```

**Fig. 3 Resultat einer Kabelbelastungsrechnung**

gebener Länge gebildet oder Höchst- und Tiefstwerte über gegebene Intervalle bestimmt werden.

Ein spezielles Programm erlaubt sodann die arithmetische Verknüpfung mehrerer Messreihen gemäss einer frei definierbaren Formel, die neben den Grundoperationen auch alle gebräuchlichen Funktionen wie Wurzel, Logarithmus usw. sowie Konstante enthalten darf. Die Verknüpfung erfolgt entweder zeitgleich (d.h. zwischen den Elementen, die zum selben Zeitpunkt gehören), oder dann werden einzelne der beteiligten Messreihen vorgängig zeitlich verschoben. Als Beispiel für den ersten Fall sei die Belastung eines Transformators als Summe der Belastungen aller abgehenden Kabelstränge genannt, für den zweiten die prozentuale Abweichung einer Tageslastkurve im Vergleich zu einem anderen Tag.

Schliesslich besteht auch die Möglichkeit, mehrere zeitlich gestaffelte Messreihen, welche dieselbe Messgrösse betreffen, zeitrichtig zu einer einzigen Messreihe zusammenzufügen.

## 4. Kabelbelastung

Die Bestimmung der maximal zulässigen Kabelbelastung ist ein vielschichtiges und komplexes Problem. Zwar sind heute Methoden zur exakten Berechnung prinzipiell bekannt, doch stehen die erforderlichen Rechner und Rechenprogramme meist nicht zur Verfügung [3]. Weiter ist zu bedenken, dass solche Rechnungen auf einer Vielzahl von Parametern aufbauen, die in der Praxis entweder nicht oder nur annäherungsweise bekannt sind. Es erscheint deshalb sinnvoll, die im folgenden skizzierte vereinfachte Berechnungsmethode zu verwenden. Sie ist so gestaltet, dass ihre Ergebnisse stets auf der sicheren Seite liegen.

Als Grundlage dient der Nennstrom des Kabels, wie er vom Hersteller für bestimmte Umgebungs- und Verlegebedingungen spezifiziert wird. Abweichende Bedingungen (wie z.B. die Anzahl und Anordnung der Kabel) werden über empirische Korrekturfaktoren erfasst und jeweils (pro Parameter) in einer vom Benützer frei belegbaren Tabelle gespeichert. Der Einfluss des Belastungsgrades kann durch Analyse der gemessenen Tageslastspiele und Aussuchen des kritischen Tages ebenfalls über einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden. So errechnet sich insgesamt der für ein bestimmtes Kabel der Installation zulässige Maximalstrom ($I_{max}$). Der Vergleich mit den ebenfalls von der Messung des kritischen Tages gelieferten Mittel- und Höchstwerten ergibt schliesslich, wie in Figur 3 gezeigt, ein gutes Bild über die Auslastung der Leitung.

Im Hinblick auf eine rationelle Abwicklung der Kabelbelastungs-Berechnung werden alle für die Auswertung benötigten Parameter der einzelnen Leitungen in einer Datenbank abgelegt. Im aktuellen Fall muss dann nur noch die Zuordnung der Kanäle zu den interessierenden Leitungen eingegeben werden. Danach erfolgt automatisch für jede gewählte Leitung die Berechnung und Ausgabe gemäss Figur 3. Dieser Ablauf wird durch die Möglichkeit der Stapelverarbeitung erleichtert.

## 5. Ausblick

Eine Ergänzung der Datenbank durch komprimierte Ergebnisse ist vorgesehen, die für Bewilligungsverfahren, Planung von Messkampagnen und Beurteilung von Tendenzen herangezogen werden können.

Schliesslich wäre es in vielen Fällen sinnvoll, den für die Messdatenauswertung benützten Arbeitsplatzrechner mit weiteren Computern zu vernetzen. Dadurch würde insbesondere der Zugriff auf andere Datenbanken ermöglicht, z.B. auf die neuesten Netzdaten, die in einem Grossrechner gespeichert sind.

### Literatur


[1] *A. Brechbühler:* Computergestütztes Erfassen und Auswerten der thermischen Belastung eines städtischen Verteilnetzes. Bull. SEV/VSE 74(1983)24, S. 1422...1425.

[2] *K. Reichert* und *E. Handschin:* Prozessdatenverarbeitung mit Arbeitsplatzcomputern. Bull. SEV/VSE 76(1985)2, S. 85...89.

[3] *H. Nyffenegger:* Berechnung der Erwärmung und zulässigen Belastung von Hochspannungs-Polymerkabeln mittels Taschenrechnern. Bull. SEV/VSE 73(1982)9, S. 425...429.