

**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:** 82 (1991)

**Heft:** 15

**Artikel:** Digitaler Spannungs-Analysator (DSA), Messgerät zur Analyse von Netzurückwirkungen

**Autor:** Schreiber, Rolf

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902986>

### **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:** 17.03.2025

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

# Digitaler Spannungs-Analysator (DSA), Messgerät zur Analyse von Netzrückwirkungen

Rolf Schreiber

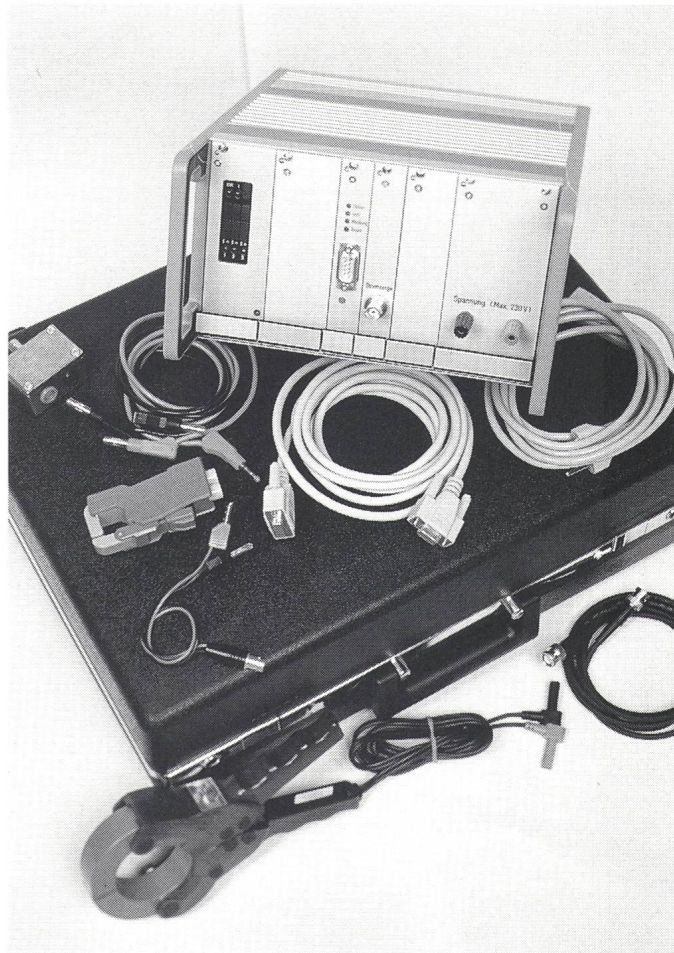
**Die zunehmende Belastung der elektrischen Verteilnetze mit elektronischen Schaltungen (Leistungselektronik) zwingt die Elektrizitätswerke und Ingenieurbüros, dem Problemkreis Netzrückwirkungen vermehrt Beachtung zu schenken. Nebst den theoretischen Berechnungen sind aussagekräftige Messungen bezüglich Oberschwingungen und Spannungsänderungen unerlässlich. Ein geeignetes Messsystem dazu wird beschrieben und einige damit ausgeführte Messungen gezeigt.**

**L'accroissement de la charge des réseaux de distribution d'énergie électrique dû aux circuits électroniques (électronique de puissance) oblige les entreprises d'électricité et les bureaux d'ingénieurs à vouer une attention accrue aux problèmes des réactions sur les réseaux. Outre des calculs théoriques, des mesures représentatives concernant les harmoniques et les variations de tension sont nécessaires. Un système de mesure adéquat est présenté et quelques mesures effectuées avec celui-ci présentées.**

Wenn man früher von Verbrauchern sprach, so meinte man damit stets Lasten, die bei sinusförmiger Spannung dem Netz auch einen sinusförmigen Strom entnehmen. Es ist inzwischen bekannt, dass die Verwendung moderner, elektronischer Bauteile und Schaltungen zu Netzrückwirkungen infolge von nichtlinearen Strombezügen führt. Ebenso treten Spannungsänderungen immer dann auf, wenn Lasten zu- oder abgeschaltet werden. Ob diese Spannungsände-

rungen störend sind oder nicht, ist abhängig von der Leistung der geschalteten Last, von der Netzimpedanz und der Schalthäufigkeit.

