

# Trainingssysteme für die Elektrische Energietechnik

Das komplette Energieversorgungsnetz mit erneuerbaren Energien



# Inhalt

## Qualifikation durch Qualität

Trainingsysteme für die elektrische Energietechnik ..... 4

## Komplexe Lerninhalte lebendig präsentieren

Computergestützte Lernumgebung ..... 5

Labsoft Classroom Manager ..... 6

SCADA Power-LAB-Software ..... 7

## Von der Energieerzeugung bis zum Verbrauch

In Zukunft intelligente Stromnetze ..... 8

Vernetzte Systeme im Energietechniklabor ..... 10

Alles auf einen Blick ..... 12

## Mehr als ein Trainingssystem

Komplettlösung Energietechniklabor ..... 14



# Inhalt

<b>Grundlagen der Energietechnik</b> .....	16
Gleich-, Wechsel- und Drehstromtechnik (UniTrain-I) .....	20
Magnetismus/Elektromagnetismus (UniTrain-I) .....	23
Messen mit dem Multimeter (UniTrain-I) .....	24
Netze und Netzmodelle (UniTrain-I) .....	25
Strom- und Spannungswandler .....	26
<b>Energieerzeugung</b> .....	28
Drehstrom-Synchrongeneratoren (UniTrain-I) .....	32
Generatorregelung und Synchronisation .....	33
Generatorschutz .....	35
<b>Regenerative Energieerzeugung</b> .....	38
Photovoltaik (UniTrain-I) .....	42
Photovoltaik Advanced .....	44
Windkraftanlagen .....	48
Brennstoffzellentechnik (UniTrain-I) .....	54
Brennstoffzellentechnik Advanced .....	56
<b>Transformatoren</b> .....	58
Drehstromtransformator (UniTrain-I) .....	62
Untersuchungen an Transformatoren .....	63
Transformatorschutz .....	64
<b>Energieübertragung</b> .....	66
Untersuchungen an Drehstromleitungen .....	70
Leitung mit Erdschlusskompensation .....	72
Übertragungssysteme mit Synchrongenerator .....	73
Untersuchungen an Drehstromkabeln .....	74
Leitungsschutz .....	76
<b>Energieverteilung</b> .....	80
Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem .....	82
Überstromschutz für Sammelschienen .....	84
<b>Energiemanagement</b> .....	86
Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchsmessung und Spitzenlastüberwachung .....	90
Dynamische Verbraucher .....	91
Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation .....	92
Energieeffiziente Antriebe .....	93
Schutz elektrischer Verbraucher .....	94
<b>Smart Grid</b> .....	96
Smart Grid: Kontrollzentrum .....	102
Smart Grid: Energiemanagement .....	103
Energieerzeuger im Smart Grid .....	104
Energiespeicher im Smart Grid .....	105

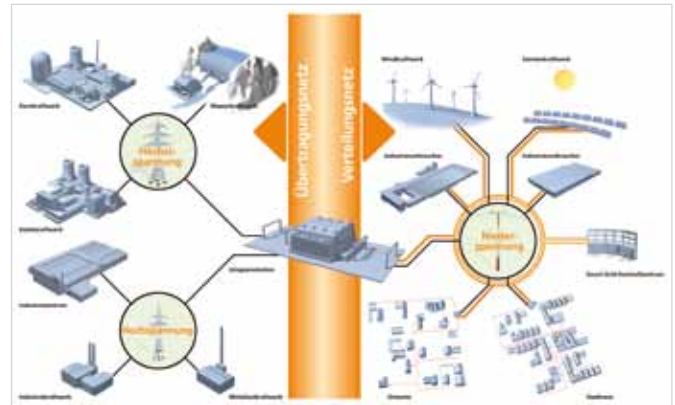
# Qualifikation durch Qualität

## Trainingsysteme für die elektrische Energietechnik

### Technischer Fortschritt ...

Die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien, weg von Kohle, Öl und Atomkraft, gewinnt an Fahrt. Heute ist die Technik so weit fortgeschritten, dass Solarenergie, Windkraft, Wasserstoff und Biomasse als umweltfreundliche Energieträger nutzbar sind. Damit sich der Trend fortsetzen kann, werden weltweit gut ausgebildete technische Fachkräfte gesucht.

Energieerzeugung, -übertragung und -verteilung sowie der Schutz energietechnischer Anlagen und die wirtschaftliche Energienutzung sind gerade heute im Zuge der intelligenten Netze (Smart Grid) in aller Munde!



### ... hat großen Einfluss auf die Ausbildung

Das Lucas-Nülle-Lehrsystem zur Energietechnik ermöglicht dem Lehrpersonal, die technologischen Zusammenhänge der Energietechnik in anschaulicher und praxisgerechter Form den Lernenden zu vermitteln.

Die elektrische Energietechnik umfasst die Bereiche Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Nutzung von elektrischer Energie sowie die Schutztechnik für diese Bereiche.

Das System ist äußerst variabel und kann daher an die unterschiedlichen Anforderungen der Facharbeiter-, Techniker- oder Ingenieurausbildung jederzeit problemlos angepasst werden.



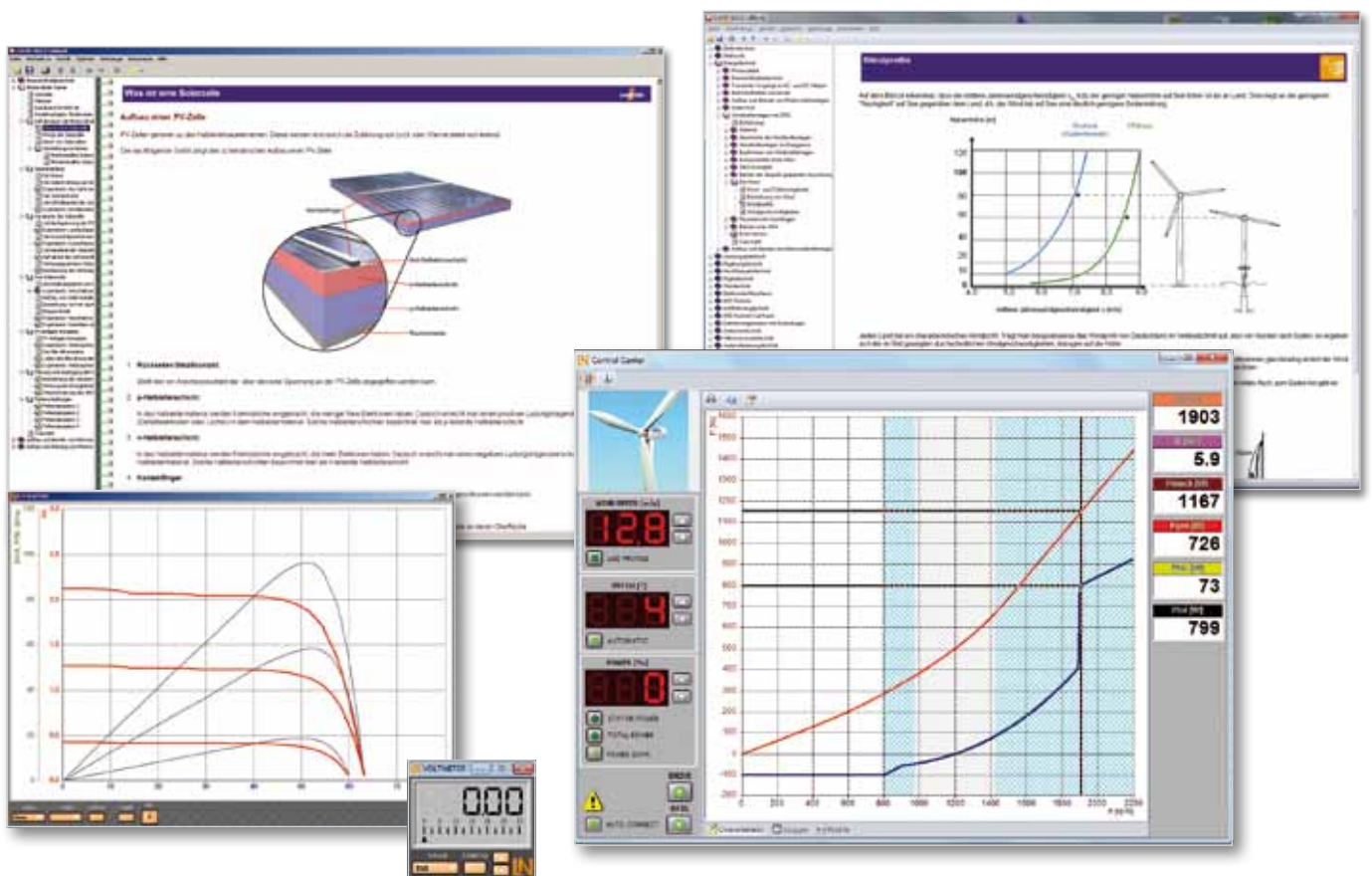
### Ihre Vorteile

- Umfangreiches, abgerundetes Programm – von der Energieerzeugung über die Verteilungstechnik bis hin zur Energienutzung
- Integration der erneuerbaren Energien in die konventionelle Energietechnik
- Überwachung und Steuerung mittels SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- Modular aufgebautes Experimentiersystem zur schrittweisen, experimentellen Erarbeitung der Systemzusammenhänge
- Die Busstruktur aller Spannungsebenen ermöglicht einen schnellen und übersichtlichen Versuchsaufbau.
- Realistische Nachbildung einer 380 kV-Übertragungsleitung mit den Längen 300 km und 150 km
- Einsatz von handelsüblichen Industriegeräten in zukunftsweisender Digitaltechnik
- Hohe Arbeitssicherheit durch den ausschließlichen Einsatz von Sicherheitsbuchsen und -leitungen
- Schutztechnik für alle Bereiche der Energietechnik

# Komplexe Lerninhalte lebendig präsentieren

## Computergestützte Lernumgebung - Interactive Lab Assistant (ILA)

Bei der Durchführung der Versuche werden Sie von dem Interactive Lab Assistant (ILA) unterstützt. Er leitet nicht nur zum Versuch an, sondern liefert auch wertvolle Theorieinformationen, zeichnet Messwerte auf und erstellt so automatisch im Hintergrund die notwendige Labordokumentation als Druck- oder PDF-Dokument. Möchten Sie die Anleitung anpassen, nutzen Sie einfach den Labsoft Classroom Manager, um Inhalte zu ändern oder zu ergänzen.



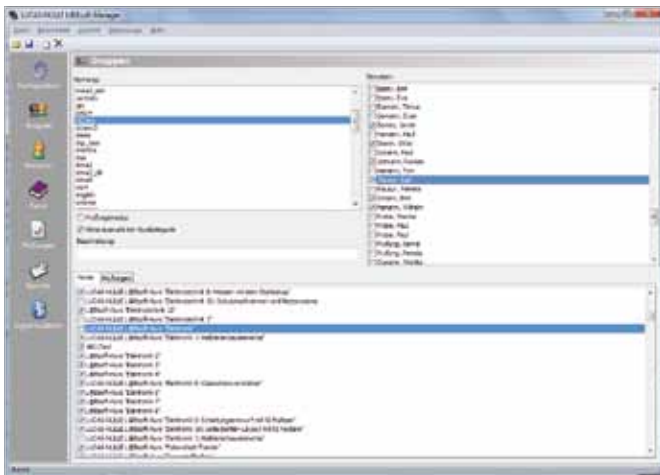
### Ihre Vorteile

- Theorievermittlung mittels leicht verständlicher Animationen
- Unterstützung bei der Versuchsdurchführung
- Interaktive Darstellung der Versuchsaufbauten
- Zugriff auf reale Mess- und Testgeräte mit umfangreichen Auswertungsmöglichkeiten
- Praxisorientierte Projektaufgaben runden den Lernerfolg ab
- Integrierte Bedienungsanleitungen
- Dokumentation der Versuchsergebnisse (Erstellung eines Versuchsberichts)
- Wissensabfrage inkl. Feedbackfunktion
- Inklusive SCADA Viewer Software mit passenden Messbeispielen

# Komplexe Lerninhalte lebendig präsentieren

## LabSoft Classroom Manager

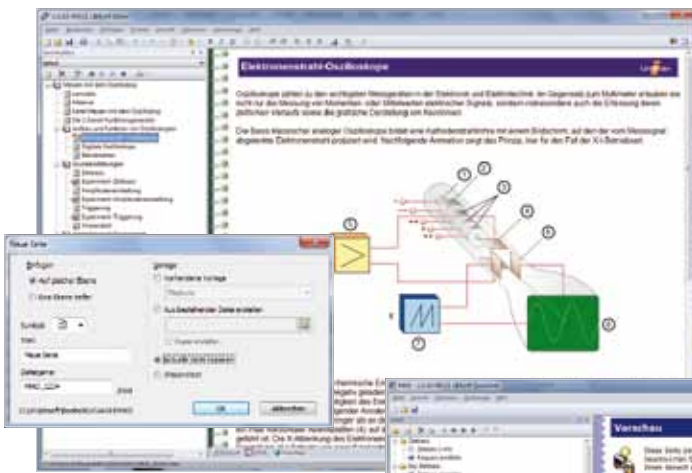
Der LabSoft Classroom Manager ist eine umfangreiche Administrationssoftware, mit der sich praxisorientierte Lehr- und Lernprozesse komfortabel organisieren und verwalten lassen. Der Classroom Manager eignet sich für alle LabSoft-basierten Lernprogramme wie ILA, UniTrain-I, InsTrain und CarTrain. Er besteht aus den Programmteilen:



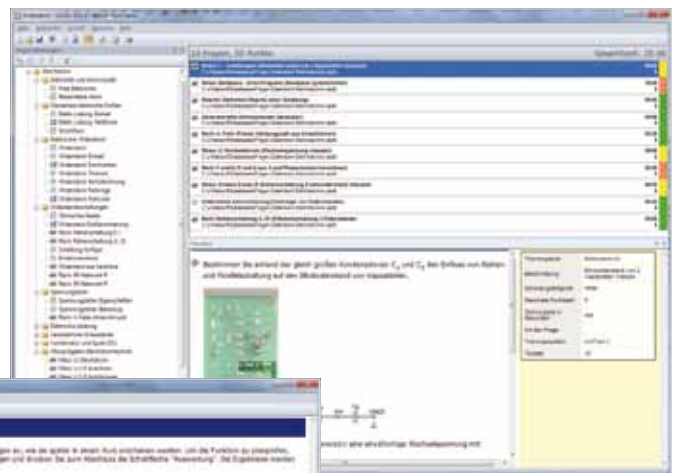
**LabSoft Manager:** Verwalten Sie Ihre LabSoft Kurse, Lerner und Lerngruppen mit dem LabSoft Manager. So stehen für die Lernenden immer die passenden Lerninhalte zur Verfügung.



**LabSoft Reporter:** Lernfortschritt und Prüfungsergebnisse präsentiert der LabSoft Reporter. Zahlreiche Auswertungen für Einzel- oder Gruppenergebnisse von Kursen und Prüfungen ermöglichen eine gezielte Kontrolle.

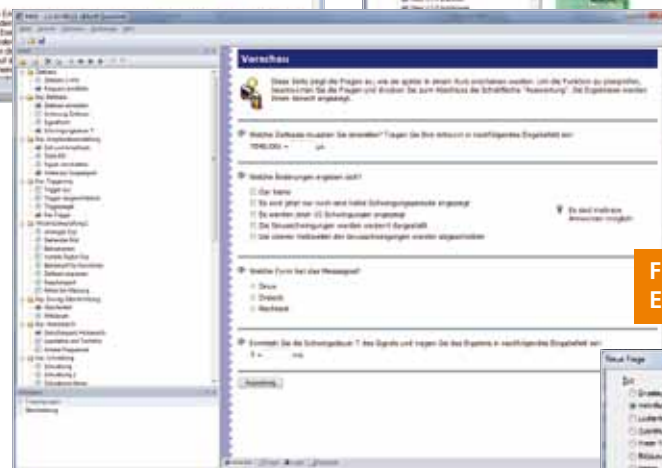


**LabSoft Editor:** Erstellen neuer Kurse oder Änderungen an bestehenden Kursen ermöglicht der LabSoft Editor. Zahlreiche Assistenten führen den Anwender schrittweise durch die notwendigen Angaben.

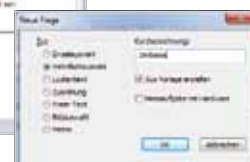


**LabSoft Test Creator:** Der LabSoft TestCreator erstellt Prüfungen, mit denen gleichzeitig Wissen und Handlungskompetenz abgefragt werden können.

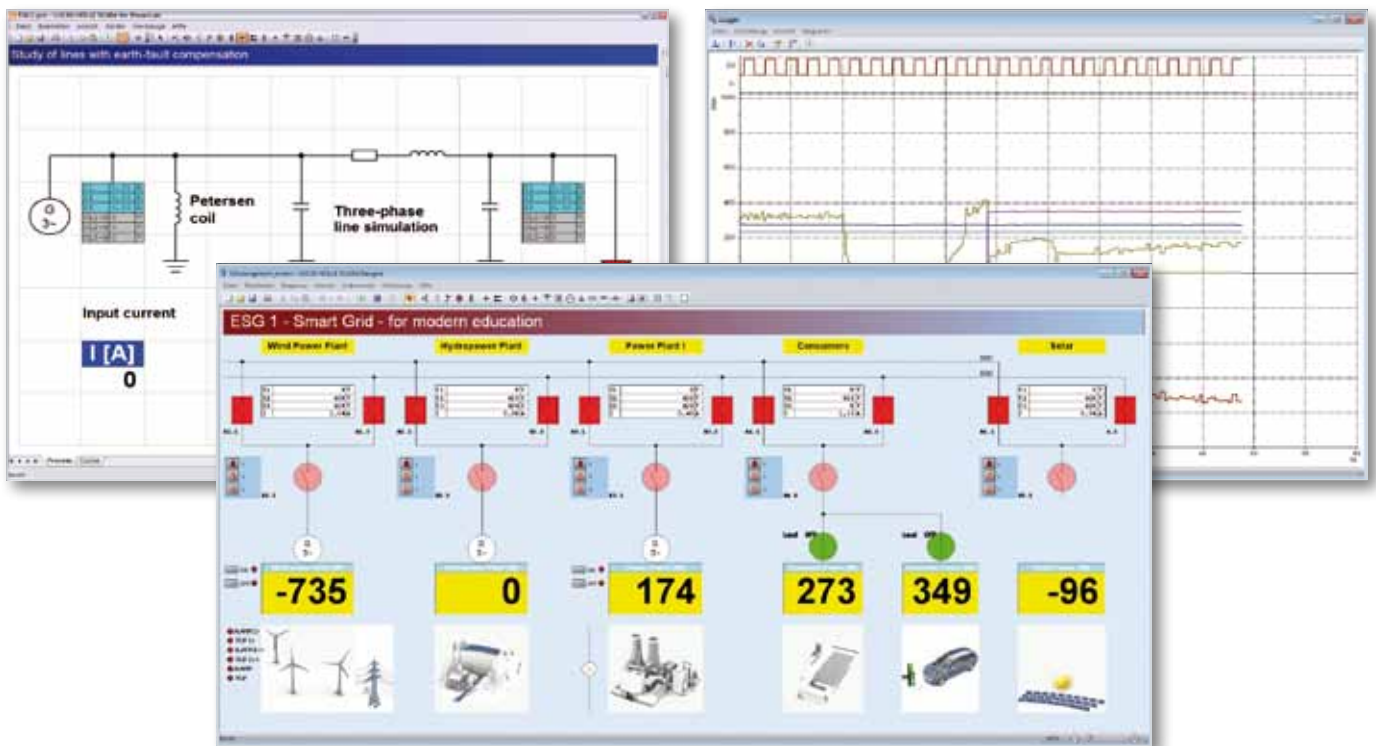
Fragendatenbank zu Erneuerbaren Energien



**LabSoft Questioner:** Zur Erstellung von Fragen, Messaufgaben und Prüfungsfragen stehen viele Fragentypen im LabSoft Questioner zur Verfügung. Die Aufgaben und Fragen können in Kurse und Prüfungen eingefügt werden.



Unter Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) versteht man die Überwachung, Steuerung und Datenerfassung technischer Prozesse in Echtzeit. In der elektrischen Energietechnik wird SCADA von der Erzeugung, der Übertragung über den Schutz bis hin zur Nutzung von Energie eingesetzt. SCADA gibt dem Personal die Möglichkeit, Daten in Prozessen zu verfolgen und einzugeben. Messwerte werden in Echtzeit auf dem Bildschirm dargestellt. Steuersignale können während des Prozesses geändert werden. Das SCADA System kann den Prozess auch automatisch steuern. Die Aufnahme vieler Messwerte ermöglicht eine bessere Zukunftsplanung und eine ökonomische Optimierung. Das System kann durch lokale Netzwerke (LAN) ferngesteuert werden. SCADA ist die zentrale Komponente in einem Smart Grid, welches zu einer besseren Ausnutzung der Netzinfrastruktur und der Energiereserven führt.



