

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING  
AND INFORMATION SCIENCE**



**INFORMATION TECHNOLOGY AND  
ELECTRICAL ENGINEERING -  
DEVICES AND SYSTEMS,  
MATERIALS AND TECHNOLOGIES  
FOR THE FUTURE**

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

## Impressum

Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff

Redaktion: Referat Marketing und Studentische  
Angelegenheiten  
Andrea Schneider

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Susanne Jakob  
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Redaktionsschluss: 07. Juli 2006

Technische Realisierung (CD-Rom-Ausgabe):  
Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht  
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Technische Realisierung (Online-Ausgabe):  
Universitätsbibliothek Ilmenau  
[ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau

Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2006

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

ISBN (Druckausgabe): 3-938843-15-2  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-938843-16-0

Startseite / Index:  
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

J. Schönau, R. Schmitt

## **Ein digitales Messsystem mit faseroptischem Eingang - Einsatz in der elektrischen Energietechnik -**

### **KURZFASSUNG**

Das digitale Messsystem AD3000 ist ein compact-PCI basiertes modulares Messdaten-Erfassungssystem, das sich durch eine flexible, leistungsfähige sowie störungsunempfindliche Datenerfassung und -auswertung auszeichnet. Es vereint die Funktionen eines Speicheroszilloskops, eines Transientenrekorders, eines Datenschreibers und eines Logikanalysators in einem Gerät, ohne dabei Einschränkungen hinsichtlich der Bedienbarkeit, der Funktionalität oder der Leistungsparameter hervorzurufen. An die optischen Messeingänge werden über faseroptische LWL-Verbindungen systemzugehörige Probes angeschlossen, die unmittelbar am Messort die unterschiedlichsten Messgrößen aufnehmen können. Durch die realisierte Gerätephilosophie und -struktur werden messtechnische Vorteile erzielt, die insbesondere bei Messungen unter typisch gestörten Umgebungsbedingungen energietechnischer Anwendungen wirksam werden. Der Beitrag beschreibt die bewertende Untersuchung des Systemverhaltens in elektrischen und magnetischen Umgebungsfeldstärken hoher Maximalwerte sowie mit schnellen Feldänderungs-Geschwindigkeiten und gibt erste Praxiserfahrungen wieder.

### **1 VORTEILHAFTE EIGENSCHAFTEN DES MESSSYSTEMS**

Die Haupteigenschaft des Messsystems ist durch dessen Betriebsweise über **optisch abgesetzte Messeingänge** gegeben, woraus gleich eine ganze Reihe messtechnischer Vorteile für den Praxiseinsatz resultiert.

Der Anschluss der Probes über LWL-Verbindungen mit Längen bis in den **km-Bereich** führt zu einer klaren Trennung zwischen dem Messort, mit den dort konkret vorliegenden Umgebungs- und Messbedingungen, und dem eigentlichen Betriebsort des Mess- und Auswertesystems. Die batteriebetriebenen, **autark arbeitenden Probes** weisen einen

Eingangsspannungsbereich von bis zu **250 V** auf und können ihrerseits elektrisch kurz über herkömmliche Messleitungen an die unterschiedlichsten Messsensoren, Teiler, Wandler oder Fühler angeschlossen werden. Die zugehörigen Akkus und das Energiemanagement sind so bemessen, dass ganze Arbeitstage bzw. Prüfschichten (> 8 h) problemlos überstanden werden. Abbildung 1 zeigt eine Ansicht der Probe.