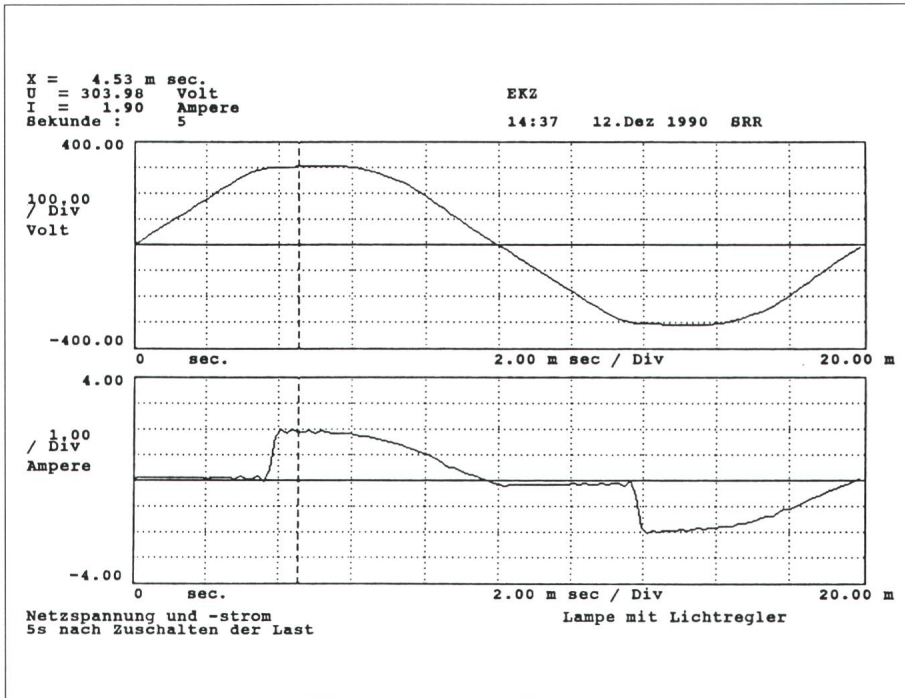
Grundlage für die Beurteilung von Netzrückwirkungen bildet die Schweizer Norm SN 413600 «Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen (Oberschwingungen und Spannungsänderungen)». Diese Norm beinhaltet unter anderem ein Berechnungsverfahren, welches dem Elektrizitätswerk ermöglicht, die Netzrück-



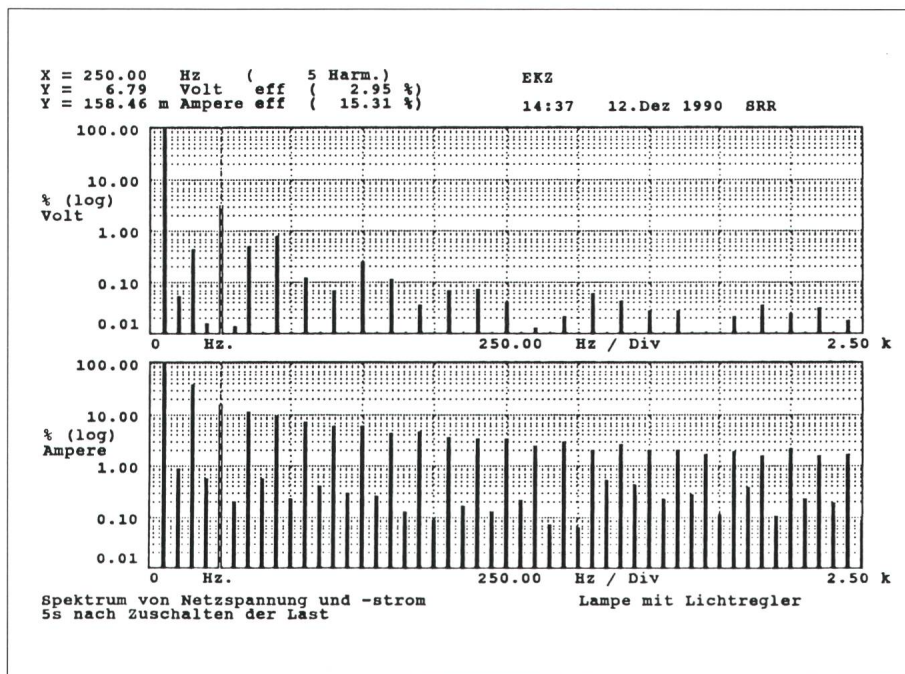
**Bild 1**  
**Digitaler Spannungs-analysator DSA für die Analyse von Netzrückwirkungen**  
Messgerät mit Zubehör  
Für den Betrieb ist im weiteren ein kompatibler PC mit der DSA-Software notwendig. Die Verbindung zwischen dem Messgerät und dem PC erfolgt über eine serielle Schnittstelle RS232