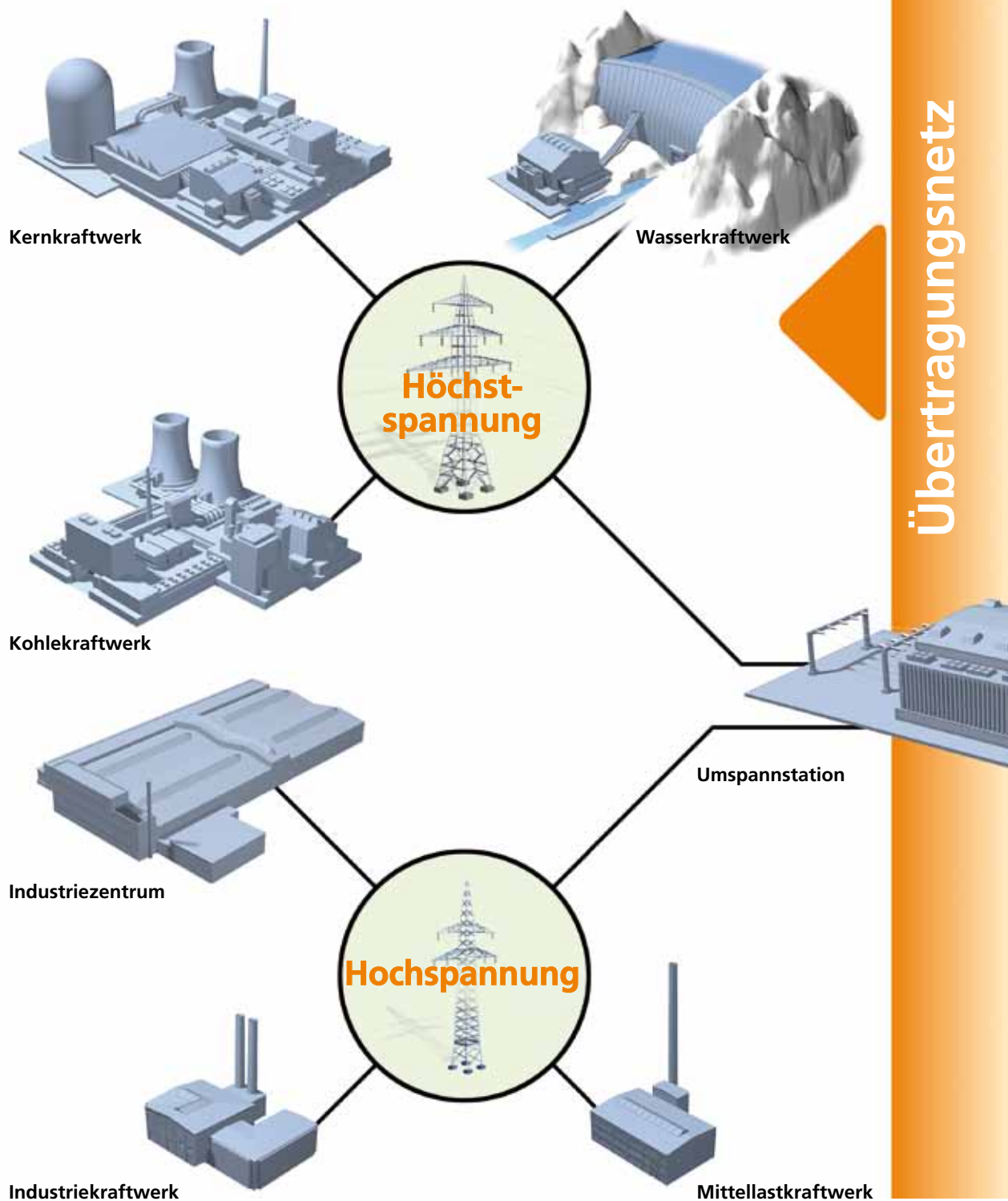
## Ihre Vorteile

- Auf die Ausbildung abgestimmte SCADA Software
- Realisierung, Steuerung und Analyse komplexer intelligenter Netze (Smart Grid)
- **SCADA Designer:**
  - Symbolische Anordnung aller Geräte der Lucas-Nülle-Energietechnik auf der Bedienoberfläche
  - Normierte elektronische Schaltsymbole
- **SCADA Viewer:**
  - Schullizenz zur Beobachtung und Steuerung der Anlagen
  - Anzeige und Steuerung der Messwerte und Zustände aller im Netz vorhandenen Systeme
- Wichtige Parameter und Signale können von der Software gesteuert werden
- **SCADA SPS:** Integrierte Soft SPS, programmierbar nach IEC 61131
- **SCADA Logger:** Aufnahme, Darstellung, Auswertung und Export aller Werte über die Zeit
- **SCADA Panel Designer:** Design eigener Bedienoberflächen
- **SCADA Net:**
  - Das Client / Server Konzept ermöglicht den gleichzeitigen Remotezugriff von jedem PC (Studenten) auf die Systeme im Smart Grid
  - Limitierter oder unlimitierter Zugriff wird von dem Ausbilder in der SCADA Software eingestellt

# Von der Energieerzeugung bis zum Verbrauch

## In Zukunft intelligente Stromnetze

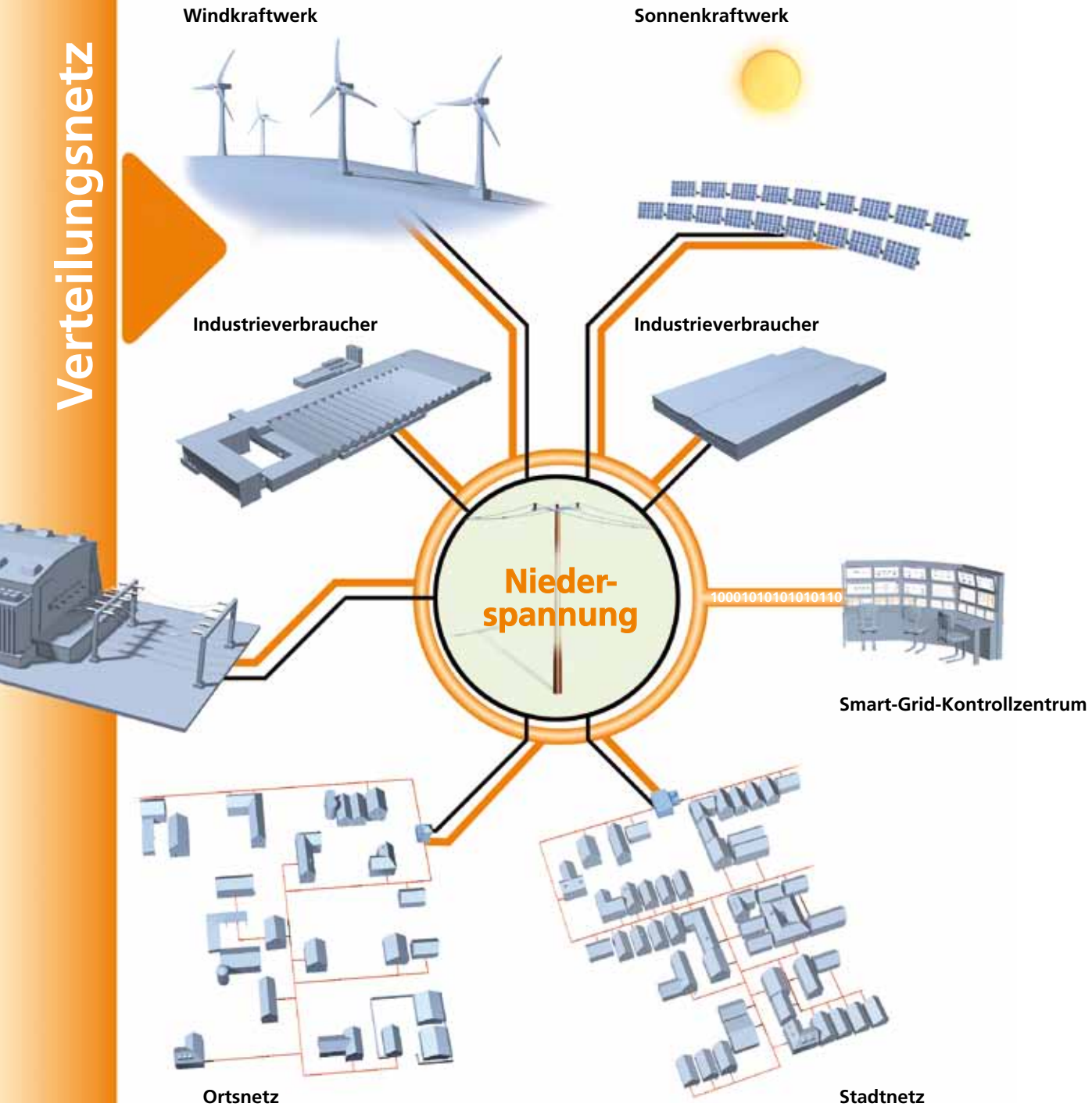
Mit den Lucas-Nülle-Ausstattungen kann die Nachbildung eines kompletten Energieversorgungsnetzes von der Erzeugung bis zum Endverbrauch realisiert werden.



Mehr zu dem  
Thema 'Smart  
Grid' finden Sie  
ab Seite 96



Verteilungsnetz

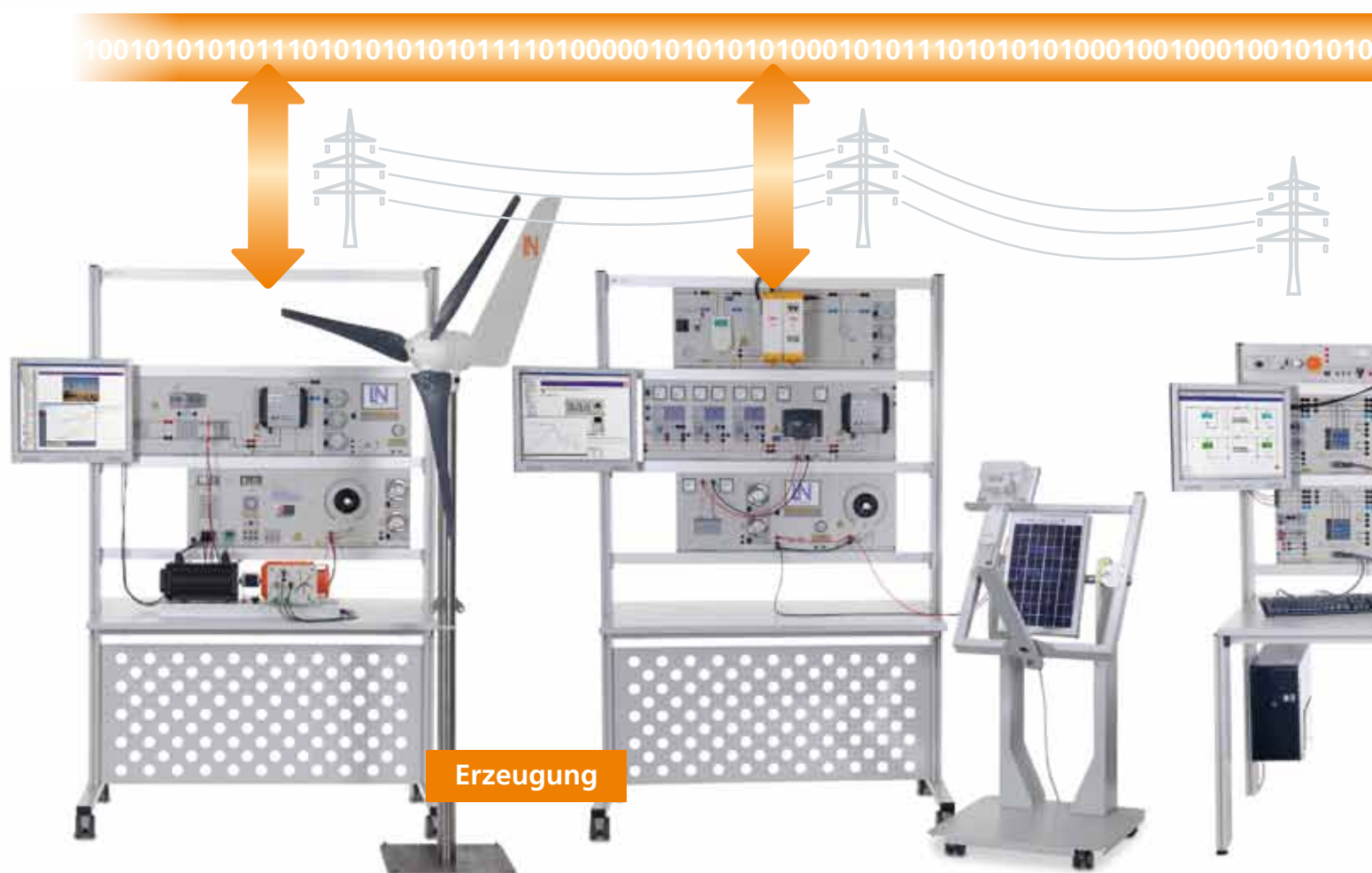


# Von der Energieerzeugung bis zum Verbrauch

## Vernetzte Systeme im Energietechniklabor

### Das smarte Labor

Die Ausstattungen der Lucas-Nülle GmbH zur elektrischen Energietechnik lassen sich beliebig miteinander kombinieren. So kann im Labor zum Beispiel die aus erneuerbaren Energien erzeugte Energie über die Leitungsnachbildung übertragen, mit Transformatoren angepasst und mit den Doppelsammelschienen auf beliebige Verbraucher verteilt werden. Die Bussysteme der Mess- und Schutzgeräte lassen sich alle miteinander kombinieren und über die SCADA for Power-Lab-Software zentral auswerten und steuern. Damit sind dem Aufbau und der Untersuchung intelligenter Netze im Labor keine Grenzen mehr gesetzt.



Mehr zu dem Thema 'Smart Grid' finden Sie ab Seite 96



1001001010010101110001010101010001010101000010100101001000100101000101010



Übertragung



Verteilung



Verbrauch

# Alles auf einen Blick

## Schutz energietechnischer Anlagen

### SCADA

### EGP

#### Generatorschutz

- Generator-Differentialschutz
- Überstromzeitschutz
- Schiefelastschutz
- Rückleistungsschutz
- Über-/Unterspannungsschutz
- Ständererdschlussschutz
- Läufererdschlussschutz

### SCADA

### ETP

#### Transformatorschutz

- Transformator-Differentialschutz
- Überstromzeitschutz

## Untersuchungen an energietechnischen Anlagen

### SCADA

### EUG

#### Energieerzeugung

- Drehstrom-Synchrongeneratoren
- Synchronisierschaltungen
- Automatische Leistungsfaktor- und Leistungsregelung

#### Regenerative Energieerzeugung

- Windenergie
- Photovoltaik
- Brennstoffzelle



### SCADA

### EUT

#### Transformator

- Transformator im Leerlauf und mit Kurzschluss
- Transformator mit ohmscher, induktiver und kapazitiver Last
- Paralleler Betrieb von Transformatoren
- Stromverteilung für verschiedene Schaltgruppen



## Grundlagen zur elektrischen Energietechnik

#### Grundlagen der Elektrotechnik

- Gleichstromtechnik
- Wechselstromtechnik
- Drehstromtechnik
- Magnetismus/Elektromagnetismus
- Messen mit dem Multimeter

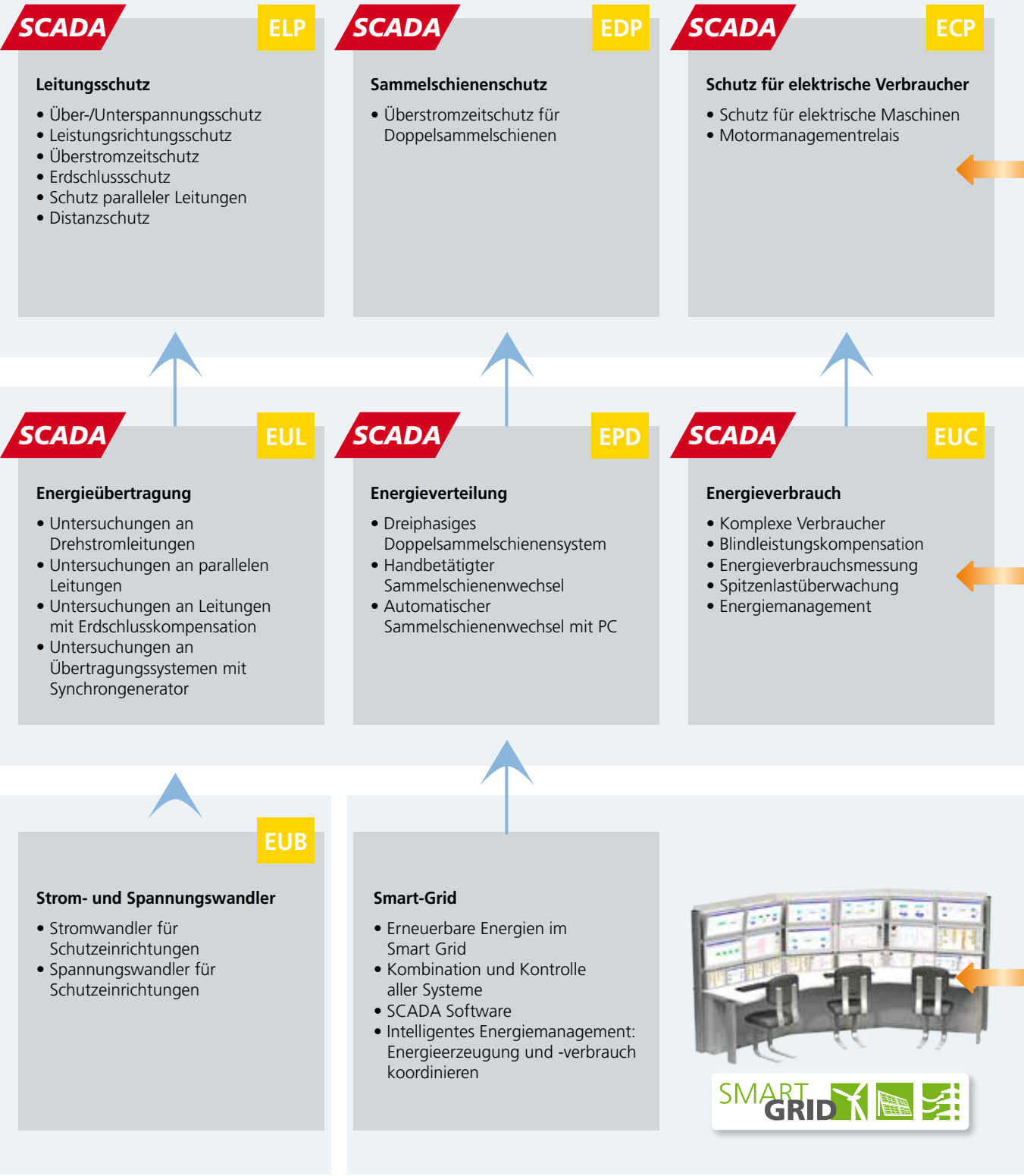


#### Netze und Modelle

- Transiente Vorgänge in Gleich- und Wechselstromnetzen
- Gleichstromnetzmodelle



100101010111010000101010100001010110101010000100100010010010010101001010



# Mehr als ein Trainingssystem

## Komplettlösung Energietechniklabor

Komplexe Lerninhalte mit modernen Lernmedien  
lebendig präsentieren

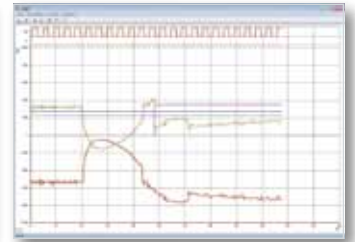
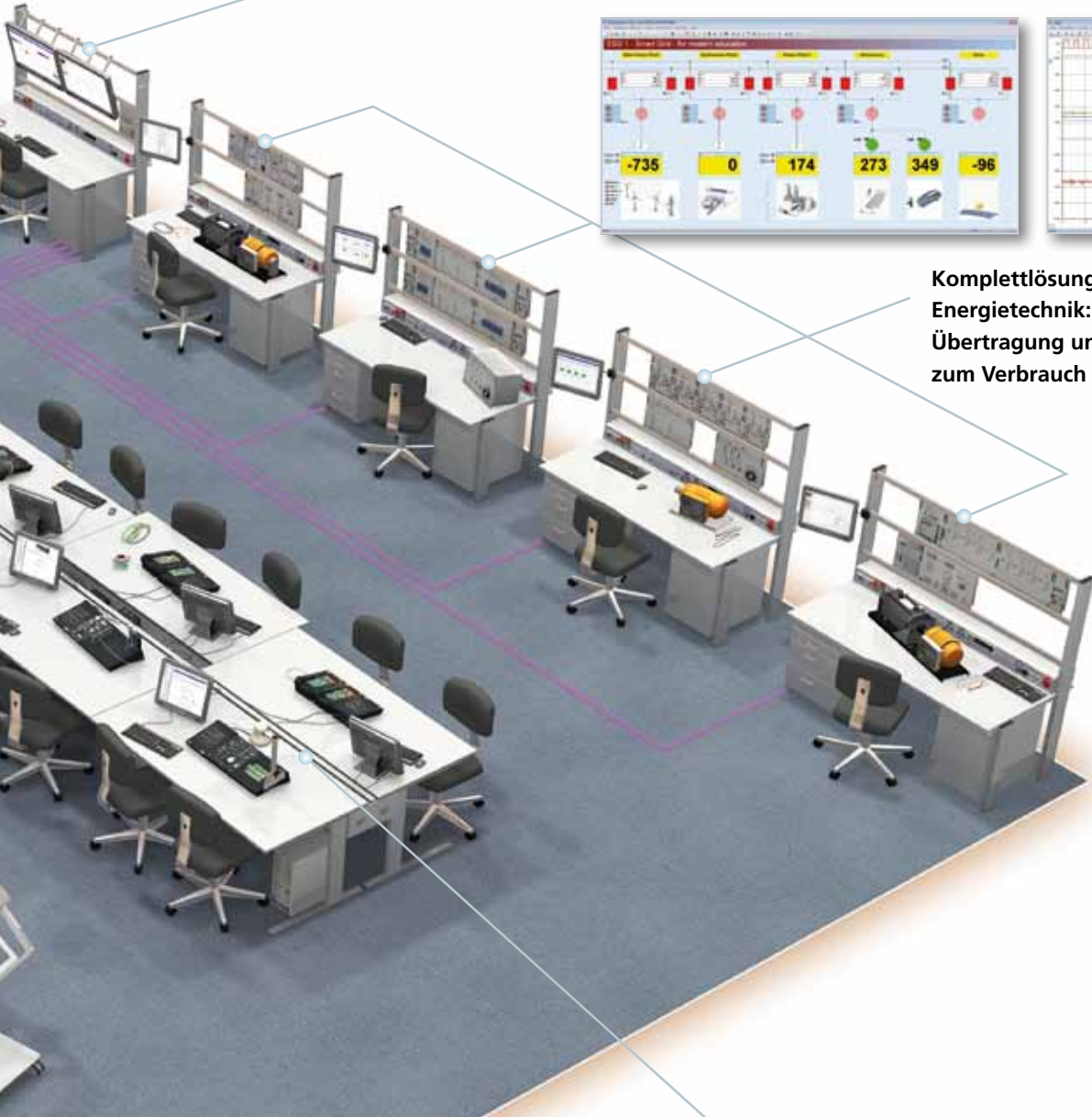


Erneuerbare Energien:  
Windkraft, Brennstoffzellen, Photovoltaik

eCO<sub>2</sub>Train

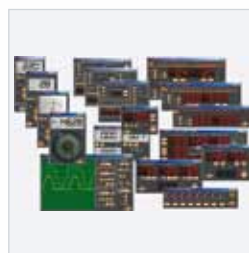


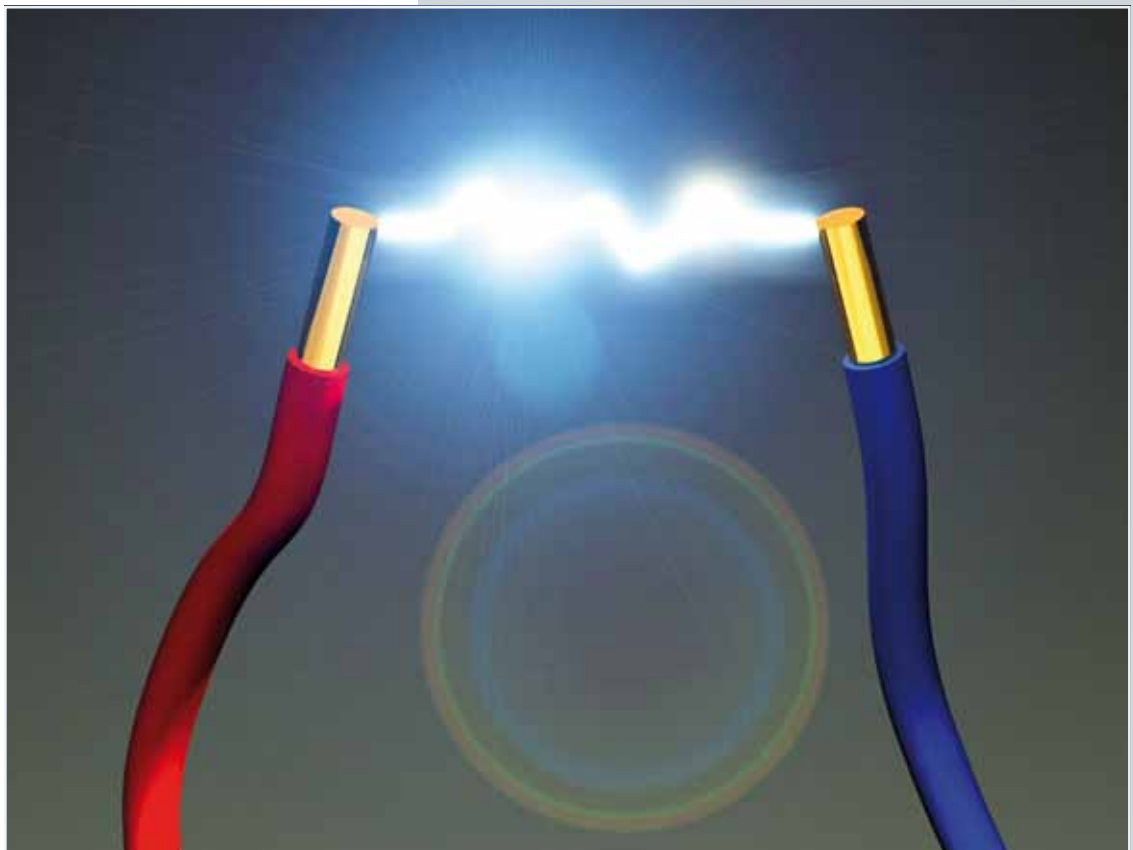
Smart Grid: Mit dem SCADA-System den gesamten Energiefluss messen und steuern



Komplettlösungen für die elektrische Energietechnik: von der Erzeugung, Übertragung und Verteilung bis hin zum Verbrauch

Multimediale Wissensvermittlung mit UniTrain-I





# Grundlagen der Energietechnik

Gleichstromtechnik (UniTrain-I) .....	20
Wechselstromtechnik (UniTrain-I) .....	21
Drehstromtechnik (UniTrain-I) .....	22
Magnetismus/Elektromagnetismus (UniTrain-I) .....	23
Messen mit dem Multimeter (UniTrain-I) .....	24
Netze und Netzmodelle (UniTrain-I) .....	25
Strom- und Spannungswandler .....	26



# Grundlagen der Energietechnik

## Multimedial und praxisgerecht in die Energietechnik einsteigen

Mit dem multimedialen Experimentier- und Trainingssystem UniTrain-I wird der Lernende anhand einer klar strukturierten Kurssoftware mit Hilfe von Texten, Grafiken, Animationen und Wissenstests durch Theorie sowie angeleitete Experimente geführt. Neben der Lernsoftware gehört zu jedem Kurs ein Satz von Experimentierkarten, an der die praktischen Aufgaben durchgeführt werden.