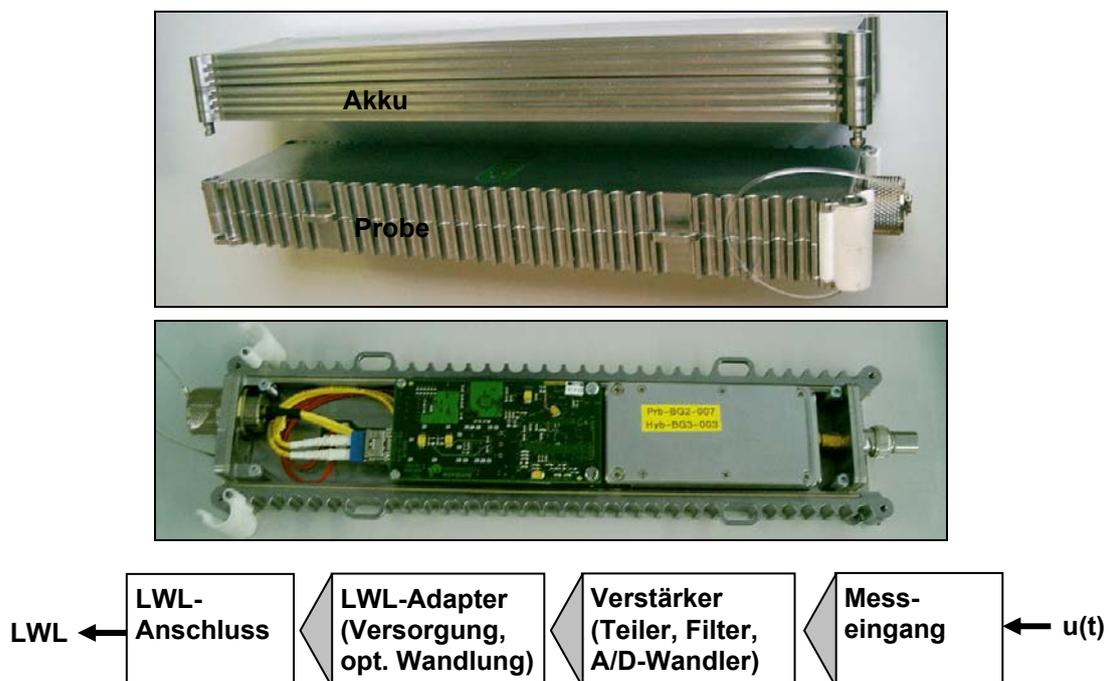


Abbildung 1: Ansicht und Aufbau der Probe des Messsystems AD3000

Das PCI-basierte Messgerät (Abbildung 2) ist als modulares Mehrkanalsystem mit einer vertikalen Auflösung von bis zu **14 bit** bei einer maximalen Abtastrate von **100 MHz** aufgebaut. Es kann somit eine Vielzahl elektrotechnischer Messaufgaben mit hoher Genauigkeit und zusätzlichem Komfort der Datenauswertung sowie -archivierung erfüllen. Jeder Messkanal kann mit einer **eigenen Zeitbasis** arbeiten, ist separat triggerbar und verfügt über **2 GByte Speicherplatz**.

Die aufgezeichneten Daten können durch eine schnelle Hardware visualisiert bzw. ausgewertet werden. Die **zugehörige Software** bietet verschiedene mathematische und funktionelle Optionen und kann dabei auch anwenderbezogene Benutzeroberflächen definieren. Auch die **Netzwerkfähigkeit** des Systems ist gegeben. [1]



Abbildung 2: Messsystem AD3000

Die Vorteile des Messsystems bei elektrotechnischen Messaufgaben ergeben sich insbesondere durch die über Lichtwellenleiter getrennten Messeingänge sowie durch die galvanische Auftrennung und messtechnisch separate Behandlung der einzelnen Kanäle. Somit werden auch Messungen auf hohem Potential oder beispielsweise in elektromagnetisch kritischer Umgebung, wie zum Beispiel in Prüffeldern oder Hochspannungs-Labors fast uneingeschränkt möglich.