#### Adresse des Autors

Rolf Schreiber, El. Ing. HTL, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Postfach, 8022 Zürich



**Bild 2 Spannungs-/Stromverlauf einer Lampe mit Phasenanschnittsteuerung**  
 obere Kurve: Netzspannung  $u$  während einer Periode, 5s nach dem Zuschalten der Last  
 untere Kurve: Laststrom  $i$  während einer Periode, 5s nach dem Zuschalten der Last  
 Abszisse: Zeit in 2ms/Einheit  
 gestrichelte Linie: Cursor-Stellung, zum Ablesen der genauen Messwerte  
 Werte links oben: Messwerte  $U$  und  $I$  für Spannung und Strom zum Zeitpunkt  $X$ , entsprechend der Cursor-Stellung



**Bild 3 Frequenzspektrum für Spannung und Strom einer Lampe mit Phasenanschnittsteuerung**  
 Die Frequenzspektren entsprechen dem Spannungs- und Stromverlauf nach Bild 2  
 obere Figur: Amplituden der Spannungsüberschwingungen  $Y$ , in Prozent der Amplitude der Spannungsgrundschiwingung (Massstab logarithmisch)  
 untere Figur: Amplitude der Stromüberschwingungen  $Y$ , in Prozent Amplitude der Stromgrundschiwingung (Massstab logarithmisch)  
 gestrichelte Linie bei 250 Hz: Cursor-Stellung, zum Ablesen der genauen Messwerte  
 Werte links oben: Messwerte  $Y$  bei der Frequenz  $X = 250$  Hz für die Strom- und Spannungsamplituden, entsprechend der Cursor-Stellung

wirkungen einer projektierten Anlage zu berechnen. Dabei dürfen die vorgeschriebenen Grenzwerte bezüglich Oberschwingungsspannungsbeiträgen und zulässigen Spannungsänderungen nicht überschritten werden. Grundsätzlich sind im Zusammenhang mit Netzrückwirkungen folgende Aspekte zu betrachten:

- die Netzimpedanz wird mit der Zeit im allgemeinen immer kleiner (dichtere Besiedlung, vermehrte Verkabelung usw.)
- immer mehr Lasten werden immer schneller geschaltet (z.B. Schwingungspaketsteuerung) oder weisen bezüglich Oberschwingungen stets grössere Anschlussleistungen auf (z.B. USV-Anlagen)
- immer mehr Gewerbebetriebe und Kleinindustrien siedeln sich in ländlichen Gebieten an (Gebiete mit noch hoher Netzimpedanz) und zwingen zum Ausbau der Netze
- die Sensibilität der Konsumenten hat stark zugenommen; jeder erwartet eine hohe Qualität der Spannung (Betriebsicherheit von PC und anderen elektronischen Geräten).

Alle diese Aspekte verlangen von den Elektrizitätswerken eine vermehrte Beachtung der Problematik Netzrückwirkungen. In der Folge geht es darum, dass nicht nur Netzrückwirkungen in der Theorie berechnet werden können, sondern dass in der Praxis auch aussagekräftige Messungen (z.B. Abnahmemessungen) durchzuführen sind.

Für das Messen von Oberschwingungen sind heute auf dem Markt verschiedene Messgeräte in unterschiedlichen Preisklassen erhältlich. Diese Geräte weisen aber den erheblichen Nachteil auf, dass die Oberschwingungsspannungsbeiträge, die von Geräten und Anlagen verursacht werden, nicht direkt gemessen werden können. In der Regel sind zu diesem Zweck zwei Messungen notwendig (Netz allein und Netz mit Oberschwingungserzeuger), wobei dann von den beiden Messungen die Differenz zu bilden ist. Daraus resultiert die relative Oberschwingungsspannungserhöhung. Eine vektorielle Differenzbildung ist mit diesen Messgeräten nicht möglich.