UniTrain-I-Multimedialkurse geben anhand zahlreicher Experimente und Animationen einen Einblick in die aktuellen Fragestellungen elektrischer Energietechnik. Die Grundlagen der Gleichstrom-, Wechselstrom- und Drehstromtechnik sowie Vorgänge in Verteilungsnetzen werden in den verschiedenen Kursen behandelt. Typische Vorgänge, die bei der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie besondere Beachtung erfordern, werden im Experiment an ungefährlicher Schutzkleinspannung nachvollzogen.



### Ihre Vorteile

- Theorie und Praxis zur gleichen Zeit am gleichen Ort
- Hohe Schülermotivation durch PC und neue Medien
- Schnelle Erfolgserlebnisse durch strukturierte Kursführung
- Schnelles Verständnis durch animierte Theorie
- Handlungskompetenz durch eigenes Experimentieren
- Ständiges Feedback durch Verständnisfragen und Wissenstests
- Geführte Fehlersuche mit integriertem Fehlersimulator
- Sicher durch Verwendung von Schutzkleinspannung
- Riesige Auswahl an Kursen
- Musterlösungen für Lehrer

### UniTrain-I-System

- Vollständiges, tragbares Labor
- Multimedia-Kurse
- High-Tech-Mess- und Steuerinterface
- Theorie und Praxis zur gleichen Zeit



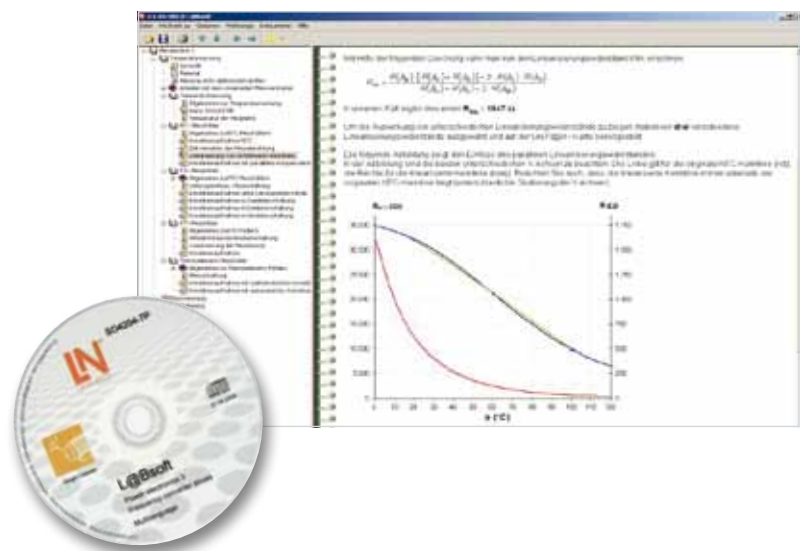
### Integrierte Mess- und Netzgeräte

- Multimeter, Amperemeter, Voltmeter
- 2-Kanal-Speicheroszilloskop
- Funktions- und Kurvenformgenerator
- Dreifachnetzgerät für AC und DC
- Drehstromnetzgerät
- ... und viele weitere Geräte



### Lern- und Experimentiersoftware LabSoft

- Große Auswahl an Kursen
- Umfassende Theorie
- Animationen
- Interaktive Experimente mit Anleitung
- Freie Navigation
- Dokumentation der Messergebnisse
- Wissenstests Ihrer Sprache verfügbar



# Gleichstromtechnik

## Strom, Spannung und Widerstandsschaltungen

Strom, Spannung, Widerstand – elektrotechnische Grundlagen handlungsorientiert erlernen. Im Kurs werden die grundlegenden Gesetze der Elektrotechnik in zahlreichen, leicht verständlichen Experimenten, Animationen und Texten anschaulich erarbeitet.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Grundbegriffe: Elektrische Ladung, elektrisches Feld, Strom, Spannung, Widerstand und Leistung
- Umgang mit Spannungsquellen und Messgeräten
- Experimenteller Nachweis des ohmschen und der kirchhoffschen Gesetze
- Messungen an Reihen-, Parallelschaltung und Spannungsteilern
- Kennlinienaufnahme von veränderlichen Widerständen (LDR, NTC, PTC, VDR)
- Untersuchung von Spule und Kondensator im Gleichstromkreis
- Fehlersuche

# Wechselstromtechnik

## Induktivität, Kapazität, Schwingkreis/Transformator

Wie verhalten sich Spulen und Kondensatoren am Wechselstrom? Was ist ein Schwingkreis und wie funktioniert ein Transformator?



UniTrain  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Kenngrößen periodischer und sinusförmiger Signale
- Umgang mit Zeigerdiagrammen
- Blindwiderstand von Spule und Kondensator experimentell ermitteln
- Wirk-, Blind- und Scheinleistung erklären
- Frequenzgang von einfachen Filterschaltungen bestimmen
- Elektrische Schwingkreise: Resonanz, Güte, Bandbreite und Grenzfrequenz
- Messung des Frequenzverhaltens von Reihen- und Parallelschwingkreisen
- Last-, Leerlauf- und Kurzschlussmessungen
- Frequenzverhalten von Transformatoren und Übertragern
- Fehlersuche

# Drehstromtechnik

## Stern- und Dreieck-Schaltung, Drehstromgenerator

Drehstrom hat eine überragende Bedeutung in der Energie- und Antriebstechnik, sowohl bei der Erzeugung und dem Transport elektrischer Energie als auch beim Betrieb leistungsstarker, industrieller Maschinen.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Messungen von Strang- und Leitergrößen im Drehstromnetz
- Gesetzmäßigkeiten zwischen Leiter- und Strangspannungen experimentell ermitteln
- Ohmsche und kapazitive Verbraucher in Stern- und Dreieck-Schaltung
- Phasenverschiebung zwischen Leiter- und Strangspannungen
- Messung der Ausgleichsströme im Neutraleiter
- Auswirkungen von Neutraleiterunterbrechungen
- Strom- und Spannungsmessungen bei symmetrischen und unsymmetrischen Belastungen
- Leistungsmessung an einer Drehstromlast

# Magnetismus/Elektromagnetismus

## Magnetfeld, Induktion, Bauelemente

Magnetismus und Elektrizität sind eng miteinander verknüpft. Viele Bauelemente der Elektrotechnik nutzen (elektro-)magnetische Effekte.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Magnetismus: magnetische Pole, magnetisches Feld, Feldlinien und Feldstärke
- Hart- und weichmagnetische Materialien, Hysterese
- Untersuchung des Magnetfelds eines stromdurchflossenen Leiters
- Untersuchung des Magnetfelds einer Spule (Luftspule, Spule mit Kern)
- Elektromagnetische Induktion und Lorentzkraft
- Aufbau und Funktionsweise eines Transformators
- Untersuchung eines Transformators bei verschiedenen Lasten
- Aufbau und Funktion elektromagnetischer Bauelemente: Relais, Reedschalter, Hallschalter
- Untersuchung von Anwendungsschaltungen

# Messen mit dem Multimeter

## Strommessung, Spannungsmessung, Widerstände und Dioden messen

Richtig messen und sicher arbeiten – im Kurs wird der sichere Umgang mit handelsüblichen Vielfachmessgeräten anhand zahlreicher Messübungen und Animationen trainiert.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Bedienelemente des Multimeters kennen lernen
- Gefahrenquellen bei Messungen an elektrischen Schaltungen
- Messung von elektrischen Gleich- und Wechselspannungen mit dem Multimeter
- Messung von elektrischen Gleich- und Wechselströmen mit dem Multimeter
- Widerstands- und Diodenmessungen
- Nullabgleich und Durchgangsmessungen
- Messbereichsanpassung
- Mögliche Fehlerquellen bei Messungen erkennen
- Bauelemente an einer unbekannt Schaltung mit Hilfe von Strom- und Spannungsmessungen ermitteln

# Netze und Netzmodelle

## Transiente Vorgänge im Gleichstrom- und Wechselstromnetz

Netze zur elektrischen Energieverteilung bestehen in der Struktur aus parallel oder hintereinander geschalteten Leitungen. In den bestehenden Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen treten zwei unterschiedliche Vorgänge auf: stationäre (konstante Belastungen) und transiente (Einschwingvorgänge). Die transienten Vorgänge treten bei Kurzschluss oder in anderen Fehlerfällen auf. Auch Schalthandlungen können, unter bestimmten Voraussetzungen, zu transienten Vorgängen führen. Diese typischen Vorgänge, die bei der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie besondere Beachtung erfordern, werden im Experiment an ungefährlicher Schutzkleinspannung nachvollzogen.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Die Bedeutung von Schaltvorgängen in Energienetzen kennen lernen
- Die Auswirkungen (Gefahren) von Schaltvorgängen in Energienetzen beurteilen
- Experimentelle Untersuchung des Strom- und Spannungsverlaufs bei Einschalten einer Gleichspannung
- Den Einfluss verschiedener Lasten (R, L, C) auf den Signalverlauf untersuchen
- Experimentelle Untersuchung des Strom- und Spannungsverlaufs bei Einschalten einer Wechselspannung
- Den Einfluss des Ein- bzw. Ausschaltzeitpunkts untersuchen
- Signalverlaufsmessungen bei verschiedenen Ausschaltzeitpunkten
- Bestimmung des optimalen Schaltzeitpunkts
- Ein- und Ausschaltvorgänge an komplexen Lasten (R, L, C) bei verschiedenen Schaltzeitpunkten analysieren

# Stromwandler und Spannungswandler

## Stromwandler für Schutzrichtungen

Strom- und Spannungswandler werden in großer Vielfalt für die verschiedenen Aufgaben in der elektrischen Energietechnik eingesetzt. In den Experimenten werden das Übertragungsverhalten, der Überstromfaktor, die Betrags- und Winkelfehler, wie z. B. bei unterschiedlichen Bürden, praxisgerecht untersucht. Weiterhin können die Anforderungen bei Normalbetrieb, Kurzschluss und unsymmetrischen Fehlern erarbeitet werden.



Versuchsbeispiel „Stromwandler EUB 1“

### Lerninhalte

- Stromwandlersekundärstrom als Funktion des Primärstromes
- Einfluss der Bürde auf den Stromfehler
- Überprüfung des Nennüberstromfaktors
- Stromwandlerschaltung im Dreileiternetz
- Stromwandlerschaltung im Vierleiternetz
- Bestimmung des Nullstromes

## Spannungswandler für Schutzrichtungen

Der Schutz von Anlagen und Anlagenteilen ist nicht nur abhängig von selektiven Schutzrichtungen, sondern auch von der korrekten Erfassung und Messung kleinster Fehlerströme und Spannungen. Bei unterschiedlichen Sternpunktbeschaltungen sind verschiedene Messschaltungen anzuwenden, um die möglichen Fehlerarten richtig zu erfassen und zu lokalisieren.



Versuchsbeispiel „Spannungswandler EUB 2“

### Lerninhalte

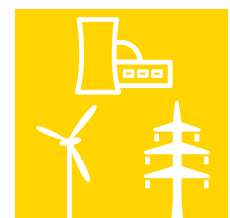
- Spannungswandlerkennlinien
- Berechnung von Spannungsfehlern und Klassengenauigkeiten
- Einfluss der Bürde auf das Übersetzungsverhältnis
- Dreiphasige Spannungswandler im gesunden Netz
- Dreiphasige Spannungswandler im Netz mit primärseitigem Erdschluss



Quelle: Woodward SEG

# Energieerzeugung

Synchronmaschinen (UniTrain-I) .....	32
Generatorregelung und Synchronisation .....	33
Generatorschutz .....	35



# Energieerzeugung

## Mit Drehstrom-Synchrongeneratoren

Neben den grundlegenden Versuchen zum Drehstrom-Synchrongenerator enthalten die Versuche in diesem Bereich handbetätigte und automatische Synchronisierschaltungen sowie Experimente zur automatischen Leistungsfaktor- ( $\cos\phi$ -Regelung) und Leistungsregelung. Es lässt sich daher mit diesem Modul ein Kraftwerkbetrieb mit Insel- und Verbundbetrieb nachbilden. Weiterhin ist ein wirksamer Schutz von Generatoren gegen innere und äußere Fehler erforderlich. Dieser setzt voraus, dass eine Vielzahl von Schutzeinrichtungen eingesetzt werden.



### Drehstrom-Synchrongeneratoren

Elektrische Energie wird hauptsächlich mit Drehstromgeneratoren erzeugt. Das gilt sowohl für Kraftwerke als auch für Stromaggregate und Windgeneratoren.

Diese Generatoren müssen wirksam gegen innere und äußere Fehler durch eine Vielzahl von Schutzeinrichtungen geschützt werden.



Quelle: Woodward SEG

### Servo-Maschinenprüfstand

Wichtiger Bestandteil in den Ausstattungen der Energietechnik ist der Servo-Maschinenprüfstand - ein komplettes Prüfsystem zur Untersuchung elektrischer Maschinen und Generatoren. Er besteht aus dem digitalen Steuergerät, einem Servoantrieb und der Software ActiveServo. Das System vereint neueste Technik mit einfacher Bedienung. Neben dem Antreiben und Bremsen lassen sich Arbeitsmaschinenmodelle realistisch emulieren. So lassen sich Maschinen, Generatoren und Antriebe im Labor unter industrietypischen Bedingungen untersuchen.



### Trainingssysteme

Unsere Trainingssysteme decken folgende Themengebiete ab:

- UniTrain-I Drehstrom-Synchrongeneratoren
- Experimentierplattensystem „Generatorregelung und Synchronisation“
- Experimentierplattensystem „Generatorschutz“



# Synchronmaschinen

## Schleifringläufermaschine, Synchronmaschine, Reluktanzmaschine

Reluktanzmotoren sind die Motoren der Zukunft. Heute schon weit verbreitet sind Drehstrommaschinen mit Synchron- und Schleifringläufer.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Erläuterung der Technologie und ihre Anwendung in der Praxis
- Erarbeiten der zum Verständnis notwendigen Physik
- Anlassen von Maschinen mit Anlasswiderständen sowie variabler Frequenz
- Steuern der Drehzahl
- Durchführung verschiedener Experimente:
  - Anschluss Schleifringläufer-Motor
  - Einfluss von offenen oder beschalteten Läuferwicklungen
  - Wirkung unterschiedlicher Erregerspannungen

# Generatorregelung und Synchronisation

## Handbetätigte Synchronisierschaltungen

Elektrische Energie wird hauptsächlich mit Drehstromgeneratoren erzeugt. Das gilt für konventionelle Dampf- und Wasserkraftwerke sowie für Stromaggregate und Windgeneratoren. Neben den grundlegenden Versuchen zum Drehstromsynchrongenerator werden verschiedene Versuche zum Thema handbetätigter Synchronisierschaltungen durchgeführt.



Versuchsbeispiel „Handbetätigte Synchronisierschaltungen EUG 1“

### Lerninhalte

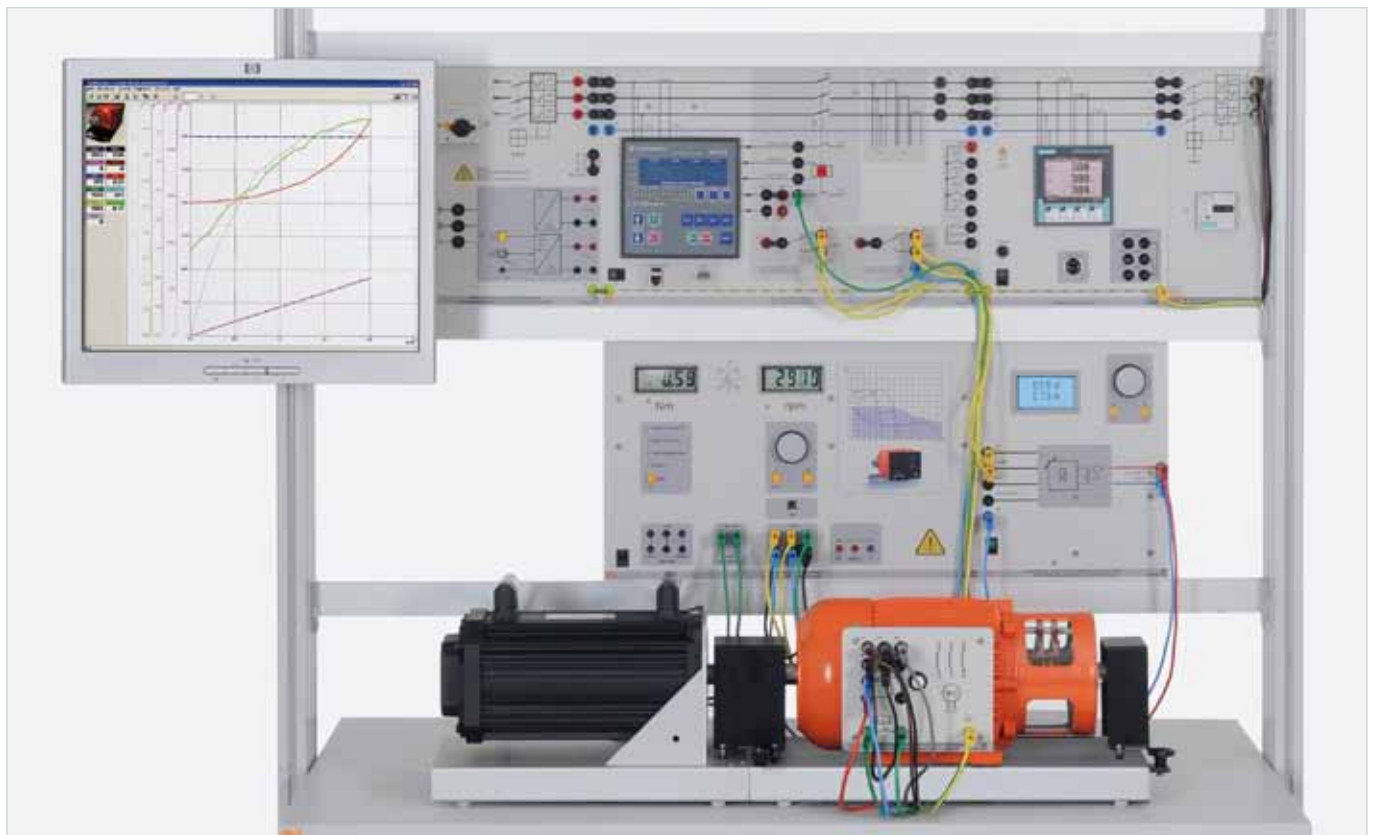
- Dunkelschaltung
- Hellschaltung
- Umlaufschaltung
- Wirkleistungserzeugung
- Induktive Blindleistungserzeugung
- Kapazitive Blindleistungserzeugung

# Generatorregelung und Synchronisation

Siehe auch Seite 105, Pumpspeicherkraftwerk (Ausstattung EUG 3)

## Automatische Synchronisierschaltungen, Leistungsregelung und Leistungsfaktorregelung

Neben den Versuchen zu automatischen Synchronisierschaltungen werden Experimente zur automatischen Leistungsfaktor- ( $\cos\phi$ ) und Leistungsregelung durchgeführt. Es lässt sich damit ein Kraftwerk im Insel- und Verbundbetrieb nachbilden.



Versuchsbeispiel „Automatische Synchronisierschaltungen EUG 2“

### Lerninhalte

#### Automatische Synchronisierschaltungen

- Inbetriebnahme und Parametrierung des Automatisierungsgerätes
- Synchronisation im Testbetrieb
- Synchronisation auf das reale Netz
- Verhalten des Automatisierungsgerätes bei Fehlprogrammierung

#### Automatische Leistungsfaktorregelung

- Parametrierung des automatischen  $\cos\phi$ -Reglers
- Synchronisation des Generators mit dem Netz
- $\cos\phi$ -Regelung des Synchrongenerators
- $\cos\phi$ -Regelung des Netzes

#### Automatische Leistungsregelung

- Parametrierung des automatischen Leistungsreglers
- Synchronisation des Generators mit dem Netz
- Führungs- und Störverhalten des Leistungsreglers
- Empfindlichkeit und Wirkungsrichtung des Leistungsreglers

# Generatorschutz

## Multifunktionsrelais

Ein wirksamer Schutz von Generatoren gegen innere und äußere Fehler setzt voraus, dass eine Vielzahl von Schutzeinrichtungen eingesetzt werden. Der Überstromzeitschutz bildet den Reserveschutz für den Generator und ist auch für die Erfassung von äußeren Fehlern, wie z. B. Kurzschluss und Überlast, einsetzbar. Mit dem Ständererdschluss-Schutz werden Erdschlussfehler erfasst. Die Untersuchung des Rückleistungs- und Schieflastschutzes sowie des Überspannungs-/Unterspannungsschutzes schließt die Versuchsreihe „EGP“ zum Generatorschutz ab.