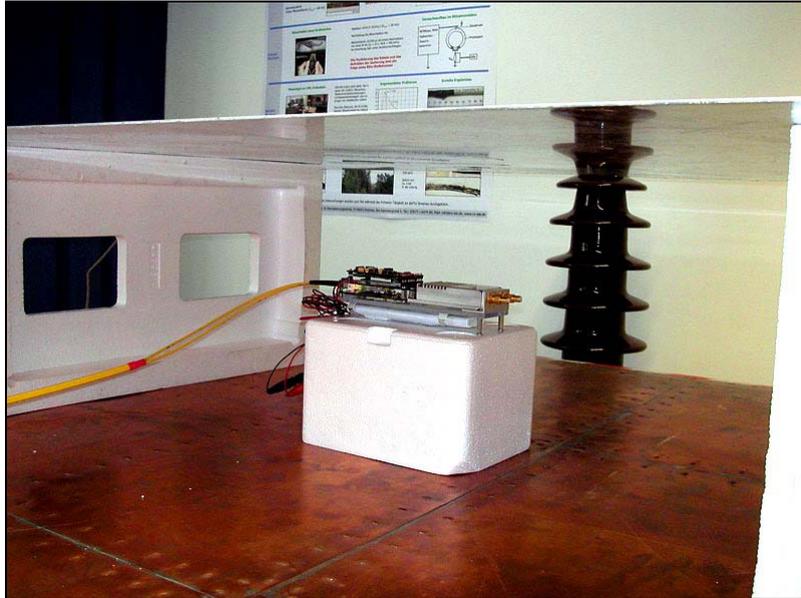
Um die Eignung insbesondere bei Messaufgaben unter ungünstigen Umgebungsbedingungen untersuchen und Geräteeigenschaften systematisch herausarbeiten zu können, wurden gezielte Laboruntersuchungen unter Einwirkung elektrischer und magnetischer Störfelder hoher Maximalfeldstärken und schneller Feldänderungen durchgeführt. Die Messungen unterteilten sich in:

- Laboruntersuchungen mit Hilfe geeigneter Feldanordnungen und
- Praxismessungen in Prüffeldern der Elektrotechnik.

## **2 VERHALTEN BEI MESSUNGEN IM ELEKTRISCHEN FELD**

Extrem hohe elektrische Umgebungsfeldstärken sowie langsam veränderliche Felder stehen im Allgemeinen nicht im direkten Focus üblicher EMV-Prüfprozeduren, da hierbei davon auszugehen ist, dass die zu betrachtenden Geräte im E-Feld das jeweils lokal vorliegende Potenzial annehmen. Hauptsächlich die Fragen des Berührungsschutzes und der Betriebssicherheit rücken hierbei in den Mittelpunkt. Insbesondere die hochfrequenten elektromagnetischen Feldanteile sind jedoch in der Lage, in elektrische Geräte einzudringen und dort eine beeinflussende Wirkung auszuüben. Die EMV-Grundnorm EN 61000-4-3 beschreibt die Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder [2].

Aufgrund der optisch abgesetzten und autarken Betriebsweise ist die Probe des Messsystems dazu geeignet, auf hohem elektrischem Potenzial zu arbeiten und dabei stark erhöhten Umgebungsfeldstärken ausgesetzt zu werden. Bei Testmessungen im Labor konnte gezeigt werden, dass aufgrund ausreichender elektrischer Schirmungseigenschaften auch elektrische Feldstärkewerte über 100 kV/m und Feldänderungen über 30 kV/m je  $\mu\text{s}$  weder zu Störungen noch zu Fehltriggerungen führen.



**Abbildung 3: Messungen am Probe-Prototyp im elektrischen Feld**

Abbildung 3 zeigt die Positionierung der Probe innerhalb einer elektrischen Feldanordnung, bestehend aus großflächigen Plattenelektroden im Abstand von 30 cm. Die verwendete Versuchsanordnung wurde zu Testzwecken mit den folgenden Hochspannungsvorgängen eingespeist:

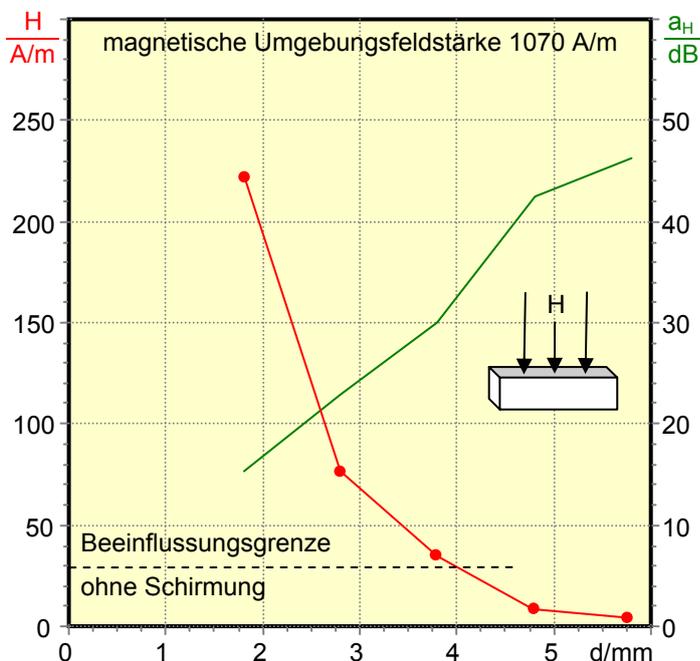
- netzfrequente Wechselspannung (50 Hz) bis über 30 kV<sub>eff</sub>
- Wechselspannungs-Durchschlag bei 30 kV<sub>eff</sub> mit steilem Spannungszusammenbruch an parallel angeordneter Luft-Funkenstrecke ( $t_d < 100$  ns)
- Blitzstoßspannung 1,2/50  $\mu$ s bis 10 kV<sub>peak</sub>

### **3 VERHALTEN BEI MESSUNGEN IM MAGNETISCHEN FELD**

Die EMV-Grundnorm EN 61000-4-8 [3] beschreibt ganz prinzipiell die Prüfung der Störfestigkeit von Geräten gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen. Durch die EN 61000-4-9 und -10 [4, 5] werden impulsförmige und gedämpft schwingende Magnetfelder abgedeckt. Da die untersuchte Probe als Messmittel im elektrotechnischen Bereich grundsätzlich aber extrem erhöhten Umgebungsfeldstärken ausgesetzt ist, waren bei Laboruntersuchung entsprechend höhere Feldstärkewerte anzuwenden. Bei Testmessungen am Probe-Prototyp (ohne besondere Schirmungsmaßnahmen) konnten im empfindlichsten Messbereich des Messsystems erste Beeinflussungen des Messsignals ab einer magnetischen Umgebungsfeldstärke von etwa 30 A/m (50 Hz) festgestellt werden. Diese Beeinflussung war insbesondere dann wahrzunehmen, wenn die

magnetischen Feldlinien die Elektronikplatine der Probe senkrecht durchdrangen. Dementsprechend waren gezielte Maßnahmen zur magnetischen Schirmung erforderlich, die auch messtechnisch geeignet nachgewiesen wurden.

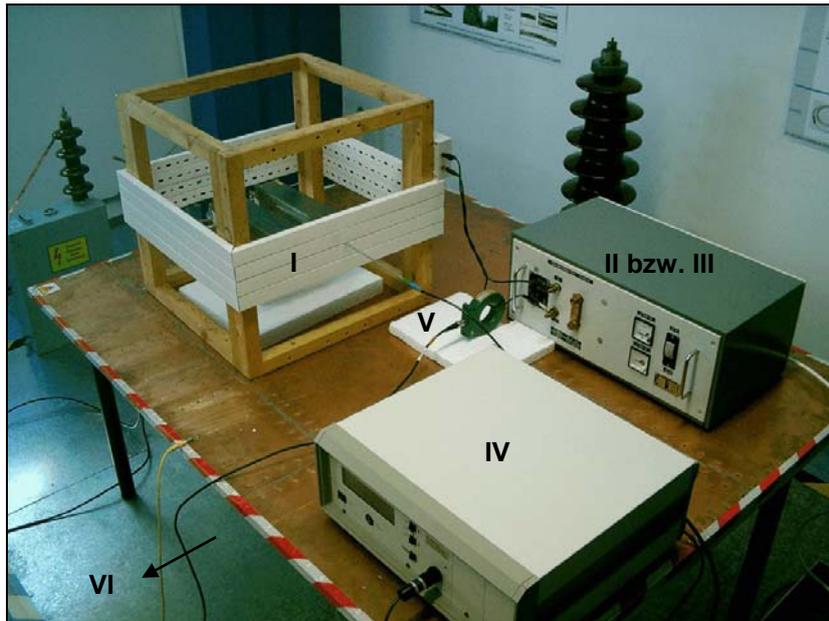
Um praktische Anhaltspunkte erzielbarer Schirmdämpfungswerte zu erhalten, wurde eine Messreihe an 4kant-Stahlrohren (St 37) unterschiedlicher Wandstärken bei deren Anordnung im netzfrequenten Magnetfeld durchgeführt. Wie den dargestellten Ergebnissen der Abbildung 4 zu entnehmen ist, kann bei einer magnetischen Beeinflussung von etwa 1000 A/m mit Hilfe des untersuchten Standardmaterials eine hinreichende Schirmung ab einer Wandstärke von etwa 4 mm erreicht werden.