Auch das Messen von Spannungsänderungen, zum Beispiel der Spannungseinbruch beim Zuschalten eines Motors, bietet gewisse Probleme, da diese Änderungen in der Regel nur

### Beschreibung und Konzept des DSA

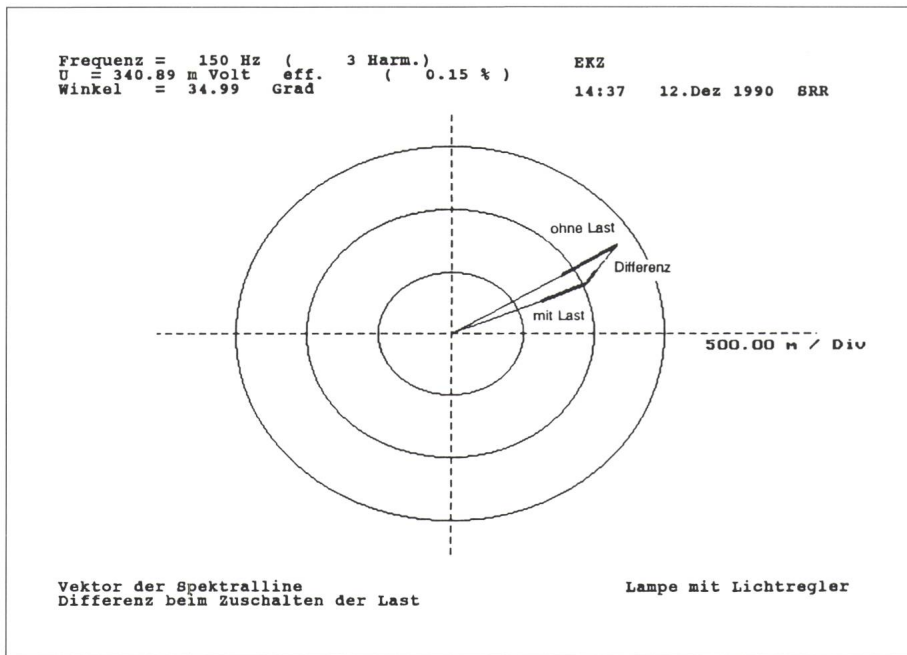
Das Messsystem setzt sich aus dem Messgerät DSA (aufgebaut in einem Rack) und der Software für einen IBM-PC (oder kompatibler PC) zusammen. Die Verbindung zwischen Messgerät und PC erfolgt über eine serielle Schnittstelle (RS232). Die innere Struktur des DSA besteht im wesentlichen aus vier Teilen mit den folgenden Funktionen:

- Signalaufbereitung inklusive Schutz der Eingangskreise
- Taktaufbereitung (Phased Locked Loop)
- Steuer und Rechenwerk (Mikroprozessor)
- Datenspeicher RAM

Im DSA selbst werden nur die Funktionen «Daten aufnehmen», «gemittelte Kurven bilden» und «Übertragung an den PC» ausgeführt. Die eigentlichen Berechnungen wie Fourier Transformation und Berechnungen zur graphischen Darstellung werden auf dem PC ausgeführt.

Der Stromkanal des Messgerätes wird über eine Stromzange angeschlossen. Je nach zu erwartender Grösse des Maximalstromes ist die entsprechende Zange auszuwählen. Zum Messgerät gehören zwei Zangen, eine für kleinere Ströme bis etwa 100A und eine für grössere Ströme bis rund 500A. Der Spannungskanal des Messgerätes wird über die Messbuchsen direkt an den zu messenden Pol und den Neutraleiter angeschlossen (230 V<sub>eff</sub>). Zur galvanischen Trennung ist im DSA ein Spezialspannungswandler eingebaut.

Das Messsystem ist so konzipiert, dass damit die Auswirkungen einer



**Bild 4 Vektorielle Darstellung der Spannungsdifferenz mit/ohne Last**  
 Beispiel für die 3. Harmonische (150 Hz) einer Lampe mit Phasenanschnittsteuerung (entsprechend den Bildern 2 und 3)  
 Angabe der absoluten Werte der Spannungsvektoren in mV/Einheit  
 Der Winkel der Spannungsvektoren wird bezogen auf die Spannungsgrundschiwingung

einige Prozente der Nennspannung betragen. Verschiedene Hersteller bieten dazu sogenannte Spannungslupen an, welche im Prinzip klassische Voltmeter sind, allerdings mit unterdrücktem Nullpunkt. In der heute üblichen elektronischen Version wird für die Nullpunktunterdrückung ein geschalteter Verstärker verwendet, welcher oberhalb einer bestimmten Eingangsspannung die Messgrösse mit erhöhter Auflösung bestimmt. Dabei ist von der Dynamik her zu berücksichtigen, dass diese Spannungslupen eine Verlangsamung der Vorgänge mit sich bringen, so dass nicht zuverlässig auf die Geschwindigkeit und Grösse der Spannungsänderung geschlossen werden kann.