Versuchsbeispiel „Generatorschutz EGP 1“

### Lerninhalte

#### Überstromzeitschutz

- Ansprech- und Abfallverhalten bei ein- und dreipoligen Fehlern
- Bestimmung der Auslösezeiten

#### Schieflastschutz

- Ansprech- und Abfallverhalten bei Schieflast
- Bestimmung des Rückfallverhältnisses und der Auslösezeiten
- Ermittlung der Relaiskennlinie  $TA = f(\text{Schieflast})$

#### Rückleistungsschutz

- Synchronisation des Generators auf das Netz

- Erkennung und Abschaltung des Generators bei Rückleistungsfluss

#### Über- und Unterspannungsschutz

- Reaktionen bei Phasenausfall
- Erfassung der Anrege- und Auslösezeiten

#### Ständererdschlusschutz

- Erfassung der Systemspannungen bei Normalbetrieb oder Ständererdschluss
- Messung der Auslösezeiten
- Berechnung des Erdschlussstromes

# Generatorschutz

## Generator-Differentialschutz

Der Generatordifferentialschutz, der innere Fehler wie Kurzschluss, Windungs- und Wicklungsschluss oder Doppelerdschlüsse erfasst, dient als Hauptschutz.



Versuchsbeispiel „Generator-Differentialschutz EGP 2“

### Lerninhalte

- Berechnung der Ansprechwerte des Schutzes
- Fehlererkennung innerhalb des Schutzbereiches
- Überprüfung der Auslösung und der Entregung bei Fehlern innerhalb und außerhalb des Schutzbereiches
- Abschaltung und Entregung des Generators
- Messung der Ansprechströme des Schutzes für symmetrische und unsymmetrische Fehler
- Vergleich der Messwerte mit den Einstellwerten

## Läufererdschlussschutz

Der Läufererdschlussschutz wird zur Ermittlung von Erdfehlern im Erregerstromkreis von Synchronmaschinen verwendet.



Versuchsbeispiel „Generatorschutz- Läufererdschlussschutz EGP 3“

### Lerninhalte

- Inbetriebnahme des Synchrongenerators
- Untersuchung im Normalbetrieb und bei Läufererdschluss
- Messung des Läufererdschlussstromes
- Läufererdschlussrelais im Erdschlussbetrieb:
  - Anschluss und Prüfung des Läufererdschlussrelais
  - Vorgabe unterschiedlicher Läufererdkurzschlüsse
  - Überprüfung der Fehlermeldung und der Abschaltung



# Regenerative Energieerzeugung



Photovoltaik (UniTrain-I) .....	42
Photovoltaik Advanced .....	44
Windkraftanlagen .....	48
Kleinwindkraftanlagen .....	52
Brennstoffzellentechnik (UniTrain-I) .....	54
Brennstoffzellentechnik Advanced .....	56



# Regenerative Energieerzeugung

## Unerschöpflich, nachhaltig, real – Die Zukunft ist grün

Die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien, weg von Kohle, Öl und Atomkraft, gewinnt an Fahrt. Heute ist die Technik so weit fortgeschritten, dass Solarenergie, Windkraft, Wasserstoff und Biomasse als umweltfreundliche Energieträger nutzbar sind. Damit sich der Trend fortsetzen kann, werden weltweit gut ausgebildete technische Fachkräfte gesucht.

Technologien verändern sich heutzutage rasant. Verbunden damit steigen die Anforderungen an die Ausbildung. Lucas-Nülle hat die passenden Trainingssysteme, die der komplexer werdenden Ausbildungswelt Rechnung tragen.



### Sonnige Aussichten mit Photovoltaik

- Abu Dhabi kündigt an, es werde rund zwei Milliarden US-Dollar in Technologie zur Herstellung von Photovoltaik-Dünnschichtmodulen in Masdar investieren.
- Im Silicon Valley entsteht mit einer Nennleistung von 25 MW das größte Solarstrom-Kraftwerk der USA.
- In Deutschland sind bereits 5 GW installierte Photovoltaik-Leistung realisiert. Diese Leistung entspricht der von 5 modernen Kraftwerksblöcken. Bis 2020 soll die Leistung schrittweise auf 40 GW erhöht werden.



### Saubere Zukunft mit Windenergie

- Prognose für Deutschland: Im Jahr 2030 werden 25 % des Stroms durch Windkraft erzeugt.
- Eine 3,0 MW Windenergieanlage spart jährlich 13.000 Barrel Öl oder 10.000 Tonnen CO<sub>2</sub> ein.



### Brennstoffzelle – Langzeitspeicher für Energie

- Anwendung in emissionsfreien Fahrzeugen
- Verbreitung als Notstromversorgung
- Anwendung als Blockheizkraftwerk



# Photovoltaik

## Sonnige Aussichten mit dem Photovoltaik-Kurs

In Zeiten von rapide ansteigenden Energiekosten und verstärktem Umweltbewusstsein stellt die Photovoltaik eine sehr interessante Alternative zur herkömmlichen Energieerzeugung dar. Mit dem Photovoltaik-Kurs können Sie nicht nur die Grundlagen von Solarzellen kennen lernen und untersuchen, sondern auch ein Photovoltaiksystem im Direkt- oder Speicherbetrieb simulieren.



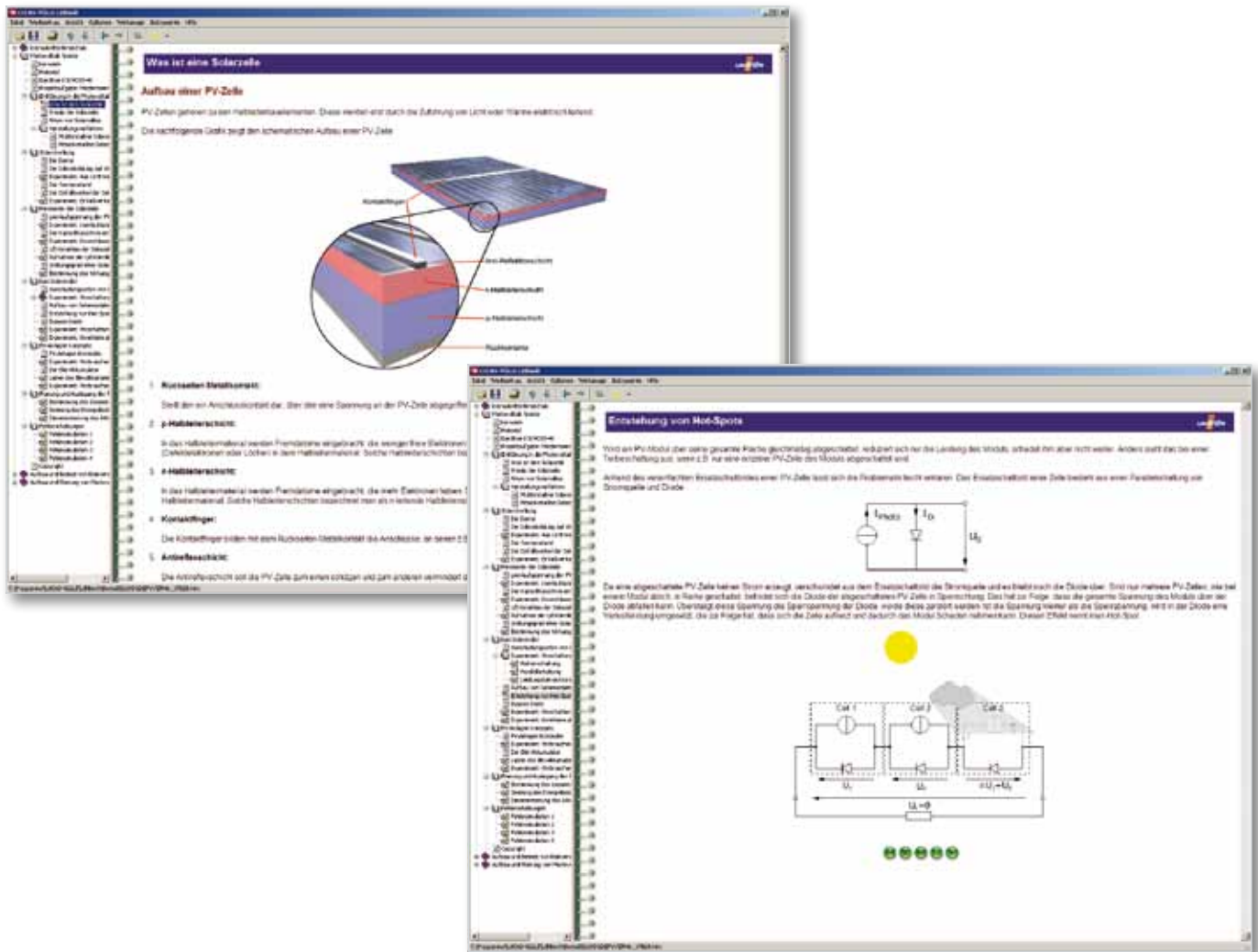
**eCO<sub>2</sub>Train**

**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Funktionsprinzip und Wirkungsweise der Solarzelle kennen lernen
- Kennlinienaufnahme eines Solarmoduls
- Die Abhängigkeiten des Stromes bzw. der Spannung eines Solarmoduls von Temperatur, Bestrahlungsstärke und Einfallswinkel erklären
- Reihen-, Parallel- und andere Verschaltungsarten von Solarzellen kennen lernen
- Herstellverfahren von Solarzellen kennen lernen
- Verschiedene Typen von Solarzellen erklären
- Aufbau eines Solarakkus kennen lernen
- Verschiedene Arten von Solaranlagen kennen lernen
- Aufbau eines Inselnetzes mit Solarakku

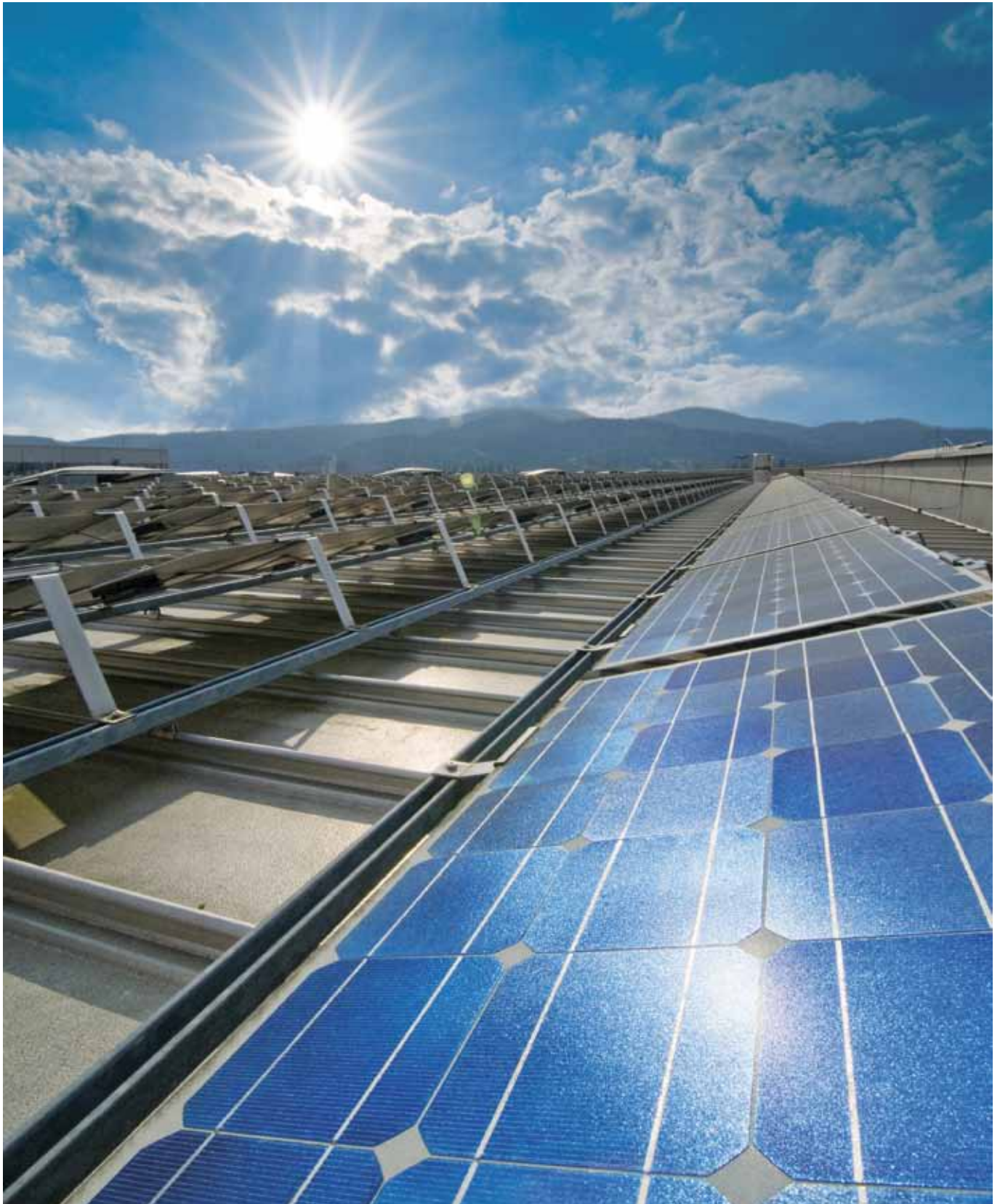
## Multimediakurs unterstützt das Experiment



### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mit dem UniTrain-I-Multimediakurs
- Komplettausstattung mit allen benötigten Komponenten
- PC-gestützte Auswertung der Messdaten
- System arbeitet mit 12 V
- System unterstützt Fehlersimulation

# Photovoltaik Advanced



## Projektarbeiten mit Industriekomponenten

Das Trainingssystem ermöglicht die realitätsnahe Simulation des Sonnenverlaufs. Somit lassen sich auch ohne Sonne die Versuche im Labor mit Hilfe von Emulatoren praxisgerecht durchführen.

Die Vermittlung von Kenntnissen, Know-how und die PC-gestützte Auswertung der Messdaten wird durch den Multimediakurs Photovoltaik Advanced ermöglicht.



Versuchsbeispiel „Photovoltaik Advanced EPH 2“

### Lerninhalte

#### Untersuchung von Solarmodulen

- Optimale Ausrichtung von Solarmodulen erproben
- Kennlinienaufnahme von Solarmodulen
- Untersuchung des Verhaltens bei Teilabschattung
- Untersuchung der Wirkungsweise von Bypassdioden
- Verschaltungsarten von Solarmodulen kennen lernen

#### Aufbau von PV-Anlagen im Inselbetrieb

- Installation von PV-Anlagen
- Aufbau und Test einer Insel-PV-Anlage im Direktbetrieb

- Aufbau und Test einer Insel-PV-Anlage im Speicherbetrieb
- Aufbau und Test einer Insel-PV-Anlage zur Erzeugung von 230-V-Wechselspannung

#### Aufbau von PV-Anlagen im Netzparallelbetrieb

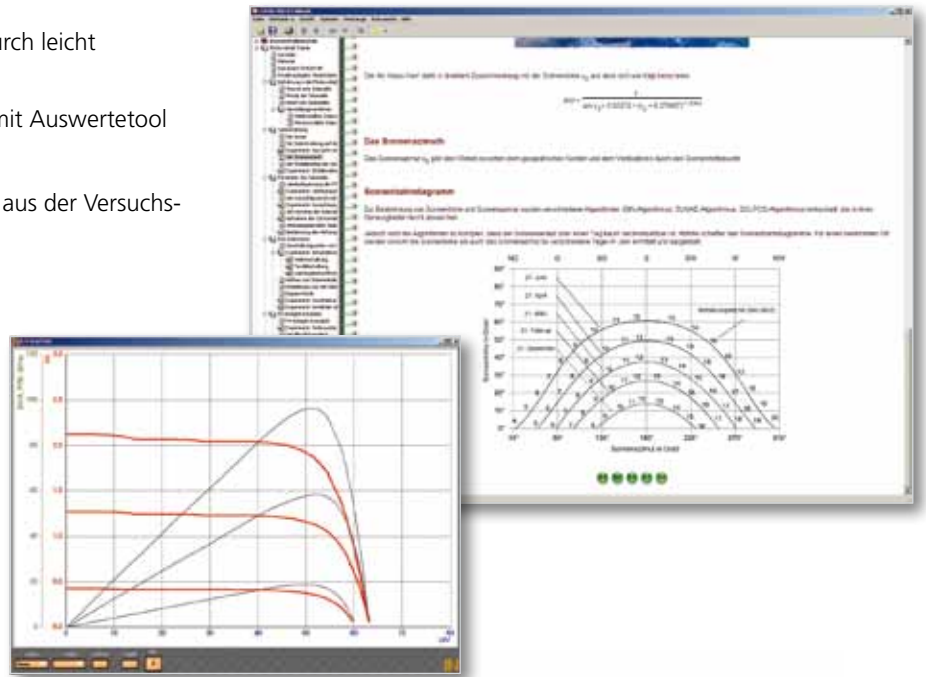
- Installation, Aufbau und Test einer PV-Anlagen mit Netzeinspeisung
- Messung der erzeugten Energie einer PV-Anlage
- Bestimmung des Wirkungsgrades des Netz-Wechselrichters
- Untersuchung des Verhaltens einer PV-Anlage bei Netzausfall

# Photovoltaik Advanced

## Sonne im Labor

### „Interactive Lab Assistant“

- Multimediale Schritt-für-Schritt-Anleitung
- Erläuterung physikalischer Grundlagen durch leicht verständliche Animationen
- Testen des Lernfortschritts durch Fragen mit Auswertetool
- PC-gestützte Auswertung von Messdaten
- Starten von virtuellen Messgeräten direkt aus der Versuchsanleitung heraus



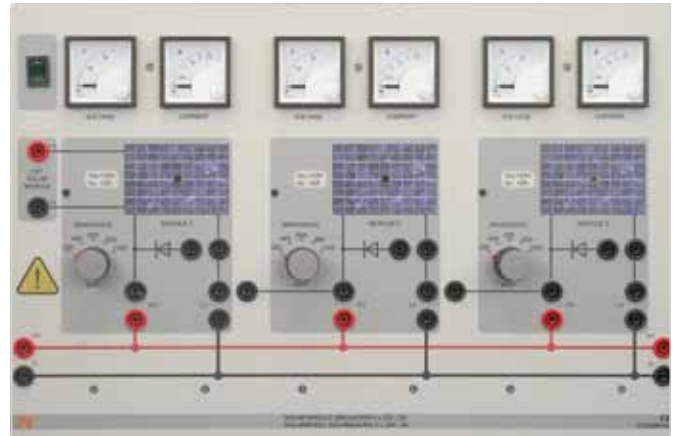
### Solarmodul mit Altituden-Emulator

- Einstellbarkeit des Sonnenwinkels in Abhängigkeit von Position (Breitengrad), Datum und Uhrzeit
- Einstellbarkeit der Neigung des Solarmoduls
- 10-W-polykristallines-Solarmodul
- 500-W-Halogenstrahler mit Dimmer
- Realistische Emulation des Sonnengangs



## Solaremulator

- Versuche auch ohne Sonne durch drei unabhängige Solaremulatoren möglich
- Lichtintensität für jeden Emulator einzeln einstellbar
- Zuschaltbare Bypassdiode enthalten
- 120-VA-Leistung



## Industriekomponenten

- Solarladeregler
- Inselwechselrichter
- Netzwechselrichter
- Einfache Inbetriebnahme und Untersuchung von industriellen Komponenten



### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mittels Multimedialkurs „Interactive Lab Assistant“
- Einsatz von Industriekomponenten
- Flexible Versuchsdurchführung durch reales Solarmodul oder Solarnachbildung
- PC-gestützte Auswertung von Messdaten
- Integration in die Systeme der Energietechnik

# Windkraftanlagen



## Doppeltgespeiste Asynchrongeneratoren (DFIG)

Die Ausstattung ermöglicht die Untersuchung moderner Windkraftanlagen mit „Doppeltgespeisten Asynchrongeneratoren“. Der Wind lässt sich realitätsnah mit dem Servo-Maschinenprüfstand und der Software „WindSim“ emulieren. Durch die PC-Anbindung ist während der Experimente eine komfortable Bedienung und Visualisierung gewährleistet. Der dazu gehörende Multimediakurs „Interactive Lab Assistant“ vermittelt die theoretischen Kenntnisse, unterstützt die Durchführung der Versuche und die Auswertung von Messdaten.



Versuchsbeispiel „Windkraftanlage EWG 1“

### Lerninhalte

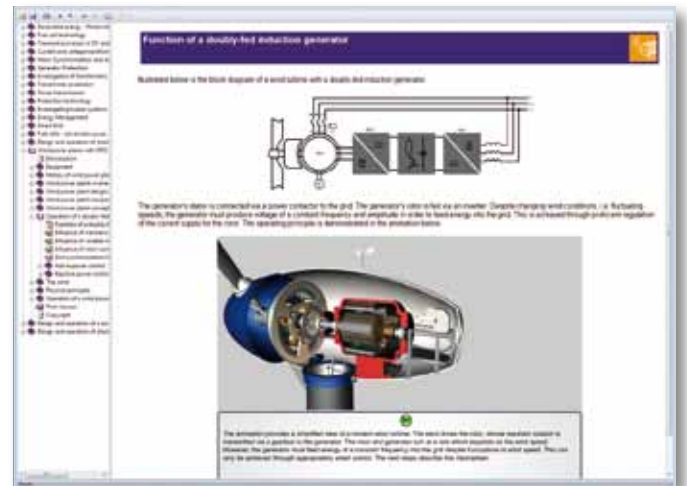
- Aufbau und Wirkungsweise moderner Windkraftanlagen verstehen
- Physikalische Grundlagen „Vom Wind zur Welle“ erarbeiten
- Verschiedene Windkraftanlagenkonzepte kennen lernen
- Aufbau und Inbetriebnahme eines doppeltgespeisten Asynchronwindgenerators
- Betrieb des Generators bei wechselnden Windstärken und Regelung der Ausgangsspannung und -frequenz
- Bestimmung von optimalen Arbeitspunkten bei wechselnden Windbedingungen
- Untersuchung des Verhaltens bei Netzfehlern „Fault-ride-through“

# Windkraftanlagen

## Frischer Wind im Labor

### „Interactive Lab Assistant“

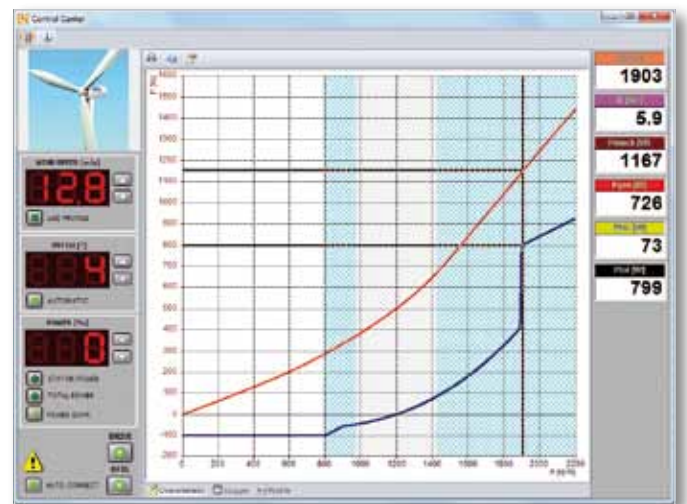
- Multimediale Schritt-für-Schritt-Anleitung
- Erläuterung physikalischer Grundlagen durch leicht verständliche Animationen
- Testen des Lernfortschritts durch Fragen mit Auswertetool
- PC-gestützte Auswertung von Messdaten
- Starten von virtuellen Messgeräten direkt aus der Versuchsanleitung heraus



### Windemulator

Wind und Flügelgeometrie sorgen bei realen Windkraftanlagen für den Antrieb des Generators. Im Labor übernehmen der Servo-Maschinenprüfstand und die Software WindSim die Aufgaben des Windes. So lassen sich im Labor die gleichen Verhältnisse emulieren wie bei realen Windkraftanlagen.