**Abbildung 4:**  
**Gemessene magnetische Schirmwirkung von 4kant-Stahlrohren mit unterschiedliche Wandstärken (60 x 60 x 300 mm, stirnseitig offen) bei Einwirkung netzfrequenter Magnetfelder (50 Hz)**

Diese erzielten Ergebnisse fanden bei Dimensionierung der Probenabschirmung angemessene Berücksichtigung. Hinsichtlich der magnetischen Materialeigenschaften wurden auch weitere Schirmmaterialien beurteilt. Hochpermeables Mumetall wurde wegen ungünstiger Konstruktionseigenschaften, wegen des Sättigungsverhaltens und nicht zuletzt auch wegen des Kostenfaktors grundsätzlich ausgeschlossen. Abbildung 5 zeigt den Versuchsaufbau zur vergleichenden Untersuchung geschirmter Proben (Gehäuse aus St 37 und St 52) im magnetischen Feld unter Verwendung von:

- |     |   |    |                                      |
|-----|---|----|--------------------------------------|
| I   | Induktionsspule, Kantenmaß (0,5 x 0,5) m, | IV | Magnetfeld-Messgerät mit Hall-Sonde, |
| II  | Hochstromtransformator,                   | V  | Strommonitor,                        |
| III | Stoßstromgenerator,                       | VI | Speicheroszilloskop.                 |



**Abbildung 5: Aufbau zur Einwirkung netzfrequenter und impulsförmiger Magnetfelder**

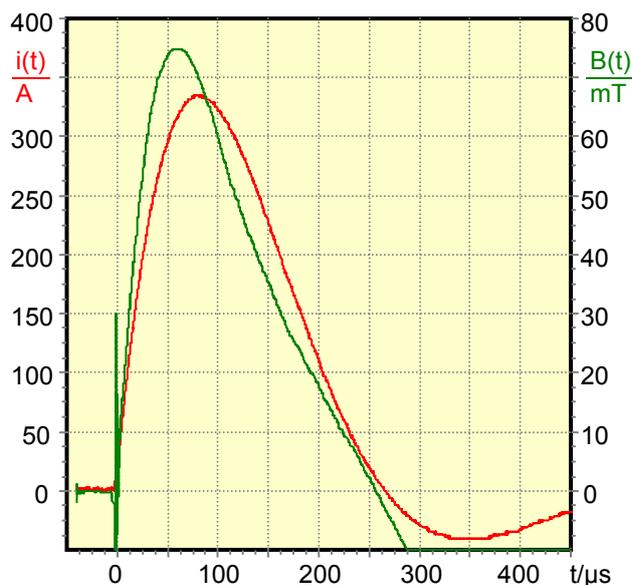
Um die Lageabhängigkeit im magnetischen Feld bewerten zu können, wurden Vergleichsversuche bei unterschiedlicher Ausrichtung innerhalb der Magnetfeldanordnung durchgeführt (Abbildung 6).



**Abbildung 6: Probe-Positionierung innerhalb der Induktionsspule (li.: flach, re.: hochkant)**

Im Ergebnis der Messungen konnte bestätigt werden, dass der herkömmliche Stahl St 37 gegenüber dem hochwertigeren St 52 die günstigeren magnetischen Schirmungseigenschaften liefert. St 52 ist zur besseren Bearbeitbarkeit mit einem höheren Kohlenstoffanteil versehen, der sich auf die Schirmung jedoch ungünstig auswirkt. Die lageabhängige Schirmungswirkung wird durch den erforderlichen Gehäusespalt sowie die magnetische Vorzugsrichtung im Zusammenhang mit der Bearbeitung und der Struktur des Gehäusematerials geringfügig beeinflusst.