Diese Probleme der Messtechnik waren der Anlass für eine Zusammenarbeit zwischen den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ) und der Professur für Leistungselektronik und Messtechnik an der ETH Zürich. Ziel war es, ein Messverfahren zu definieren und zu realisieren, mit welchem die Kurvenformänderungen über einen mittleren Zeitraum (bis maximal einige Sekunden) erfasst und dargestellt werden können. Daraus ging der Digitale Spannungs-Analysator (DSA) hervor. Mit diesem Gerät kann die Spannungsverzerrung durch einen zusätzlichen Verbraucher, im

bereits verzerrten Netz, messtechnisch erfasst werden. Da das gewählte Messverfahren sowie der funktionierende Prototyp sehr vielversprechend waren, wurde das Gerät weiterentwickelt und schliesslich zur Produktionsreife gebracht. Davon ausgehend, dass das Messgerät (DSA) auch für andere Elektrizitätswerke oder Industriebetriebe von Interesse ist, haben die EKZ einen Partner gesucht, welcher den Vertrieb des DSA, mit entsprechender technischer Unterstützung, übernehmen kann. Das Gerät ist heute kommerziell erhältlich (Bild 1).

OS	Spannung ohne Last	mit Last	Differenz	Norm über Norm	Norm 3600
1	97.31	96.92	0.43		
2	0.04	0.05	0.01		0.30
3	0.57	0.44	0.15		0.85
4	0.02	0.02	0.01		0.20
5	2.97	2.95	0.02		0.65
6	0.02	0.01	0.01		0.20
7	0.45	0.49	0.04		0.60
8	0.01	0.00	0.01		0.20
9	0.69	0.74	0.05		0.40
10	0.01	0.01	0.00		0.20
11	0.12	0.12	0.02		0.40
12	0.01	0.00	0.01		0.20
13	0.06	0.07	0.02		0.30
14	0.00	0.01	0.00		0.20

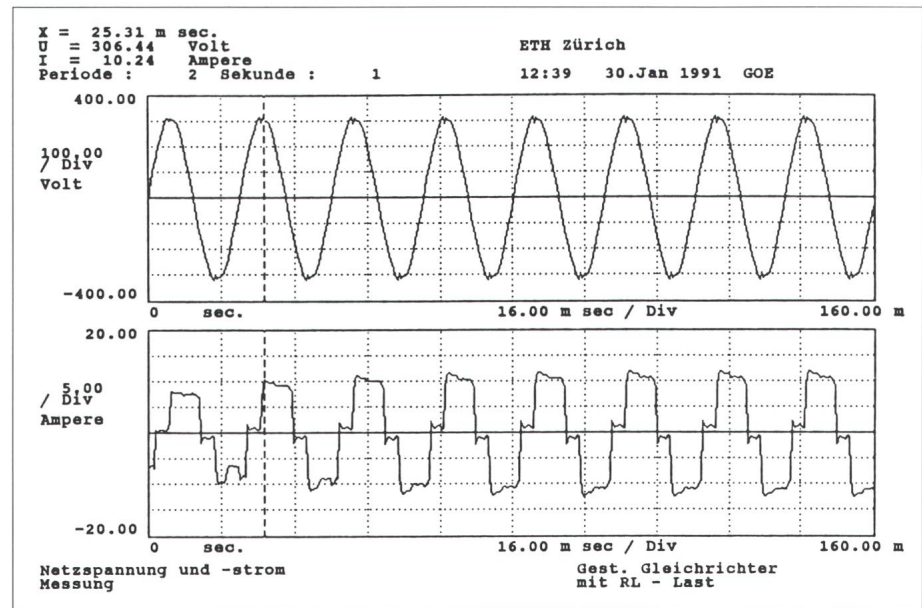
**Bild 5 Ausgabe des Frequenzspektrums in Tabellenform**  
 Frequenzspektrum für Lampe mit Phasenanschnittsteuerung (entsprechend den Bildern 2...4)  
 Die Oberschwingungen sind hier durch ihre Spannungsamplituden, in Prozent der Amplitude der Spannungsgrundschiwingung, charakterisiert; in gleicher Weise kann auch das Stromspektrum ausgegeben werden.  
 Netzennennspannung: 230 V