- Realitätsgetreue Emulation von Wind und Flügelgeometrie
- Drehzahl und -moment stellen sich in Abhängigkeit von Wind und Pitchwinkel automatisch ein
- Pitch und Windstärke unabhängig voneinander einstellbar
- Eingabe von Windprofilen
- Aufzeichnung von mechanischen sowie elektrischen Werten



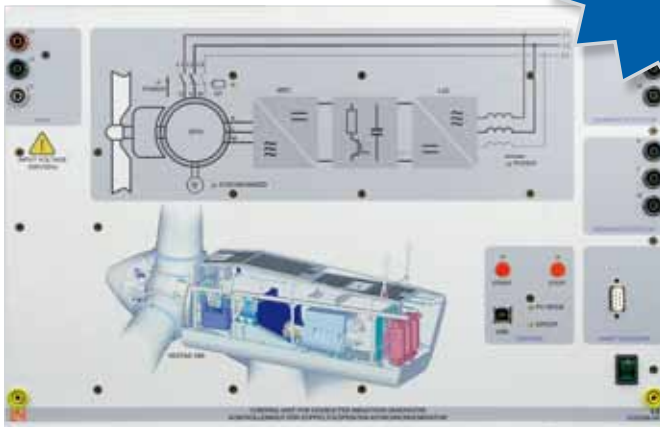
## Doppeltgespeister Asynchrongenerator mit Steuergerät

- Steuergerät mit zwei gesteuerten Wechselrichtern
- Ansteuerung des Generators im unter- und übersynchronen Betrieb
- Integrierter Leistungsschalter zur Schaltung des Generators ans Netz
- Automatische Regelung von Wirk- und Scheinleistung, Frequenz, Spannung
- Manuelle und automatische Synchronisation
- Messung und Darstellung aller Systemgrößen
- „Fault-ride-through“-Experimente



„Doppeltgespeister Asynchrongenerator“

„Fault-ride-through“



„Kontrolleinheit für Doppeltgespeisten Asynchrongenerator“



„Dynamischer Netzfehler Simulator“

### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mittels Multimediakurs „Interactive Lab Assistant“
- Windkraft und mechanischer Aufbau der Windkraftanlage lassen sich detailgetreu mit dem Servo-Maschinenprüfstand emulieren
- Das mikrocontroller-gesteuerte Steuergerät für den doppeltgespeisten Asynchrongenerator ermöglicht eine komfortable Bedienung und Visualisierung während der Experimente
- Modernste Technologie mit „Fault-ride-through“
- Integration in die Systeme der Energietechnik

# Kleinwindkraftanlagen

## Strom für die dezentrale Versorgung

Kleinwindkraftanlagen bis 5 kW Leistung werden heute für dezentrale Stromversorgungen eingesetzt. Die Anlagen erzeugen Gleichspannung. Die Energie lässt sich über Laderegler in Akkus speichern. Über Wechselrichter werden Wechselspannungen für den Betrieb von Netzverbrauchern erzeugt.

Der Einfluss von Windstärke und mechanischem Aufbau der Windkraftanlage lassen sich detailgetreu mit dem Servo-Maschinenprüfstand und der Software „WindSim“ emulieren.



Versuchsbeispiel „Kleinwindkraftanlage EWG 2“

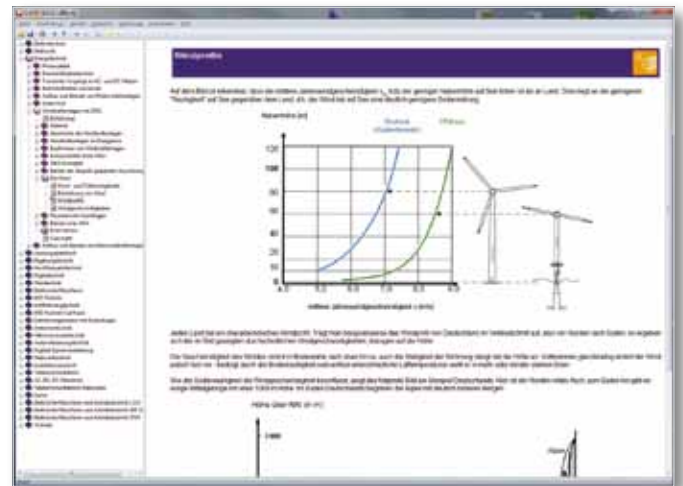
### Lerninhalte

- Aufbau und Wirkungsweise moderner Kleinwindkraftanlagen verstehen
- Physikalische Grundlagen „Vom Wind zur Welle“ erarbeiten
- Verschiedene Windkraftanlagenkonzepte kennen lernen
- Aufbau und Inbetriebnahme eines Kleinwindkraftgenerators
- Betrieb mit wechselnden Windstärken im Speicherbetrieb
- Energiespeicherung
- Optimierung der Anlage
- Aufbau einer Inselanlage zur Erzeugung von 230-V-Wechselspannung
- Hybridsysteme zur autarken Stromversorgung mittels Windkraft und Photovoltaik kennen lernen

## Produkteigenschaften, die überzeugen

### „Interactive Lab Assistant“

- Multimediale Schritt-für-Schritt-Anleitung
- Erläuterung physikalischer Grundlagen durch leicht verständliche Animationen
- Testen des Lernfortschritts durch Fragen mit Auswertetool
- PC-gestützte Auswertung von Messdaten
- Starten von virtuellen Messgeräten direkt aus der Versuchsanleitung heraus



### Synchrongenerator

- Windkraft und mechanischer Aufbau der Windkraftanlage lassen sich detailgetreu mit dem Servo-Maschinenprüfstand emulieren.
- Das Verhalten des Generators im Labor entspricht dem der realen Anlage
- Kleinwindkraftanlage für den Betrieb im Außenbereich geeignet



### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mittels Multimedialkurs „Interactive Lab Assistant“
- Windkraft und mechanischer Aufbau der Windkraftanlage lassen sich detailgetreu mit dem Servo-Maschinenprüfstand emulieren
- Das Verhalten des Generators im Labor entspricht dem der realen Anlage
- Reale Kleinwindkraftanlage für den Betrieb im Außenbereich inklusive Mastset, integrierbar

# Brennstoffzellentechnik

## Aufbau und Wirkungsweise von Brennstoffzellen

Erneuerbare Energien werden bereits heute als Lösung für die erwartete Energieknappheit im 21. Jahrhundert gehandelt. Die auf Wasserstoff basierende Brennstoffzelle ist Teil dieser Lösung. Als ergänzende Technologie wird es in künftigen Energiesystemen zur Erzeugung von sauberer Energie aus regenerativem Wasserstoff verwendet.



eCO<sub>2</sub>Train

UniTrain  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Funktionsprinzip und Wirkungsweise der Brennstoffzelle kennen lernen
- Kennlinienaufnahme einer Brennstoffzelle
- Die elektrochemischen Prozesse der Elektrolyse erklären (1. und 2. Faradaysche Gesetz)
- Faraday- und Energiewirkungsgrad einer Brennstoffzelle bestimmen
- Reihen- und Parallelschaltung von Brennstoffzellen
- Leistungsbetrachtung von Brennstoffzellen
- Funktionsprinzip und Wirkungsweise des Elektrolyseurs kennen lernen
- Aufnahme der UI-Kennlinie des Elektrolyseurs
- Faraday- und Energiewirkungsgrad eines Elektrolyseurs bestimmen

## Multimediakurs unterstützt das Experiment

**Mögliche Anwendungen**

Obwohl Kohlenstoff schon vor über 150 Jahren entdeckt wurde, hat man die Brennstoffzelle erst in den 1960er Jahren erstmals in einer praktischen Anwendung in der Raumfahrt eingesetzt. In der Energieerzeugung der 1970er und 1980er Jahre entstanden die Versuchsaufwerke, die sich jedoch nicht durchsetzen konnten. Heute existierende Botschaft: Anwendungen, die sich in industrieller Produktion in den nächsten Jahren realisieren lassen.

**Stationäre Anwendungen**

Stationäre Anwendungen verbleiben während ihres Einsatzes an einem Ort und sind daher nicht transportabel. Das hat den Vorteil, dass man den benötigten Wasserstoff vor Ort recht einfach erzeugen muss. Stattdessen kann man es über Rohrleitungen zuführen.

Ein typisches Beispiel sind Blockheizkraftwerke. Hier wird aus der elektrischen Energie auch das Fernwärmenetz "Warmes & B." für das Beheizen von Gebäuden gespeist.

**Mobile Anwendungen**

Diese Anwendungen sind heutzutage aufgrund ihrer Größe kaum mehr als jedoch nicht mit dem "Benzinwagen" um die gleiche Leistung zu erzeugen. Die Brennstoffzelle stellt dabei in erster Linie durch elektrische Antriebsenergie Energie im geringen Dichte. Dabei muss der Wasserstoff, wo auch immer er erzeugt wird, zu geeigneten Speichern transportiert werden, was einen zusätzlichen Aufwand bedeutet.

Auf diese Weise können z.B. LKWs oder Busse aber auch U-Boote und Turbinen angetrieben werden. Auf ein solches Beispiel verweist die A3 "Mercedes-Benz S-Klasse" und in diesem Kurs nicht genauer eingegangen.

**Portable Anwendungen**

Solche Anwendungen sind so klein und leicht, dass man sie sogar tragen kann. Das gilt auch für den Wasserstoff, welcher über die Brennstoffzelle jederzeit mit Wasserstoff versorgt muss.

Solche Anwendungen sind z.B. Notstromaggregate, Energieerzeuger für mobile Geräte, Interkomputer oder Wortprozessoren. Als Alternative können sehr kompakte Brennstoffzellen auch Verwendung in Laptops oder gar Mobiltelefonen.

Das Atommodell zeigt die drei Teilchenarten: Protonen, Neutronen und Elektronen. Die Protonen sind positiv geladen, die Neutronen sind neutral und die Elektronen sind negativ geladen. Die Masse eines Protons ist etwa 1836 mal so groß wie die eines Elektrons. Die Masse eines Neutrons ist etwa 1,67 mal so groß wie die eines Elektrons. Die Ladung eines Protons ist gleich der Ladung eines Elektrons, aber entgegengesetzt.

Die Kernelemente werden dabei so schnell beschleunigt, dass sie nur auf ein paar Zentimeter in der Luft zu fliegen vermögen. Man muss sie daher in einem Behälter unter Hochdruck und hoher Temperatur aufbewahren.

### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mittels Multimediakurs „Interactive Lab Assistant“
- Kompaktes Gerät mit PEM-Doppelbrennstoffzelle und PEM-Elektrolyseur mit Gasspeicher
- Gefahrloser Umgang mit Wasserstoff
- Stromversorgung 2 V/2,5 A zur Speisung des Elektrolyseurs bereits integriert
- Vielfalt von Lasten (Lampen, Ventilator)
- Variable Last zur Kennlinienaufnahme

# Brennstoffzellentechnik Advanced

## Autarke Stromversorgung mit Brennstoffzelle

Die Erzeugung elektrischer Energie mit Hilfe von Brennstoffzellen entwickelt sich zunehmend zu einem bedeutenden technischen Thema mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Elektro- und Kraftfahrzeugtechnik. Das Experimentiersystem ermöglicht bei gefahrlosem Umgang mit Wasserstoff und Brennstoffzelle viele interessante Untersuchungen und ist sowohl für Demonstrationen als auch für einen Praktikumsbetrieb geeignet. Animierte Theorie, Experimentieranleitungen und Ergebnisfelder werden mit Hilfe des „Interactive Lab Assistant“ realisiert.



Versuchsbeispiel „50-VA-Brennstoffzellen-Stack mit Verbrauchern EHY 1“

### Lerninhalte

- Aufbau und Funktionsweise einer Brennstoffzelle
- Aufbau und Funktionsweise eines Elektrolyseurs
- Aufbau und Funktionsweise eines Metallhydridspeichers
- Thermodynamik der Brennstoffzelle
- Kennlinie und Leistungskurve der Brennstoffzelle
- Wirkungsgrad
- Notwendige Komponenten für eine autonome Stromversorgung
- Leistungselektronik und Spannungswandlung

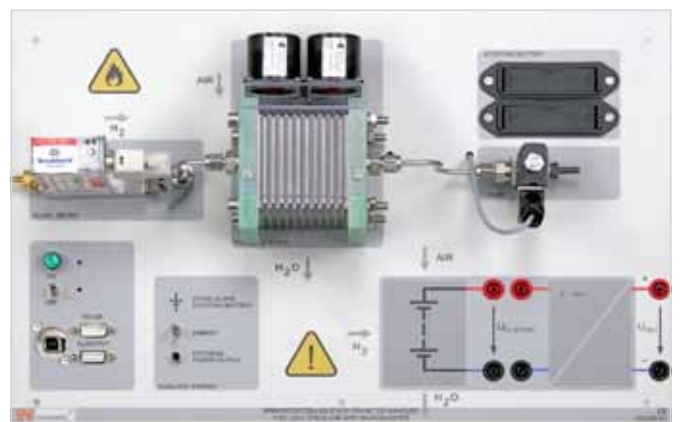
## „Interactive Lab Assistant“

- Multimediale Schritt-für-Schritt-Anleitung
- Erläuterung physikalischer Grundlagen durch leicht verständliche Animationen
- Testen des Lernfortschritts durch Fragen mit Auswertetool
- PC-gestützte Auswertung von Messdaten
- Starten von virtuellen Messgeräten direkt aus der Versuchsanleitung heraus



## Brennstoffzellen-Stack

- 50-VA-Stack
- Durchflussmesser für Wasserstoffzufuhr
- Lüfter mit variabler Drehzahl zur Belüftung der Brennstoffzelle
- Messung aller relevanten Größen



50-VA-Brennstoffzellen-Stack

### Ihre Vorteile

- Vermittlung von Kenntnissen und Know-how mittels Multimediakurs „Interactive Lab Assistant“
- Einfacher Einstieg in das Thema Brennstoffzelle
- Gefahrloses Experimentieren mit Wasserstoff
- 50-VA-Brennstoffzellen-Stack
- Anschluss für Wasserstoff-Druckspeicher
- Leistungsstarker Elektrolyseur
- Vielfalt von Lasten
- Variable Last zur Kennlinienaufnahme



# Transformatoren

Drehstromtransformator (UniTrain-I) .....	62
Untersuchungen an Transformatoren .....	63
Transformatorschutz .....	64



# Transformatoren

## Transformieren und schützen

In der Energietechnik verwendet man Transformatoren, um die verschiedenen Spannungsebenen des Stromnetzes miteinander zu verbinden. In Transformatorstationen wird die Elektrizität des regionalen Verteilnetzes mit der Mittelspannung von 10 bis 36 kV zur Versorgung der Niederspannungsendkunden auf die im Ortsnetz verwendeten 400 V bzw. 230 V transformiert. Kernstück einer Umspannanlage ist der Transformator, für den Schutzrichtungen benötigt werden. Durch praxisbezogene Messungen und Fehlersimulationen am Trainingssystem kann das Verständnis für diese komplexen Anlagen im Unterricht vermittelt werden.



### Transformatoren

Transformatoren sind elektrische Maschinen, die dazu dienen, Wechsel- oder Drehströme auf höhere oder niedrigere Spannungen umzuspannen. Drehstromtransformatoren sind insbesondere bei der Übertragung elektrischer Energie von großer Bedeutung. In der Energietechnik verwendet man Transformatoren, um die verschiedenen Spannungsebenen des Stromnetzes miteinander zu verbinden.



Quelle: SIEMENS

### Transformatorschutz

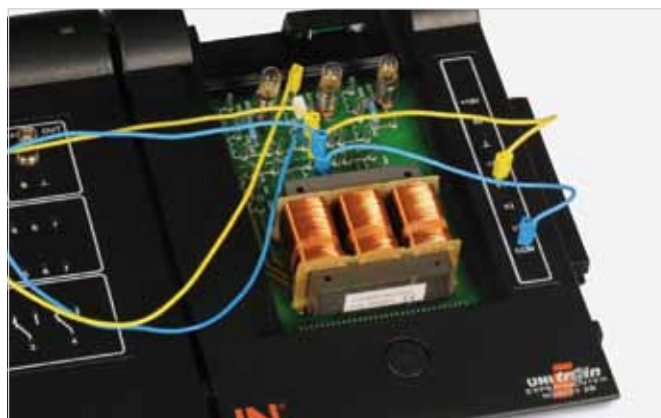
Der Differentialschutz für Transformatoren (ab ca. 1 MVA), kombiniert mit einem Überstromzeitschutz, kann bei unterschiedlichen Wicklungsschaltungen (Stern, Dreieck), in verschiedenen Schaltgruppen und in Abhängigkeit der Sternpunktbehandlung (frei, direkt oder über Erdschlusspule geerdet) im Normalbetrieb und in verschiedenen Fehlerfällen messtechnisch untersucht werden. Bei Differenzströmen werden die Auslösekriterien anhand der Kennlinienempfindlichkeit ermittelt.



### Trainingssysteme

Unsere Trainingssysteme decken folgende Themengebiete ab:

- UniTrain-I „Drehstromtransformator“
- Experimentierplattensystem „Untersuchungen an Transformatoren“
- Experimentierplattensystem „Transformatorschutz“



# Drehstromtransformator

## Bauformen, Anschlussarten, Lastverhalten

Transformatoren sind elektrische Maschinen, die dazu dienen, Wechsel- oder Drehströme auf höhere oder niedrigere Spannungen umzuspannen. Drehstromtransformatoren sind insbesondere bei der Übertragung elektrischer Energie von großer Bedeutung.



**UniTrain**  
SYSTEM

### Lerninhalte

- Transformatorprinzip und Ersatzschaltbild kennen lernen
- Untersuchung des Lastverhaltens von Einphasentransformatoren im Ein- und Vierquadrantenbetrieb
- Aufnahme von Strom und Spannung mit und ohne Last
- Untersuchung des Übersetzungsverhältnisses
- Kennenlernen von Drehstromtransformatoren
- Untersuchung von Lastfällen bei verschiedenen Schaltgruppen
- Untersuchung von unsymmetrischen Lasten an verschiedenen Schaltgruppen
- Bestimmung der Kurzschlussspannung

# Untersuchungen an Transformatoren

## Transformatoren

In der Energietechnik verwendet man Transformatoren, um die verschiedenen Spannungsebenen des Stromnetzes miteinander zu verbinden. In den Versuchen wird das Transformator-Ersatzschaltbild behandelt, die Kenngrößen werden durch Messungen bestimmt.



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an Transformatoren EUT“

### Lerninhalte

- Mehrphasentransformator im Leerlauf und Kurzschluss
- Mehrphasentransformator mit ohmscher, induktiver und kapazitiver Belastung
- Bestimmung der Nullimpedanz
- Untersuchung des Übersetzungsverhältnisses

# Transformatorschutz

## Transformator-Differentialschutz

Der Differentialschutz für Transformatoren (ab ca. 1 MVA) wird bei unterschiedlichen Wicklungsschaltungen (Stern, Dreieck) in verschiedenen Schaltgruppen und in Abhängigkeit der Sternpunktbehandlung (frei, direkt oder über Erdschlusspule geerdet) im Normalbetrieb und in verschiedenen Fehlerfällen messtechnisch untersucht.



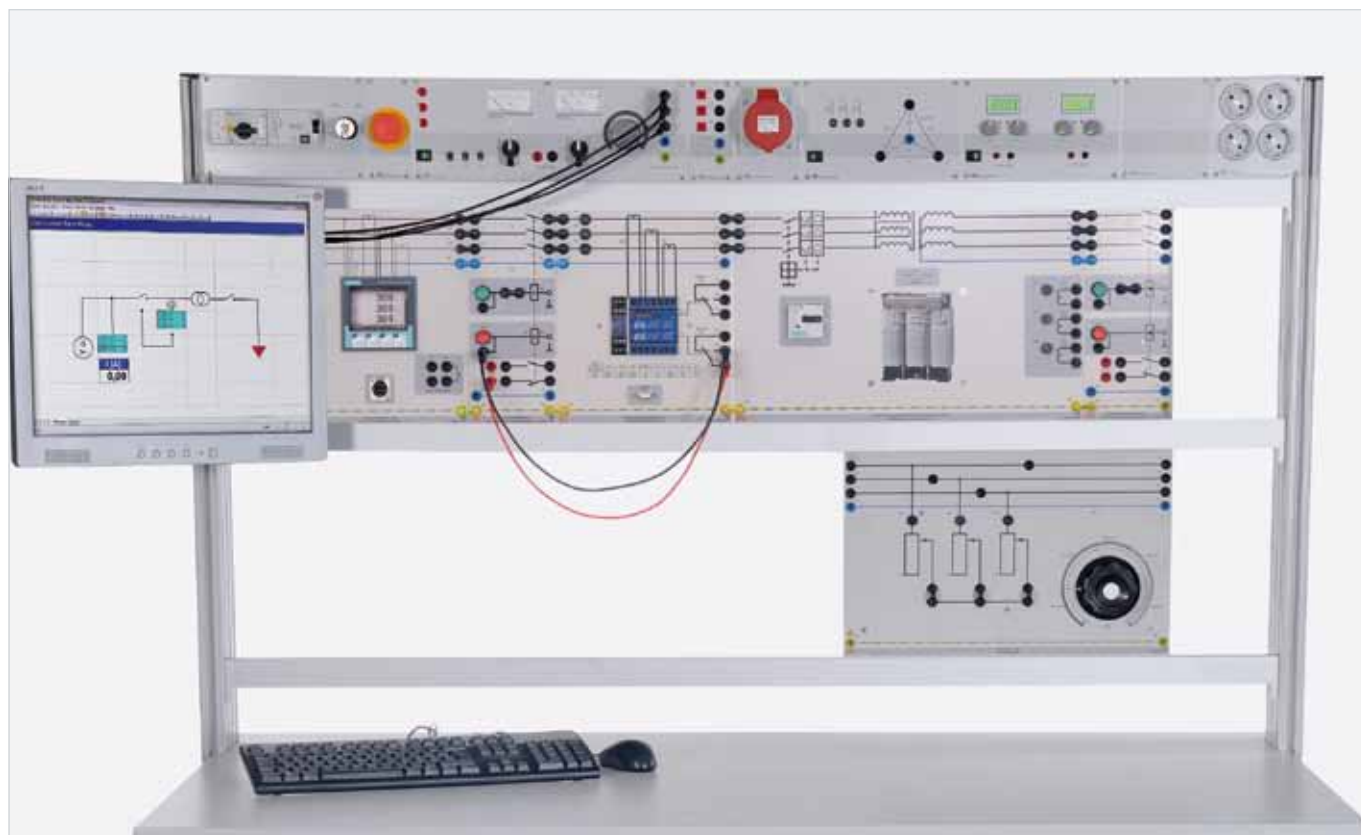
Versuchsbeispiel „Transformator-Differentialschutz ETP 1“

### Lerninhalte

- Erfassen und Abschalten von Transformator internen Fehlern
- Erfassen von Einschaltstromspitzen (RUSH) ohne Abschaltung
- Fehlauflösungen durch falsch dimensionierte Wandler
- Auswahl der Auslösekennlinie unter Berücksichtigung von Differenzströmen

## Überstromzeitschutz

Der Überstromzeitschutz ergänzt die Schutzmaßnahmen des Transformator-Differentialschutzes. Der Überstromzeitschutz schützt den Transformator gegen Kurzschlüsse außerhalb des Schutzbereiches und gegen Überlast.