Wie aus der Schirmungstheorie bekannt ist, erhöht sich die magnetische Dämpfung ferromagnetischer Schirme im höheren Frequenzbereich, weil aufgrund der zunehmenden Induktionswirkung erhöhte Schirmströme auftreten, deren Magnetfeld dem beeinflussenden Feld entgegenwirkt [6]. Dies ist der Grund dafür, dass bei Einwirkung impulsförmiger Felder oder schneller Feldänderungen eine wirksame Schirmung bis zu wesentlich höheren Feldstärkewerten zu erreichen ist. Durch gezielte Messungen mit impulsförmigen Störgrößen (Abbildung 7) konnte dies bestätigt werden.



**Abbildung 7:**  
**Gemessener Strom- / Magnetfeldimpuls**  
**in der Induktionsspule**

Stoßstrom durch die Spule (38 Windungen)

Verlauf  $i(t)$  →  $T_1/T_2 = 50/180 \mu\text{s}$

Stromanstieg →  $\Delta i/\Delta t = 6,6 \text{ A}/\mu\text{s}$

Magnetfeldimpuls in der Spule (60 kA/m)

Verlauf  $B(t)$  →  $T_1/T_2 = 25/105 \mu\text{s}$

Feldänderung →  $\Delta H/\Delta t = 2400 \text{ A}/\text{m} \cdot \mu\text{s}$

Mit Hilfe der durchgeführten Messungen und der hieraus abgeleiteten Maßnahmen konnte die Probe für Messaufgaben in besonders hohen Umgebungsfeldstärken erüchtigt werden.

#### 4 EINSATZ BEI MESSAUFGABEN DER ELEKTRISCHEN ENERGIETECHNIK

Die verschiedenartigen Messaufgaben der elektrischen Energietechnik sind wiederkehrend mit folgenden Problemstellungen verbunden:

1. Messgrößen sind unter ungünstigsten elektromagnetischen Umgebungsbedingungen (starke elektrische oder magnetische Felder und schnelle Feldänderungsgeschwindigkeiten) zu erfassen. Für aussagekräftige Ergebnisse müssen die Messwerte eindeutig von störenden Umgebungseinflüssen getrennt sein.
2. Der Messabgriff erfolgt häufig auf deutlich erhöhtem Potenzial sowie an verteilten Messpunkten - ein eindeutiger Bezug auf EINE definierte Messmasse ist dabei nicht immer möglich. Der Einsatz optischer Übertragungsstrecken ist mit zusätz-

lichen Kosten und unter Umständen mit erhöhtem Aufwand zum Nachweis der fehlerfreien Messung verbunden.