Last auf das Netz gemessen werden können. Dazu wird die Netzspannung vor dem Zuschalten der Last und mit eingeschalteter Last gemessen. Danach werden die Messwerte verglichen. Zusätzlich wird auch der Strom gemessen, einerseits um das Einschalten der Last zu detektieren (Ansteigen des Stromes) und andererseits um die erzeugten Ströme betrachten zu können.

Der Programmablauf ist menügeführt und einfach in der Bedienung. Die Messresultate können sowohl numerisch wie auch graphisch (Frequenz- und Zeitbereich) auf dem Bildschirm dargestellt werden. Eine Hilfefunktion ist jederzeit abrufbar. Die Messresultate können abgespeichert werden, so dass diese zu einem späteren Zeitpunkt (z.B. für Vergleichszwecke) wieder auf dem Bildschirm angezeigt werden können.

## Messmöglichkeiten des DSA

Das DSA Messgerät mit eigenem Mikroprozessor ermöglicht dem Netzfachmann die lückenlose Analyse seiner Netzprobleme. DSA erlaubt sowohl statische Momentaufnahmen wie auch die Untersuchung von dynamischen Vorgängen. Die Stärke des Gerätes liegt in seiner PC-Auswertungs-



**Bild 6 Spannungs-/Stromverlauf eines gesteuerten Gleichrichters**

Messkurven zur Untersuchung des Einschaltvorgangs

obere Kurve: Netzspannung  $u$  als Funktion der Zeit

untere Kurve: Strom  $i$  als Funktion der Zeit

Abszisse: Zeit in 16ms/Einheit

Ordinaten: Spannung  $u$  in 100V/Einheit, Strom  $i$  in 5A/Einheit

gestrichelte Linie: Cursor-Stellung, zum Ablesen der genauen Messwerte

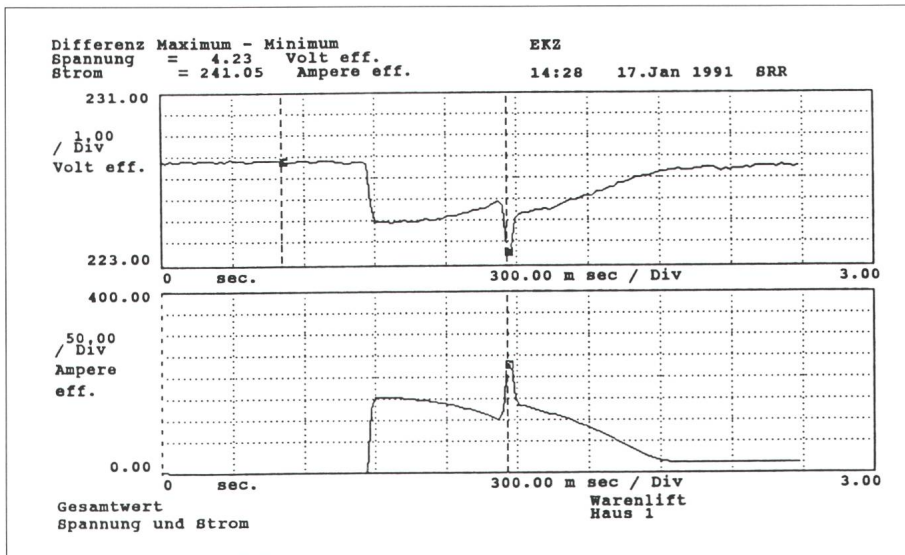
Werte links oben: Messwerte für die Cursor-Stellung

software. Jeder Vorgang wird in aussagekräftigen Diagrammen dargestellt. Mit dem DSA bestehen Messmöglichkeiten im stationären Zustand wie auch bei Einschaltvorgängen.