Versuchsbeispiel „Überstromzeitschutz ETP 2“

### Lerninhalte

- Parametrierung des Überstromzeitrelais unter Berücksichtigung der Stromwandlerübersetzung
- Erfassung der Ansprechwerte für symmetrische und unsymmetrische Fehler
- Fehlauslösung des Schutzes durch Einschaltverhalten des Transformators
- Einschaltverhalten des Transformators im Hinblick auf den Schutz



# Energieübertragung

Untersuchungen an Drehstromleitungen .....	70
Parallel- und Reihenschaltung von Leitungen .....	71
Leitung mit Erdschlusskompensation .....	72
Übertragungssysteme mit Synchrongenerator .....	73
Untersuchungen an Drehstromkabeln .....	74
Verbundnetze aus Kabeln und Leitungen .....	75
Leitungsschutz .....	76



# Energieübertragung

## Übertragungsleitungen und Leitungsschutzmaßnahmen

Hochspannungsnetze werden in der Regel mit Spannungen von 110 kV bis 380 kV betrieben, wobei Großstädte und große Industriebetriebe mit 110 kV versorgt werden und für die Fernübertragung 380 kV gewählt wird. Die Leitungsnachbildung ist so konzipiert, dass die Modellspannungen zwischen 110 V und 380 V liegen. Verschiedene Leitungslängen können über entsprechende Auflagemasken gewählt werden. Die Untersuchungen am Trainingssystem können im Leerlauf, im Normalbetrieb, im Kurzschlussfall sowie bei unsymmetrischen Fehlern, einschließlich Erdschluss mit und ohne Kompensation durchgeführt werden. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, komplexe Strukturen aufzubauen, indem die Leitungsnachbildungen parallel oder in Reihe geschaltet werden. Die Spannungseinspeisung kann über ein starres Netz oder via Synchrongenerator erfolgen.



## Hochspannungsleitungen

Ihre Vorteile:

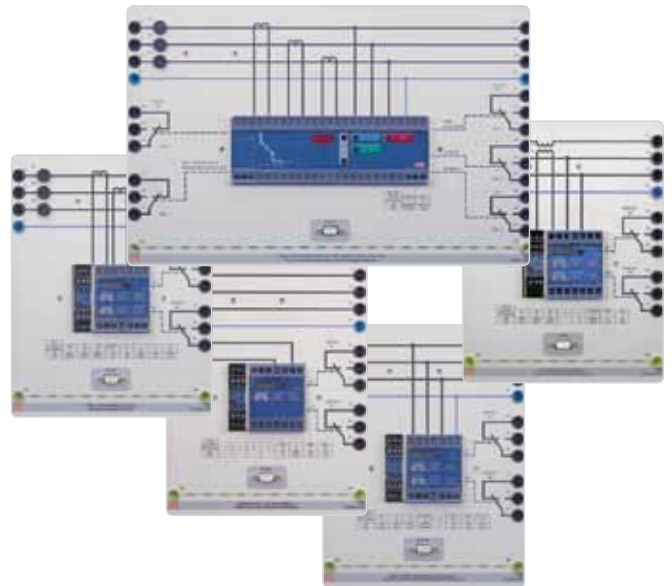
- Die Untersuchung von Hochspannungs-Übertragungsleitungen und deren Zusammenschaltung findet zu Ihrer Sicherheit auf der Niederspannungsebene statt, ohne dass die Eigenschaften der echten Hochspannungsleitung verloren gehen!
- Realistische Nachbildung einer 380-kV-Übertragungsleitung mit den Längen 300 km und 150 km
- Innovative Umschaltung der Leitungslänge mittels Auflagemasken
- Erdschlusskompensation durch eine Petersen Spule
- Möglichkeit zur Nachbildung symmetrischer und unsymmetrischer Fehler
- Reihen- und Parallelkompensation



## Innovative Schutztechnik

In der Praxis werden Mittel- und Hochspannungsnetze mit Schutzeinrichtungen versehen, welche über Strom- und Spannungswandler angeschlossen sind.

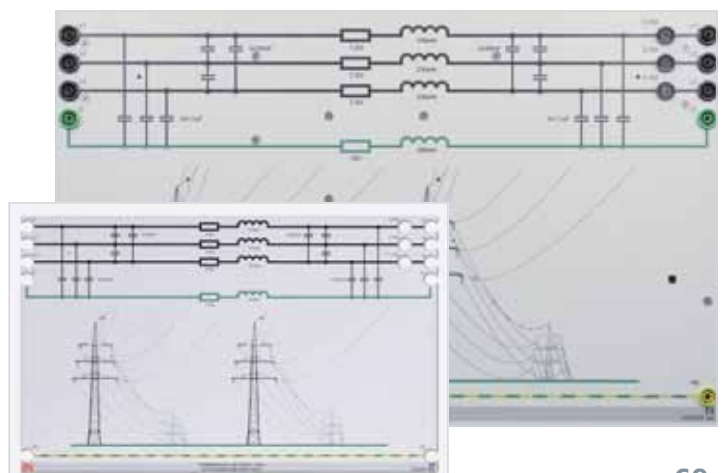
- Einsatz von kompakten Originalrelais mit zukunftsweisender Digitaltechnik
- Einsatz industrieller Schutzrelais von renommierten, weltweit tätigen Herstellerfirmen
- Überwachung der Schutzeinrichtungen mittels SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- Mit der optionalen Relaisprüfeinrichtung können die Relais einzeln getestet werden.



## Trainingssysteme

Unsere Trainingssysteme decken folgende Themengebiete ab:

- Experimentierplattensystem „Übertragungsleitungen“
- Experimentierplattensystem „Leitungsschutz“



# Übertragungsleitungen

## Untersuchungen an Drehstromleitungen

Die Untersuchung von 380-kV-Übertragungsleitungen und deren Zusammenschaltung findet zu Ihrer Sicherheit auf der Niederspannungsebene statt, ohne dass die Eigenschaften der echten Hochspannungsleitung verloren gehen! Diese realistische Nachbildung einer 380-kV-Übertragungsleitung schaltet automatisch nach Auflegen der Auflagemaske zwischen den Leitungslängen 300 km und 150 km um.



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an Drehstromleitungen EUL 1“

### Lerninhalte

- Spannungserhöhungen an leerlaufenden Leitungen
- Spannungsabfall in Abhängigkeit von der Leitungslänge
- Spannungsabfall in Abhängigkeit von der Belastung
- Kapazitive und induktive Verlustleistung der Leitung in Abhängigkeit von  $U$  und  $I$
- Phasenverschiebung auf der Leitung

## Parallel- und Reihenschaltung von Leitungen

Durch Verwendung mehrerer Leitungsnachbildungen bietet sich die Möglichkeit, komplexe Netze aufzubauen, indem die Leitungsnachbildungen parallel oder in Reihe geschaltet werden.



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an parallelen Leitungen EUL 2“

### Lerninhalte

- Leistungs-, Spannungs- und Stromverteilung bei parallelen Leitungen mit gleicher Länge
- Leistungs-, Spannungs- und Stromverteilung bei parallelen Leitungen mit ungleicher Länge
- Leistungs-, Spannungs- und Stromverteilung bei Reihenschaltung von Leitungen mit gleicher Länge
- Leistungs-, Spannungs- und Stromverteilung bei Reihenschaltung von Leitungen mit ungleicher Länge
- Lastverteilung, Leistungsfluss
- Betriebstechnische Zusammenhänge quantitativ und qualitativ bewerten

# Übertragungsleitungen

## Leitung mit Erdschlusskompensation

Die Erdschlusskompensation dient in elektrischen Energieversorgungsnetzen dazu, Fehler durch Erdschlüsse eines Außenleiters zu kompensieren. Die Erdschlusskompensation ist auf Dreiphasensysteme beschränkt und verwendet eine Spule, welche in diesem Zusammenhang nach ihrem Erfinder auch als Petersen-Spule oder als Erdschlusslöschspule bezeichnet wird. Diese kompensiert den elektrischen Strom an der Erdschlussstelle und verhindert so Folgefehler an der elektrischen Anlage.



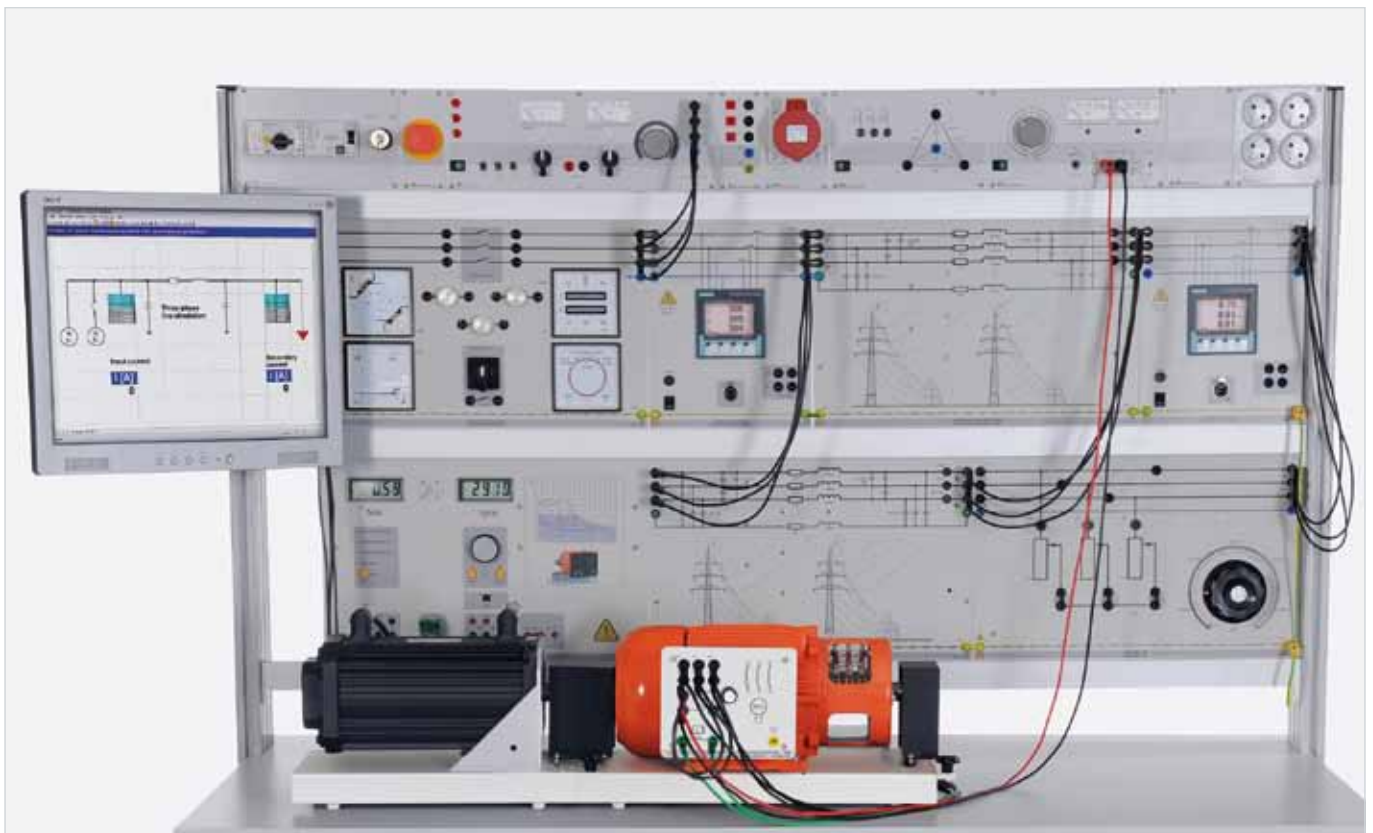
Versuchsbeispiel „Untersuchungen an Leitungen mit Erdschlusskompensation EUL 3“

### Lerninhalte

- Erdschluss auf einer Leitung mit isoliertem Sternpunkt
- Verhalten bei Erdschluss
- Erdschlusskompensation
- Abstimmung auf Resonanz

## Übertragungssysteme mit Synchrongenerator

An dreiphasigen Leitungsnachbildungen sollen bei Parallelschaltung die Kenngrößen der Energieübertragung mit Einspeisung aus einem starren Netz oder mit einer Generatoreinspeisung gemessen und betriebstechnische Zusammenhänge quantitativ und qualitativ bewertet werden.



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an Übertragungssystemen mit Synchrongenerator EUL 4“

### Lerninhalte

- Leistungs- und Stromverteilung eines generatorgespeisten Leitungsnetzes
- Parallelbetrieb eines Generators und einer Leitung mit dem Netz
- Steuerung der Wirkleistungseinspeisung
- Steuerung der Blindleistungseinspeisung

# Übertragungsleitungen

## Untersuchungen an Drehstromkabeln

Ein Hochspannungskabel ist ein elektrisches Kabel welches für den Betrieb mit Hochspannung ausgelegt ist. Dieser Kabeltyp wird unter anderem zur Übertragung großer Leistungen in Stromnetzen zur elektrischen Energieversorgung als Alternative zu Freileitungen verwendet. Hochspannungskabel lassen sich in die wichtigsten Bauformen Massekabel, Ölkabel, Gasdruckkabel und Kunststoffkabel unterteilen. Ziel der Versuche ist es, das Verhalten von Hochspannungskabeln bei verschiedenen Betriebsbedingungen kennenzulernen



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an Drehstromkabeln EUL5“

### Lerninhalte

- Ferranti-Effekt, Ladeleistung, kritische Länge
- Ohmsche-, induktive- und gemischt ohmsch-induktive Last
- Kompensation einer ohmsch-induktiven Last
- Bestimmung der Nullimpedanz
- Symmetrische und unsymmetrische Kurzschlüsse
- Sternpunktbehandlung und Erdschluss

## Verbundnetze aus Kabeln und Leitungen

In Netzen zur elektrischen Energieversorgung werden Kabel und Freileitungen zum Transport der Energie eingesetzt. Im vorliegenden Versuch sollen die Eigenschaften einer Übertragungsstrecke zur Energieübertragung, bestehend aus Freileitung und Kabel, untersucht werden.



Versuchsbeispiel „ Verbundnetze aus Kabeln und Leitungen EUL6“

### Lerninhalte

- Unterschiede zwischen Kabeln und Freileitungen
- Untersuchung der Übertragungsstrecken:
  - Freileitung, Transformator und Kabel
  - Kabel, Transformator und Freileitung
- Verlustbetrachtung der einzelnen Komponenten
- Vergleich Theorie - Praxis
- Kenngrößen der Umspannstation

# Leitungsschutz

## Überstromzeitschutz für Leitungen

In der Versuchsreihe wird schwerpunktmäßig das Überstromzeitrelais mit stromunabhängiger Zeitkennlinie behandelt, das in der Regel bei Einfachleitungen (Stichleitungen) eingesetzt wird.

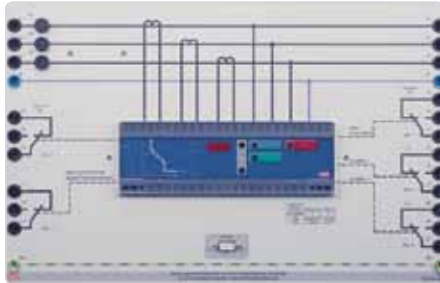


Versuchsbeispiel „Überstromzeitschutz für Leitungen ELP 1“

### Lerninhalte

- Bemessung und Parametrierung des Überstromzeitschutzes
- Bestimmung des Rückfallverhältnisses bei ein-, zwei- und dreipoligem Kurzschluss
- Ermittlung der kleinsten Auslösezeit des Relais
- Prüfung der Auslösung eines Leistungsschalters im Fehlerfall

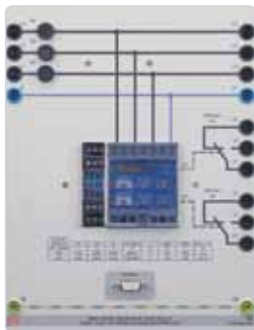
## Ergänzungsausstattungen zum Leitungsschutz:



### ELP 2 Richtungsabhängiger Überstromzeitschutz

#### Lerninhalte

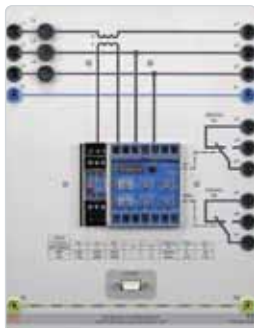
- Bemessung und Parametrierung des Überstromzeitschutzes
- Bestimmung des Rückfallverhältnisses bei ein-, zwei- und dreipoligem Kurzschluss
- Schutz in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung



### ELP 3 Über- und Unterspannungsschutz

#### Lerninhalte

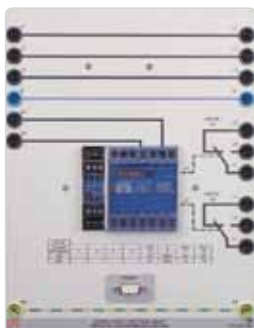
- Ermittlung der Ansprech- und Abfallwerte
- Bestimmung des Rückfallverhältnisses
- Ermittlung der Eigenzeit wie Grundzeit
- Einstellen und Testen verschiedener Kennlinien



### ELP 4 Leistungsrichtungsschutz

#### Lerninhalte

- Ermittlung der Ansprech- und Abfallwerte
- Einsatz des Rückwattschutzes
- Zusammenspiel mit Überstromzeitrelais



### ELP 5 Erdschlusserfassung

#### Lerninhalte

- Spannungsmessung in einem gesunden Drehstromnetz
- Spannungsmessung in einem erdschlussbehafteten Drehstromnetz
- Ermittlung der Ansprech- und Abfallwerte
- Ermittlung der Eigenzeit wie Grundzeit
- Reaktion des Relais auf Erdschlusswischer und auf stehende Erdschlüsse

# Leitungsschutz

## Schutz paralleler Leitungen

Das im Wesentlichen für den Schutz von parallelen Leitungen eingesetzte Überstromrichtungsrelais wird, neben simulierten Fehlern, auch im Hinblick auf die Selektivität und Schnelligkeit analysiert und experimentell untersucht.

Die Schutzrelais sind mittels Bussystem vernetzt und lassen sich zentral über die SCADA Power-LAB-Software bedienen und auswerten.



Versuchsbeispiel „Schutz paralleler Leitungen ELP 6“

### Lerninhalte

- Schutz paralleler Leitungen mit unterschiedlichen Überstromzeitrelais
- Parallelbetrieb im fehlerlosen Zustand
- Ermittlung der minimalen Ansprechwerte der unabhängigen Überstromzeitrelais
- Festlegung der Schutzrichtung für die richtungsabhängigen Überstromzeitrelais
- Ermittlung der minimalen Ansprechwerte der richtungsabhängigen Überstromzeitrelais
- Zeitstufelung der Überstromzeitrelais
- Überprüfung der Selektivität durch Kombination von Überstrom- und Richtungsmessung
- Vernetzung der Schutzmaßnahmen

## Schnelldistanzschutz

Bei dem für komplexere Netze eingesetzten Schnelldistanzschutzrelais können verschiedene Fehler analysiert werden. Dieser Schutz kann Fehler entfernungsabhängig abschalten. Neben der Erstellung des Staffelplanes wird die Selektivität praxisgerecht eingestellt und überprüft.



Versuchsbeispiel „Schnelldistanzschutz ELP 7“

### Lerninhalte

- Erarbeitung des Staffelplanes
- Parametrierung des Relais
- Inbetriebnahme des Distanzschutzrelais mit Strom- und Spannungswandler
- Prüfung des Auslöseverhaltens bei verschiedenen Fehlern innerhalb und außerhalb des Schutzbereiches der Leitung
- Prüfung des Auslöseverhaltens bei verschiedenen Fehlern innerhalb und außerhalb des Schutzbereiches:
  - Distanzschutz
  - Überstromzeitschutz
  - Spannungsschutz
  - Frequenzschutz



# Energieverteilung

Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem .....	84
Überstromschutz für Sammelschienen .....	85



# Energieverteilung

## Sammelschienen in Hochspannungsschaltanlagen

Die Verteilung der elektrischen Energie erfolgt bei größeren Schaltanlagen fast ausschließlich über Doppelsammelschienensysteme. Diese Anlagen enthalten Kuppelfelder zur Verbindung der beiden Sammelschienen, der Einspeise- und Abgangsfelder sowie der Messfelder. In den Einspeise-, Abgangs- und Kuppelfeldern werden Leistungsschalter und je Sammelschienenanschluss ein Trennschalter eingesetzt. Hier muss aus Sicherheitsgründen einer streng einzuhaltenden Schaltlogik gefolgt werden. Das Doppelsammelschienenmodell beinhaltet alle Funktionen, die für die Praxis relevant sind. Eingebaute Messgeräte für Ströme und Spannungen ermöglichen, die Schalthandlungen umgehend zu analysieren.



### Doppelsammelschienensysteme

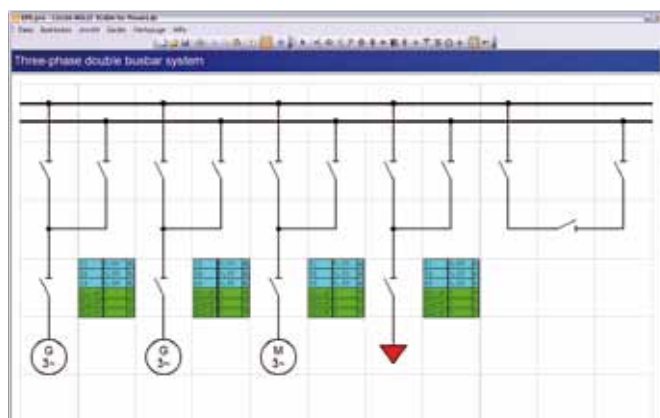
Die kompakten Module „Einspeise- und Abgangsfeld“ und „Kuppelfeld“ bieten Ihnen folgende Vorteile:

- Flexible Anordnung der Felder
- Bedienen und Beobachten vom PC
- Vernetzbar, dank integrierter RS-485-Schnittstelle
- Handbedienung
- Schutz gegen Fehlbedienung durch eingebauten Mikrocontroller
- Erfassen aller Kenngrößen, wie Strom, Spannung und Schaltzustände



### SCADA

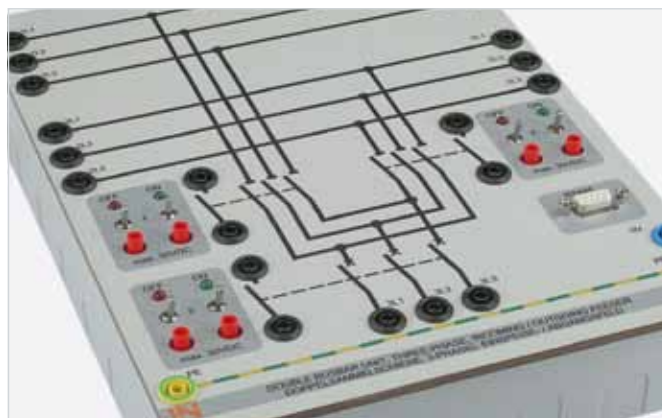
Mittels des SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition-System) werden die Geräte überwacht und gesteuert. Alle Geräte der Lucas-Nülle Energietechnik können auf dem Bildschirm symbolisch angeordnet und miteinander verbunden werden. Die Messwerte und Zustände werden angezeigt. Wichtige Parameter und Signale können von der Software gesteuert werden. Die Messwerte und Zustände können aufgenommen, über der Zeit dargestellt und ausgewertet werden. Automatische Sammelschienenwechsel können per PC durchgeführt werden.