3. Messteiler, Sensoren und Fühler sind oft mit begrenzt langen Anschlussleitungen versehen, da diese das erreichbare elektrische Übertragungsverhalten maßgeblich mitbestimmen. Eine problemlose Verlängerung ist im Allgemeinen nicht möglich. Messgeräte in unmittelbarer Nähe zum Messort zu betreiben und diese dort zu bedienen ist dagegen mit erheblichen Sicherheitsrisiken verbunden (Berührungsspannungen, Lärmentwicklung, Fehlermechanismen).
4. Bei komplexen energietechnischen Messaufgaben besteht die Gefahr der Ausbildung von Masse- und Erdschleifen (galvanisch sowie über parasitäre Streukapazitäten). Trenntrafos können dabei nur einen begrenzten Schutz durch galvanische Auftrennung der Verbindung zum NS-Netz liefern. Zudem ist im Zusammenhang mit moderner Datenübertragung und -auswertung die Verbindung zu Netzwerken und Arbeitsplatz-PC's üblich. Diese Verknüpfungen erzeugen zusätzliche Gefahren für eine störungsfreie und sichere Messung.
5. Um einen hohen Nutzsignal-Störpegel-Abstand zu erzielen, sind die Messfühler, Sensoren und Teiler auf Ausgangsspannungswerte bemessen, die nicht selten an die Grenzen der zulässigen Eingangsspannungen verwendeter Messgeräte stoßen. Der Einsatz zusätzlicher Vorteiler ist nur begrenzt möglich und provoziert mögliche Folgefehler im Messaufbau bzw. bei der Signalübertragung.
6. Bei Mess- und Analyseaufgaben der Elektrotechnik ist nicht selten eine große Anzahl von Messkanälen erforderlich, um in EINEM Messablauf ein Maximum an Ergebnissen zu erfassen. Der Einsatz mehrerer Messgeräte setzt die bekannte zeitliche Zuordnung der Messverläufe durch gemeinsame Triggerung voraus.
7. Messungen der elektrischen Energietechnik sind zumeist durch einen großen Dynamikumfang, durch transiente oder hochfrequente Erscheinungen, durch lange Messzeiten bei gleichzeitig hoher Auflösung und somit insgesamt durch einen großen Speicherbedarf gekennzeichnet. Herkömmliche Oszilloskope stoßen hierbei schnell an ihre Grenzen.
8. An die eingesetzte Messtechnik ist in jedem Fall die Forderung nach einem möglichst definierten EMV-Verhalten zu stellen. Hierzu zählen sowohl gute Störfestigkeits-Eigenschaften als auch geringe Störaussendungen.
9. Elektrotechnische Messungen werden nicht immer unter Laborbedingungen sondern ebenso unter ungünstigen klimatischen Umgebungsbedingungen am

jeweiligen Betriebs- und Messort durchgeführt. Vor allem hochwertige Messgeräte sollten möglichst geschützt aufgestellt werden - auch die Bedienung sollte unter angemessenen Bedingungen erfolgen.

Durch die Struktur und die Eigenschaften des untersuchten Messsystems konnten die genannten messtechnischen Randbedingungen der Praxis sicher und zufriedenstellend erfüllt werden. Die Verhinderung von Masseschleifen, die hohe vertikale Auflösung (z.B. bei Vorgängen im Bereich von Strom- oder Spannungs-Nulldurchgängen) das gemeinsame und zugleich unabhängige Messen an mehr als 10 Kanälen (Ströme, Spannungen sowie Druck, Temperatur und andere Zustandsgrößen) und der komfortable Betrieb des Messsystems in elektromagnetisch sowie klimatisch kritischer Umgebung sind wichtige Vorzüge, die sich bei verschiedenen Probemessungen in elektrotechnischen Prüffeldern herausstellten. Die Messung mit direkt auf Hochspannungspotenzial angeordneter Probe war im Hochspannungs-Prüffeld problemlos möglich. Selbst für umfangreiche und ausgedehnte Messaufgaben, beispielsweise bei Daueruntersuchung oder Netzanalyse bietet sich der Einsatz des Messsystems an. Lediglich der zwischenzeitliche Akkuwechsel ist bei dieser Betriebsweise zu berücksichtigen. Die umfangreichen Optionen der Messwerverfassung und Datenauswertung sowie die benutzerfreundliche Bedienung des Messsystems konnten bei Praxiserprobung überzeugen.

#### **Literatur:**

- [1] bitGate data systems GmbH: Produktinformation - AD3000 Data Acquisition System, 2006
- [2] EN 61000-4-3: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder; 11/2003
- [3] EN 61000-4-8: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen; 12/2001
- [4] EN 61000-4-9: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüfung der Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder; 12/2001
- [5] EN 61000-4-10: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüfung der Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder; 12/2001
- [6] A. J. Schwab: Elektromagnetische Verträglichkeit; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York; 4. Auflage 1996

#### **Autoren:**

Dipl.-Ing. Jens Schönau  
CE-LAB GmbH  
Am Hammergrund 1  
D-98693 Ilmenau  
Tel: 03677 / 6479-80  
Fax: 03677 / 6479-89  
E-mail: j.schoenau@ce-lab.de

Dipl.-Ing. Rainer Schmitt  
bitGate data systems GmbH  
Landgraf-Hermann-Straße 11  
D-36304 Alsfeld  
Tel: 06631 / 7076-26  
Fax: 06631 / 7076-10  
E-mail: Rainer.Schmitt@bitGate.de