## Stationärer Zustand

Die Untersuchung des Netzes erfolgt im eingeschwungenen Zustand. Dargestellt werden Spannung und Strom im Zeit- sowie Frequenzbereich (geeignet für die Untersuchung von anschnittgesteuerten Lasten). Angezeigt wird eine Netzperiode (gemittelt aus 64 Netzperioden) oder das Spektrum davon, bis zur 50. Harmonischen. DSA zeigt wahlweise das Netz ohne oder mit zugeschalteter Last, ebenso die Differenz beider Schaltzustände.

- **Messwerte:** gezeigt werden sowohl Zeitverlauf wie auch Frequenzspektren
- **Norm SN 413600:** Bei der Darstellung der Differenzspannungsspektren werden Überschreitungen der zulässigen Normwerte gekennzeichnet
- **Vektoren:** Die Frequenzkomponenten werden als Vektoren mit Bezug auf die Grundschwingung dargestellt (graphische Darstellung der vektoriellen Addition)



**Bild 7 Spannungs- und Stromverlauf eines Liftmotors (Anlaufvorgang)**

Messkurven zur Untersuchung des Anlaufvorgangs

obere Kurve: Netzspannung  $u$  als Funktion der Zeit

untere Kurve: Strom  $i$  als Funktion der Zeit

Abszisse: Zeit in 300ms/Einheit

gestrichelte Linien: Cursor-Stellungen, zum Ablesen der genauen Messwerte (Differenz zwischen Maximum und Minimum)

Werte links oben: Messwerte für die Cursor-Stellungen

## Messung dynamischer Vorgänge (Einschaltvorgang)

Im Gegensatz zum stationären Zustand werden die Daten bei dynamischen Vorgängen nicht gemittelt. Sie können wie auf einem Oszillographen

über die ganze Messzeit betrachtet werden. Selbstverständlich können die Signale auch «gezoomt» werden. Es lassen sich so Strom-/Spannungsverlauf zum Beispiel beim Einschalten eines Motors untersuchen.

- *Messwerte:* Die gemessenen Daten werden direkt (ohne Mittelung) dargestellt. Auf dem Bildschirm können in einem Bildausschnitt bis maximal 32 Netzperioden betrachtet werden; dabei beträgt der ganze Messbereich 8 Sekunden (2s vor dem Zuschalten und 6s nach dem Zuschalten der Last).
- *Referenzkurve:* Es wird eine über 64 Perioden gemittelte Kurve dargestellt, gemessen zwei Sekunden vor dem Zuschalten der Last.

- *Differenz:* Der Signalverlauf wird als Differenz zwischen ungemitteltem Messsignal und der gemittelten Referenzkurve gebildet.
- *Verlauf der Harmonischen:* Gezeigt wird der Verlauf der einzelnen Harmonischen (alle ungeraden bis zur 13. Harmonischen und die 2., 4., 6. Harmonische) oder der Verlauf des Gesamtwertes (Grundschiwingung + Harmonische).

## Ausgeführte Messungen

In den Bildern 2...7 sind Beispiele von ausgeführten Messungen dargestellt. Die Messresultate können sowohl auf dem Bildschirm betrachtet wie auch auf einem Drucker ausgegeben werden.

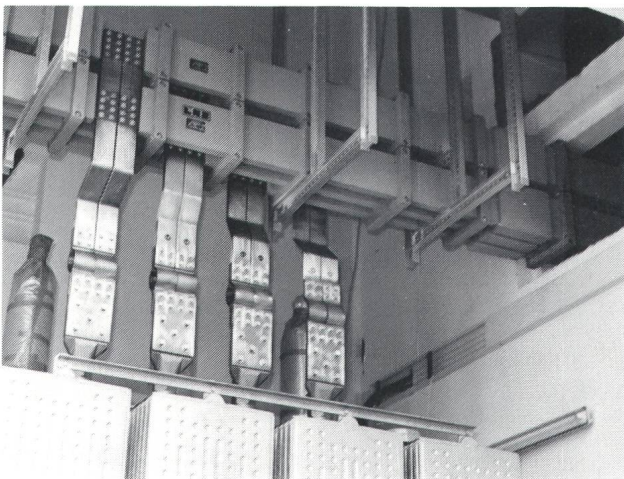
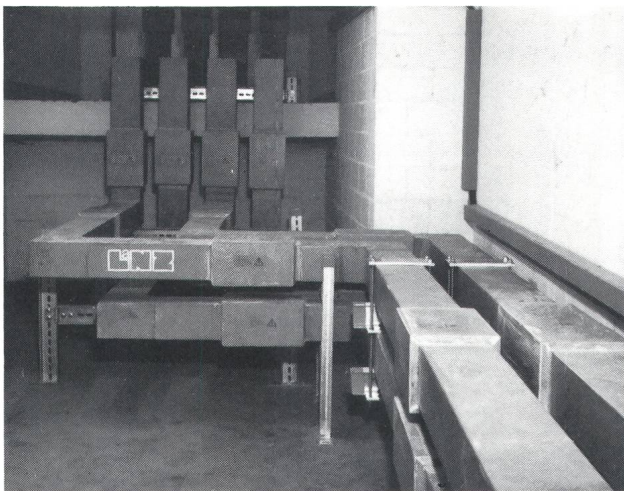
Die Bilder 2...5 sind Druckerausgaben von verschiedenen Messungen an einer Lampe mit Phasenanschnittsteuerung im eingeschwungenen Zustand (gemittelt über 64 Netzperioden). Beispiele von Messungen bei dynamischen Vorgängen (ohne Mittelung) zeigen die Bilder 6 (Einschaltvorgang eines gesteuerten Gleichrichters) und Bild 7 (Anlaufvorgang eines Liftmotors).