### Trainingssysteme

Unsere Trainingssysteme decken folgende Themengebiete ab:

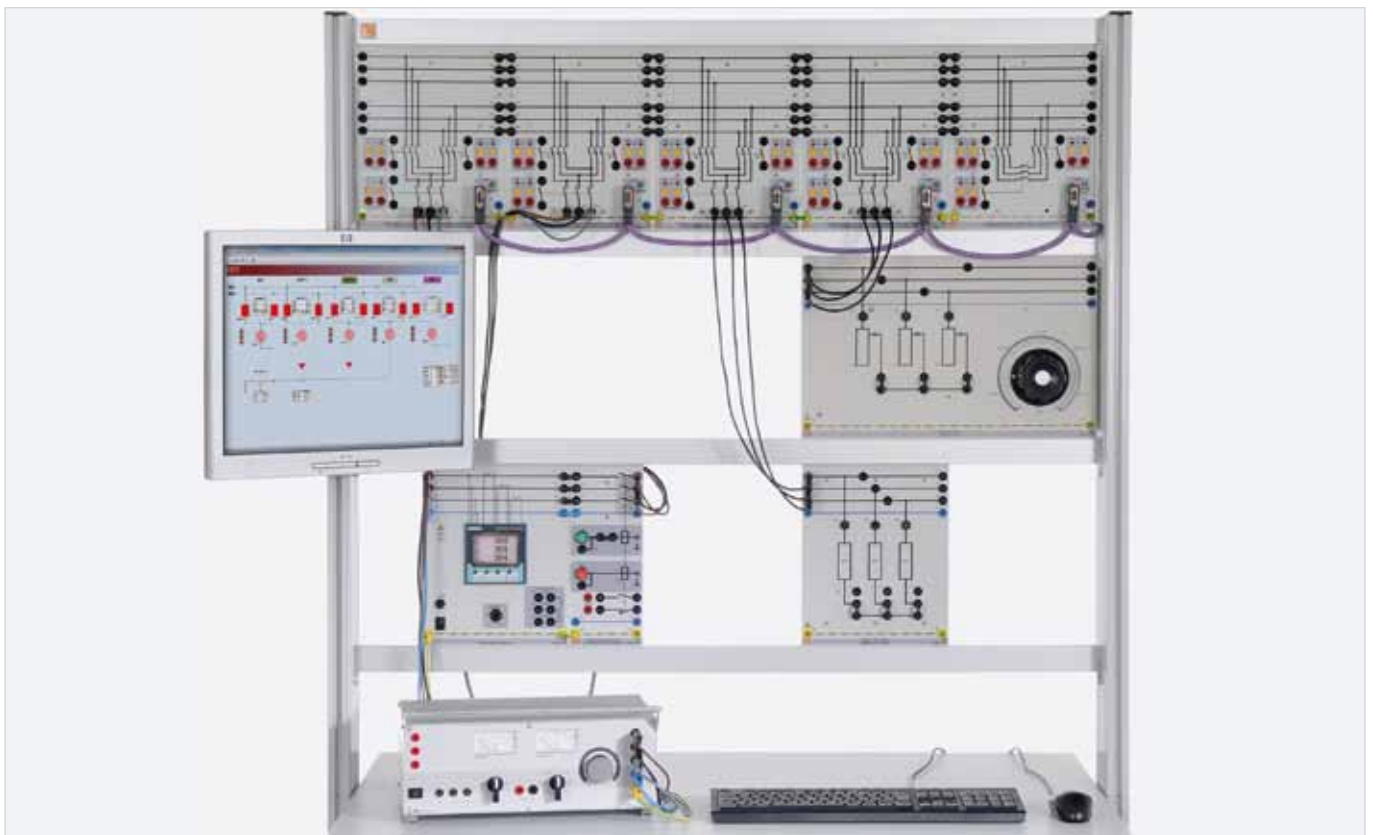
- Experimentierplattensystem „Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem“
- Experimentierplattensystem „Überstromschutz für Sammelschienen“



# Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem

## Zentral verteilt und gesteuert

Sammelschienen dienen als zentraler Verteiler von elektrischer Energie, da an die Sammelschienen alle ankommenden und abgehenden Leitungen angeschlossen sind. Sammelschienen bestehen aus Einspeise-, Abgangs-, Kuppel- und Wandlerfeldern. In der Lucas-Nülle Ausstattung sind diese Funktionen in Schaltfeldern, die Leistungs-, Trennschalter und Messwerterfassung enthalten, zusammengefasst.



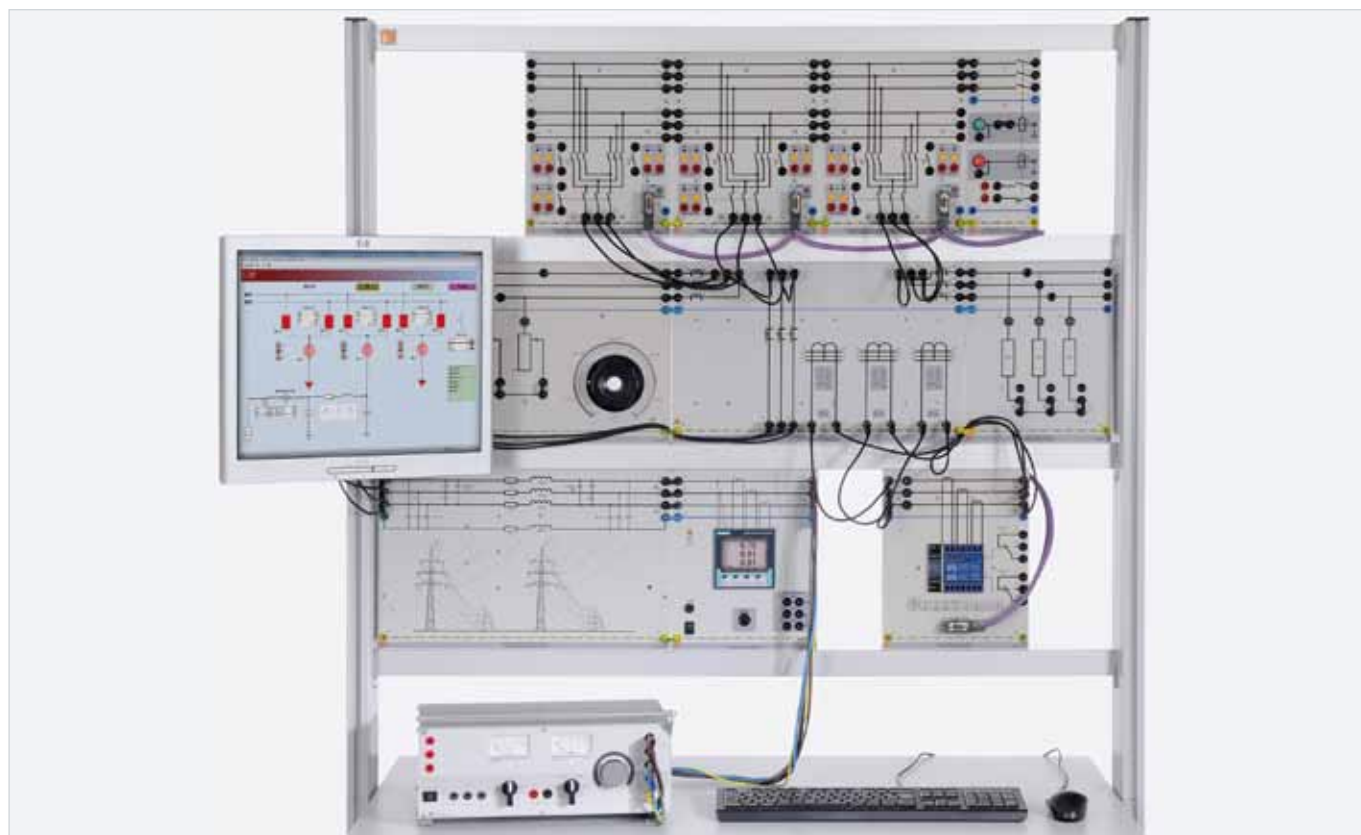
Versuchsbeispiel „Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem EPD“

### Lerninhalte

- Grundsaltungen eines dreipoligen Doppelsammelschienensystems
- Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem mit Belastung
- Sammelschienenwechsel ohne Unterbrechung des Abzweiges
- Erarbeitung von Schaltalgorithmen für verschiedene Schalthandlungen
- Sammelschienen-Kupplung

## Überstromschutz für Sammelschienen

Durch den Sammelschienenendifferentialschutz wird der Eingangs- und Ausgangsstrom über einen Stromwandler summiert. Bei Differenzströmen werden die Auslösekriterien anhand der Kennlinienempfindlichkeit ermittelt.



Versuchsbeispiel „Überstromschutz für Sammelschienen EDP“

### Lerninhalte

- Erfassung der Ströme im Normalbetrieb
- Erfassung der Ströme bei ein-, zwei- oder dreipoligem Kurzschluss
- Fehler außerhalb des Schutzbereiches
- Reaktion des Schutzes bei Fehlern innerhalb und außerhalb der Schaltanlage



# Energiemanagement

Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchsmessung und Spitzenlastüberwachung .....	90
Dynamische Verbraucher .....	91
Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation .....	92
Energieeffiziente Antriebe .....	93
Schutz elektrischer Verbraucher .....	94



# Energiemanagement

## Intelligente Netze und Verbraucher

Ein rationeller Energieeinsatz ist aufgrund von wirtschaftlichen und umwelttechnischen Anforderungen immer wichtiger geworden. Die Versuche zur manuellen und automatischen Blindleistungskompensation, wie auch die Experimente zur Absenkung der Spitzenlast durch Messungen mit einem Wirkstrom- und Maximumzähler zeigen, wie die Netzbelastung reduziert bzw. gleichmäßig über 24 Stunden verteilt werden kann. Die Voraussetzung für den effektiven Einsatz der Messtechnik ist die Analyse des Netzes und der angeschlossenen Verbraucher. Daher können in den einzelnen Experimenten statische, dynamische, symmetrische und unsymmetrische Lasten ausführlich untersucht werden. Weiterhin ist der Schutz von elektrischen Verbrauchern ein wichtiges Thema in der Ausbildung.



### Smart Metering

In allen Ausstattungen der Energietechnik sind intelligente Messgeräte, die über verschiedene Kommunikationsschnittstellen (z. B. LAN, RS485, USB) und Steuerelemente verfügen, enthalten. Damit lassen sich Verbraucher nicht nur beobachten, sondern auch intelligent steuern. Ein automatisches Lastmanagement kann mit folgenden Features realisiert werden:

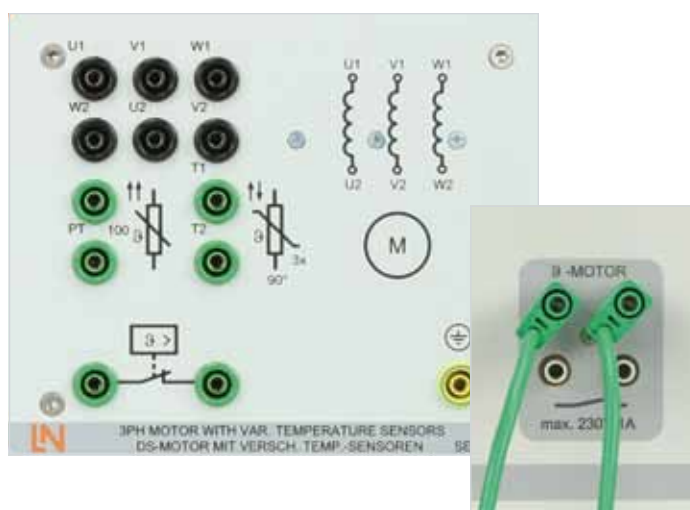
- Überwachung des vorgegebenen Leistungslimits
- Freigeben bzw. Sperren von Verbrauchern gemäß einer vorgegebenen Prioritätenliste
- Einschalten von Verbrauchern während der Schwachlastperiode



Quelle: SIEMENS

### Schutz von elektrischen Verbrauchern

Störungen in elektrischen Anlagen durch Kurzschluss, Überlastung usw. müssen durch geeignete Schutzeinrichtungen verhindert oder begrenzt und die fehlerhaften Geräte selektiv vom Netz getrennt werden. Um Schutzeinrichtungen zweckentsprechend einzusetzen und richtig zu dimensionieren, müssen die Auslösecharakteristika, Auslösezeiten und Kennlinien von den verschiedenen Schutzeinrichtungen bekannt sein. In der Versuchsreihe wird der Schutz von Drehstrommotoren durch Motorschutzschalter sowie durch eine Temperaturüberwachung in den Wicklungen und die Auslösung über ein Thermistor-Auslösegerät ausführlich behandelt. Zusätzlich kann ein Experiment zum Motorvollschutz mit einem digitalen Motorschutzgerät durchgeführt werden. Bei diesem Versuch ist die Handhabung und die Parametrierung des digitalen Motorschutzgerätes der Ausbildungsschwerpunkt.



### Trainingssysteme

Unsere Trainingssysteme decken folgende Themengebiete ab

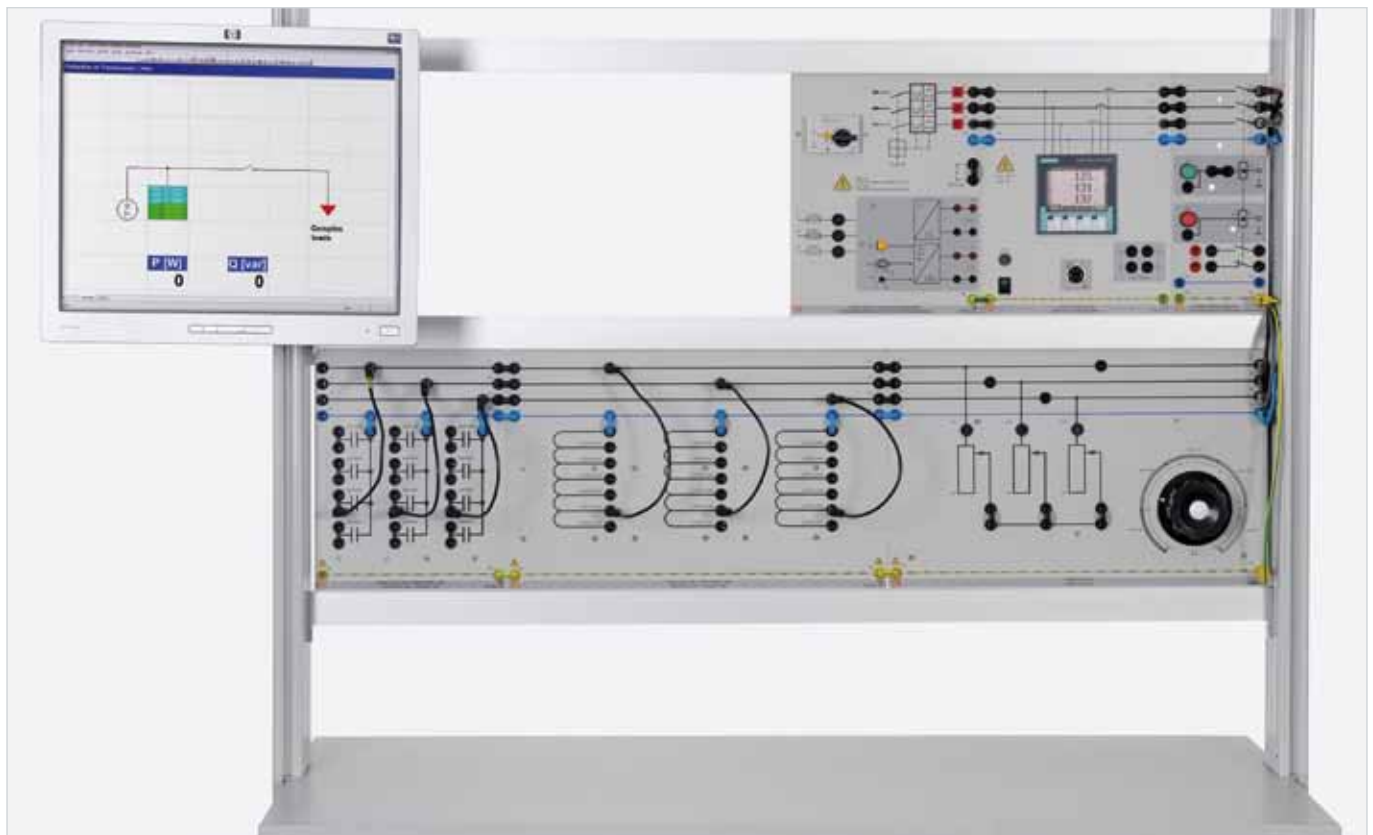
- Experimentierplattensystem „Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchs-messung und Spitzenlastüberwachung“
- Experimentierplattensystem „Dynamische Verbraucher“
- Experimentierplattensystem „Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation,“
- Experimentierplattensystem „Schutz elektrischer Maschinen“
- Experimentierplattensystem „Motorschutz/Motormanagement“



# Energiemanagement

## Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchsmessung und Spitzenlastüberwachung

Die Experimente zur Absenkung der Spitzenlast durch Messungen mit einem Wirkstrom- und Maximumzähler zeigen, wie die Netzbelastung reduziert bzw. gleichmäßig über 24 Stunden verteilt werden kann. Die Voraussetzung für den effektiven Einsatz der Messtechnik ist die Analyse des Netzes und der angeschlossenen Verbraucher. Daher werden in den einzelnen Experimenten statische, symmetrische und unsymmetrische Lasten ausführlich untersucht.



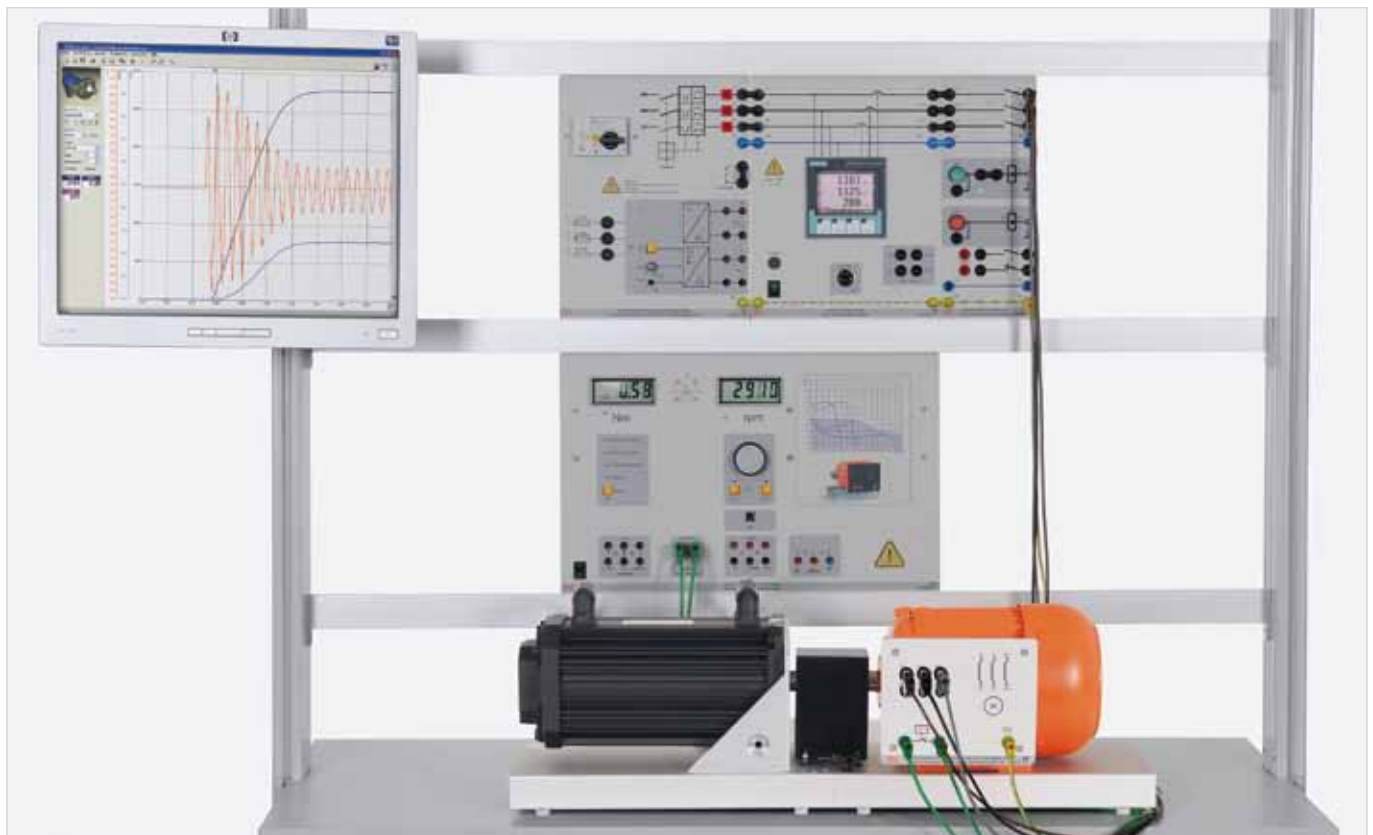
Versuchsbeispiel „Energieverbrauchsmessung komplexer Verbraucher EUC 1“

### Lerninhalte

- Drehstromverbraucher in Stern- und Dreieck-Schaltung (R-, L-, C-, RL-, RC- oder RLC-Last)
- Messung mit Wirk- und Blindarbeitszählern
  - für symmetrische und unsymmetrische RL-Last
  - bei Phasenausfall
  - bei Überkompensation (RC-Last)
  - bei aktiver Last
  - bei Energierichtungsumkehr
- Ermittlung des ersten und zweiten Leistungsmaximums
- Ermittlung eines Leistungsmaximums bei unsymmetrischer Last
- Aufnahme von Lastgangkennlinien

## Dynamische Verbraucher

Ein Drehstromasynchronmotor, gekoppelt mit dem Servo-Maschinenprüfstand, wird als dynamische Last verwendet. Die Wirkleistung und die Blindleistung ( $\cos\phi$  des Motors) sind abhängig von der Belastung des Motors und somit nicht konstant. Der Servo-Maschinenprüfstand kann auch den Asynchronmotor antreiben, so dass Wirkleistung ins Drehstromnetz geliefert wird.



Versuchsbeispiel „Untersuchungen an dynamischen Verbraucher EUC 2“

### Lerninhalte

- Dynamischer Drehstromverbraucher (Asynchronmotor)
- Leistungsmessung bei Energierichtungsumkehr

# Energiemanagement

## Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation

Bei der Blindleistungskompensation wird in Drehstromnetzen die unerwünschte Blindleistung und der damit verbundene höhere Strom reduziert. Hierbei werden kapazitive Lasten am zentralen Einspeisepunkt zu allen induktiven Verbrauchern hinzugeschaltet. Deren entgegengerichtete kapazitive Blindleistung ist möglichst von gleicher Größe wie die installierte induktive Blindleistung. Damit werden unerwünschte Blindströme reduziert und alle Anlagen, die für die Bereitstellung und Übertragung des Blindstromes notwendig sind, müssen nicht unnötig groß dimensioniert werden.