**Anmerkung:** Der beschriebene Digitale Spannungs-Analysator (DSA) wurde in enger Zusammenarbeit mit Professor *J. Weiler* (Professur für Leistungselektronik und Messtechnik an der ETH Zürich aufgrund einer Diplomarbeit von *Ph. Götz* und *A. Rupp* entwickelt. Der Verkauf des Geräts liegt bei der Firma Michels Datentechnik, Wädenswil.



Lanz – Ihr Berater und Problemlöser für die elektrische Energieverteilung

- Kabelträgersysteme
- Doppelböden
- **Stromschienen**



Beleuchtungsschienen 20A  
Stromschienen 100–3500A  
Betobarschienen IP68 bis 24 kV

Verlangen Sie unsere Dokumentation

**lanz oensingen ag**

4702 Oensingen Tel. 062/78 21 21 Fax 062/76 31 79

Mit 125000 Mitgliedern und 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sind wir die grösste schweizerische Arbeitnehmer-Organisation. Auf Oktober 91 oder nach Vereinbarung suchen wir eine(n)

**Leiter(in) Finanzen/Organisation**  
(Mitglied der Geschäftsleitung)

Als Mitglied der Geschäftsleitung sind Sie verantwortlich für das Finanz- und Rechnungswesen sowie für die Koordination der Bereiche Organisation und EDV.

Wir stellen uns einen Kandidaten oder eine Kandidatin vor, die über eine fundierte kaufmännische Ausbildung verfügt (Buchhalterdiplom, HWV-Abschluss, lic. oec. oder gleichwertige Fachkenntnisse) und einige Jahre Praxis in einer Kaderfunktion des Finanz- und Rechnungswesens ausweisen kann.

Gute Französischkenntnisse sind wegen unserer starken Präsenz in der Suisse Romande unerlässlich.

Für die Erfüllung Ihrer Aufgaben verfügen Sie über einen Stab qualifizierter Mitarbeiter in den Bereichen Buchhaltung, interne Revision, Controlling und EDV.

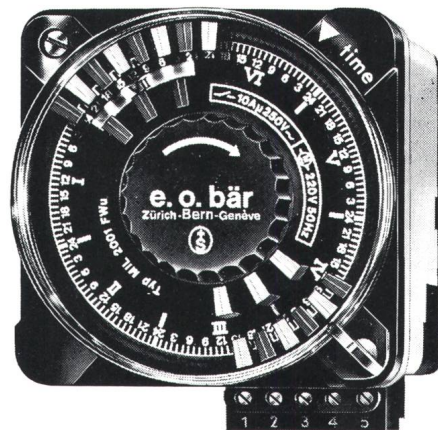
Ihre schriftliche Bewerbung richten Sie bitte an folgende Adresse:

Zentralsekretariat  
Gewerkschaft Bau und Holz  
z. Hd. Herrn R. Roost  
Postfach  
8021 Zürich



Die Gewerkschaft  
für das Bau-, Holz-  
und Planungsgewerbe

**GBH**



**Schaltuhren**

(und Stundenzähler)

**sind unsere Spezialität**

**e.o.bär**

3000 Bern 13

Postfach 11  
Wasserwerksgasse 2  
Telefon 031/22 76 11