Versuchsbeispiel „automatische Blindleistungskompensation EUC 3“

### Lerninhalte

- Inbetriebnahme der Asynchronmaschine und Aufnahme der Kennwerte
- Berechnung der Kompensationskondensatoren
- Kompensation mit unterschiedlichen Kondensatoren
- Bestimmung der Stufenleistung
- Handbetätigte Blindleistungskompensation
- Automatische Anschlusserkennung des Blindleistungsreglers
- Automatische Blindleistungskompensation

## Energieeffiziente Antriebe

In Deutschland entfällt rund die Hälfte der benötigten elektrischen Energie auf die Industrie. Die Hauptverursacher sind elektrische Antriebe; diese machen etwa 70 Prozent des industriellen Stromverbrauchs aus. Eine Optimierung der elektrischen Antriebe kann dabei helfen, Kosten zu sparen und die Ressourcen zu schonen. Bei der Optimierung industrieller Anlagen, die elektrisch betrieben werden, sollte immer das gesamte Antriebssystem betrachtet werden. Denn es existieren verschiedene Parameter, die die Energieeffizienz von Antrieben beeinflussen: Intelligenter Einsatz der elektrischen Energie, Verbesserung des Wirkungsgrades, Drehzahlregelung und Energierückgewinnung.



Trainingsystem „Energieeffiziente Antriebe mit Frequenzumrichtern“ bestehend aus Höchsteffizienzmotor, Frequenzumrichter und Servo-Maschinenprüfstand“ EEM11.3

### Lerninhalte

#### Energieeffiziente Antriebsauslegung:

- Erkennen von Verlusten im Antriebssystem
- Untersuchung von Motorkenngrößen anhand der Kennlinie
- Optimierung des Systemwirkungsgrads durch Auswahl des richtigen Motors
- Indirekte Bestimmung der Motorauslastung

#### Einsatz von Energiesparmotoren:

- Aufbau und Arbeitsweise von Energiesparmotoren
- Energieeffizienzklassen bei Motoren
- Vergleich von Energieeffizienzmotor und Normmotor

- Kenndaten von Energiesparmotoren
- Bestimmung der Einsparpotentiale

#### Energieeffiziente Antriebe mit Frequenzumrichtern:

- Inbetriebnahme drehzahlveränderlicher Antriebe
- Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter auf das Betriebsverhalten
- Energieeffiziente Anpassung von Arbeitspunkten
- Erstellung energieeffizienter Bewegungsprofile
- Betrachtung der Effizienz des Gesamtsystems

# Schutz elektrischer Verbraucher

## Effektiver Motorschutz – vorbeugende Wartung

Motormanagementsysteme kommen in modernen Automatisierungssystemen zum Einsatz und bieten die Möglichkeit, Antriebe und Anlagen optimal zu schützen, zu steuern und zu überwachen. So lassen sich beispielsweise Motortemperatur, -spannung oder -strom erfassen. Durch die Anbindung an die übergeordnete Prozessautomatisierung über Feldbussysteme (z. B. PROFIBUS) wird der Motor transparenter. Dadurch lassen sich Auslastung und Energieverbrauch des Motors bestimmen, ohne vor Ort zu messen.



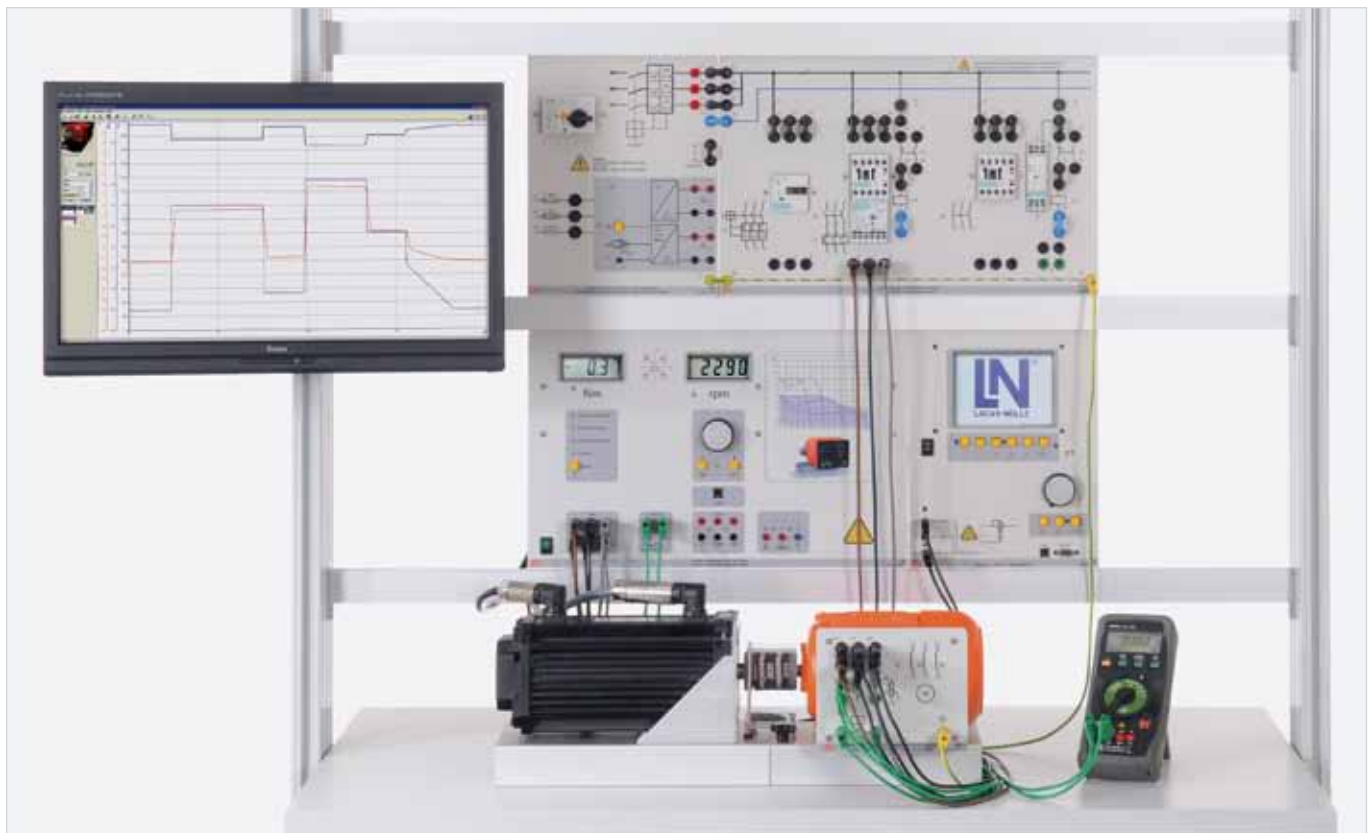
Versuchsbeispiel „Motormanagementrelais EDT 51“

### Lerninhalte

- PC-gestützte Inbetriebnahme des Motormanagementsystems
- Programmierung der Funktionen Direktstarter, Stern-Dreieck-Anlauf, Start von polumschaltbaren Motoren, Motorschutz
- Parametrierung der Überlastgrößen und des Abschaltverhaltens bei verschiedenen Lasten
- Messung von dynamischen Vorgängen beim Anlauf
- Vorbeugende Wartung

## Drehstrom-Asynchronmaschinen

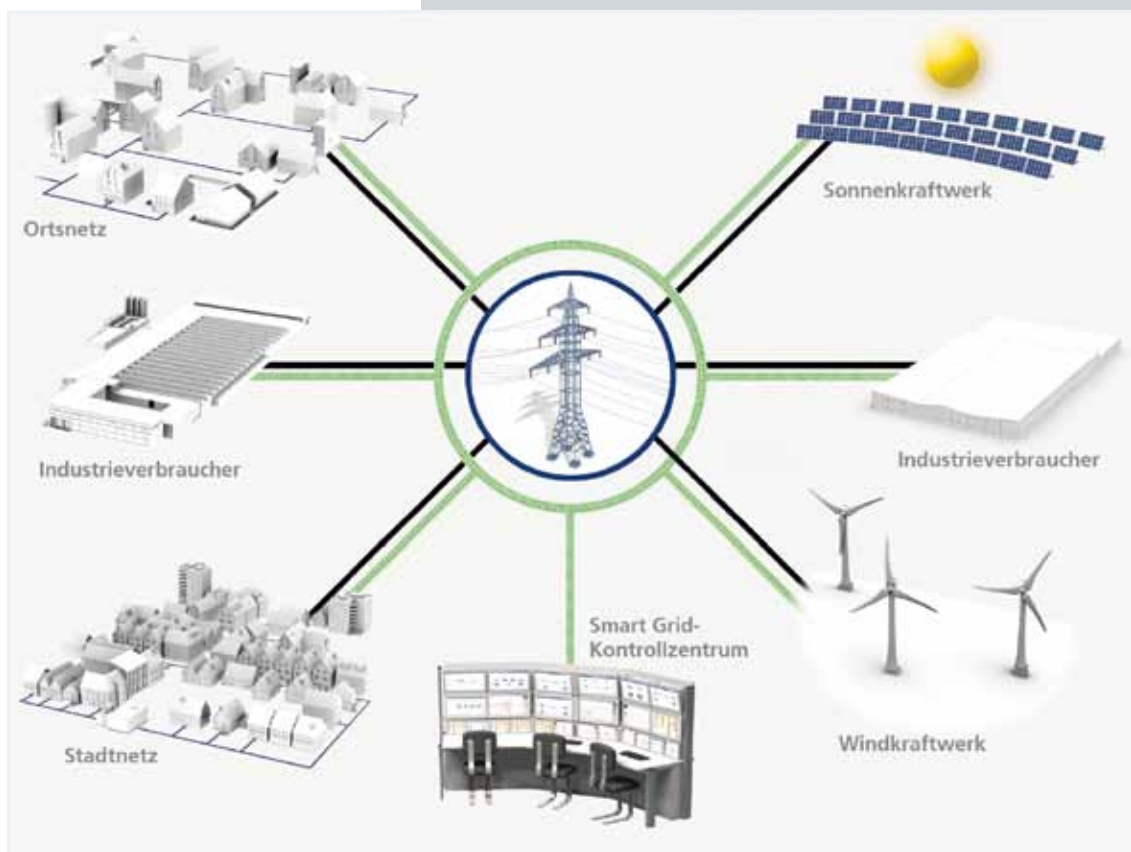
Käfigläufermotoren sind für einen gleichbleibenden Lastzustand konzipiert. Änderungen des Lastzustandes, aber auch hohe Anlaufströme führen zu unzulässiger Erwärmung des Motors. Sensoren überwachen die Temperatur und die Stromaufnahme des Motors. Sie aktivieren Schutzvorrichtungen wie Motorschutzschalter, Motorschutzrelais oder Thermistorrelais.



Versuchsbeispiel „Schutz elektrischer Maschinen EEM 4.6“

### Lerninhalte

- Auswahl, Installation und Einstellen verschiedener Motorschutzsysteme
- Motorschutzschalter
- Motorschutzrelais
- Thermistorschutz
- Einfluss verschiedener Betriebsarten auf die Erwärmung des Motors
- Auslösecharakteristika der Schutzsysteme
- Schutz vor unzulässigen Lastzuständen



# Smart Grid

Smart Grid: Kontrollzentrum .....	102
Smart Grid: Energiemanagement .....	103
Energieerzeuger im Smart Grid .....	104
Energiespeicher im Smart Grid .....	105



# Smart Grid

## Für die Zukunft bestens gerüstet: Intelligente Stromnetze im Energietechniklabor

Neue Techniken werden künftig das Stromnetz besser für die Anforderungen der Zukunft rüsten. Ein flexibleres Netzmanagement soll den steigenden Anteil erneuerbarer Energien mit konventionellen Kraftwerkinfrastrukturen kompatibel machen.

Die Vielfalt und Vielzahl dieser dezentralen Kraftwerke erfordert eine neue Betriebsführung des Stromnetzes – das intelligente Netz – „Smart Grid“:

- Verbesserte Koordination von Energiebedarf und -erzeugung
- Einsatz moderner Informationstechnologie, wie Internet, Sensoren, Steuerungen und drahtlose Übertragungsgeräte
- „Smart Metering“ – an Endpunkten des Stromnetzes messen digitale Stromzähler den Stromverbrauch.
- Verlagerung des Verbrauchs im Haushalt weg von Spitzenlastzeiten
- Start von flexiblen Anwendungen, wie etwa das Wäschewaschen, außerhalb der Spitzenlastzeiten direkt vom Energieversorger



### Modulare Integration der Regenerativen Energieerzeugung ins Smart Grid:

- Photovoltaik
- Windkraft
- Speicherung elektrischer Energie mittels Pumpspeicherkraftwerk
- Konventionelle Energieerzeugung
- Übertragung und Verteilung
- Energiemanagement (dynamische Energieerzeugung und -verbrauch koordinieren)



### SCADA Software im Smart Grid

- Realisierung, Steuerung und Analyse komplexer intelligenter Netze (Smart Grid)
- Auf die Ausbildung abgestimmte SCADA Software
- **SCADA SPS:** Integrierte Soft SPS (IEC 61131)
- **SCADA Logger:** Aufnahme, Darstellung, Auswertung und Export aller Werte über die Zeit
- **SCADA Designer:** Symbolische Anordnung aller Geräte der Lucas-Nülle-Energietechnik auf der Bedienoberfläche
- **SCADA Viewer:** Anzeige und Steuerung der Messwerte und Zustände aller im Netz vorhandenen Systeme
- **SCADA Net:** Das Client-/ Server-Konzept ermöglicht den gleichzeitigen Remotezugriff von jedem PC (Studenten) auf die Systeme im Smart Grid
- **SCADA Panel Designer:** Design eigener Bedienoberflächen



### Smarte Messgeräte:

- Smarte Messgeräte, die über verschiedene Kommunikationsschnittstellen (z. B. LAN, RS485, USB) und Steuerelemente verfügen
- Messung und Steuerung aller relevanten Werte mittels Smart Meter und Leistungsschalter
- **SCADA Net Kompatibel:** Anzeige und Steuerung der Messwerte und Zustände von jedem PC im Netzwerk



# „Smart Grid“ - Intelligente Stromnetze

## Das vernetzte Energietechniklabor

Die Ausstattungen erlauben das elektrische und informationstechnische Kombinieren der Trainingssysteme zur Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Schutz und zum Management elektrischer Energie. Über Das Smart Grid Kontrollzentrum werden alle Werte erfasst und entsprechende Schalthandlungen ausgelöst. Somit kann der Einfluss der regenerativen Energieerzeugung auf die Energieerzeugung im Labor untersucht werden. Beliebige Szenarien lassen sich damit abbilden, wie z.B.:

- Laden von Elektrofahrzeugen bei Überangebot von Windenergie
- Speichern von Energieüberschüssen im Pumpspeicherkraftwerk
- Abschalten von Verbrauchern zur Spitzenlastreduktion
- Ausgleich von Energieengpässen durch das Pumpspeicherkraftwerk

Die SCADA Software ermöglicht das Beobachten und Steuern der Gesamtanlage von jedem Arbeitsplatz



Integration  
externer  
Energiequellen  
möglich

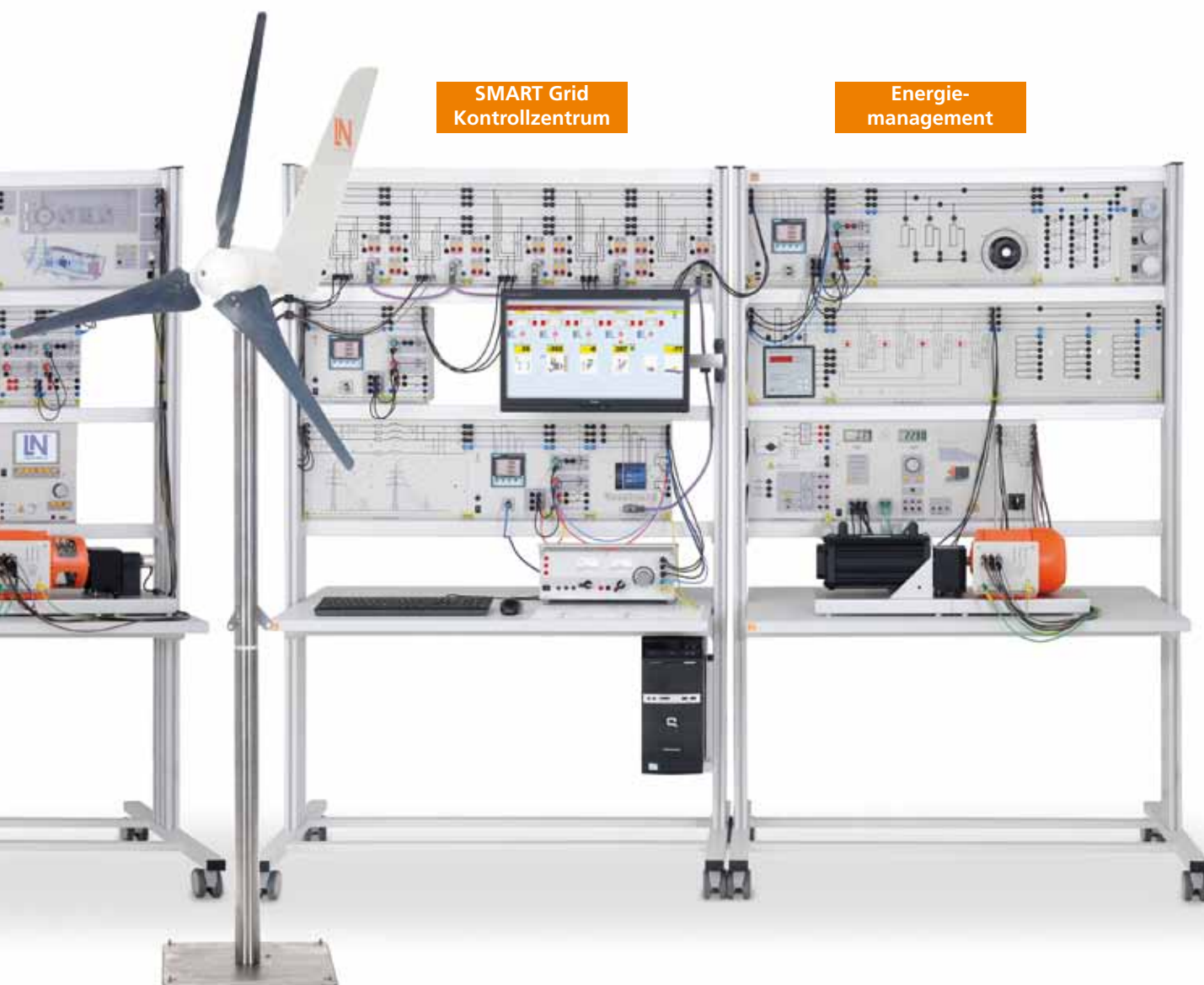


#### Lucas-Nülle Photovoltaik-Anlage

- Leistung: 89 kW maximal
- 450 Photovoltaik Module (jedes 215 W)
- 55 Tonnen CO<sub>2</sub> Einsparung jedes Jahr

SMART Grid  
Kontrollzentrum

Energie-  
management



SMART  
GRID

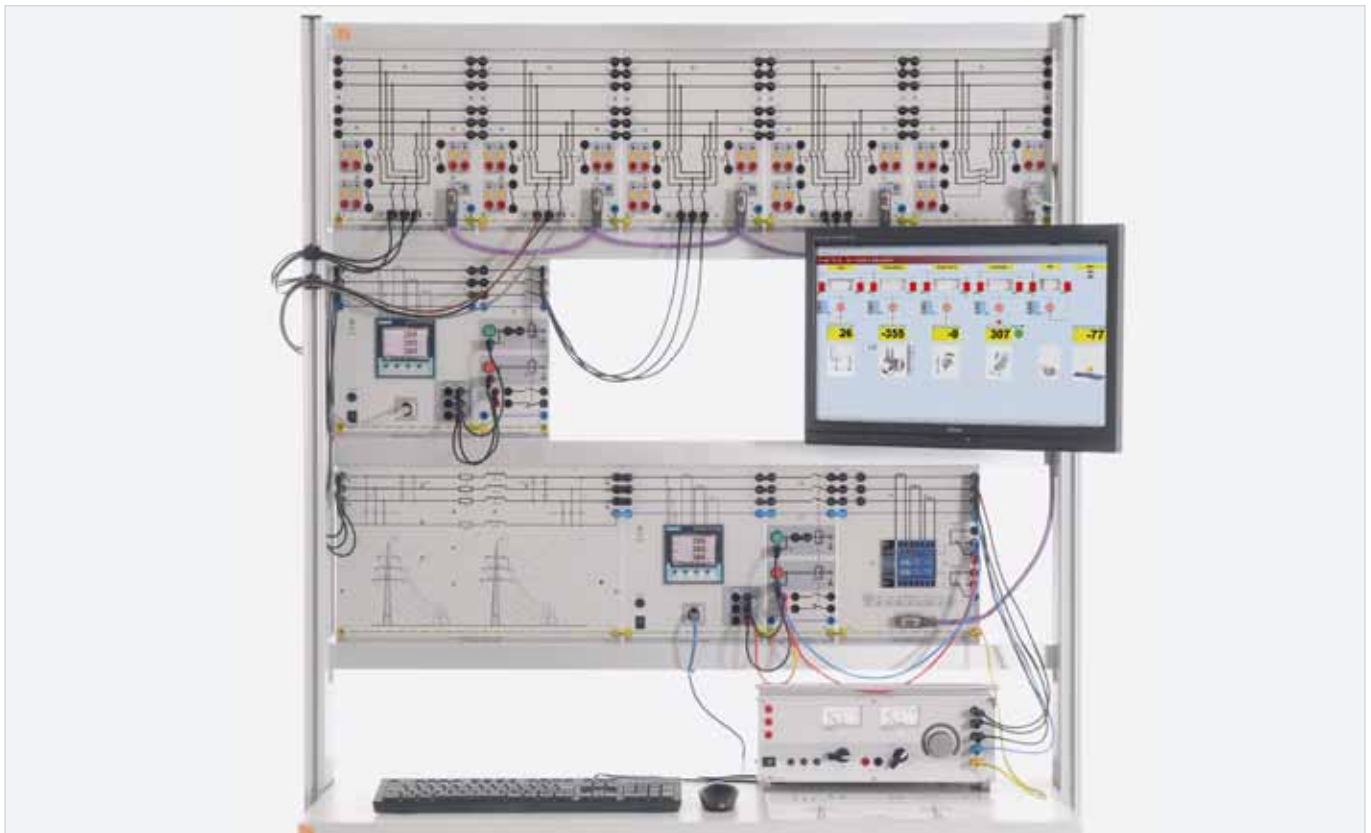


# „Smart Grid“ - Intelligente Stromnetze

## Smart Grid - Kontrollzentrum



Diese Ausstattung bildet die Zentrale des Smart Grids in dem Energietechniklabor. Neben der Erzeugung, Übertragung und Verteilung der Energie werden hier mittels SCADA Software alle Werte erfasst und entsprechende Schalthandlungen ausgelöst. Dies kann manuell, wie auch automatisch mittels Soft SPS erfolgen.



Versuchsbeispiel „Smart Grid: Erzeugung, Verteilung und Übertragung elektrischer Energie ESG 1.1“

### Lerninhalte

#### Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem

- Grundsaltungen eines dreipoligen Doppelsammelschienensystems
- Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem mit Belastung
- Sammelschienenwechsel ohne Unterbrechung des Abzweiges
- Erarbeitung von Schaltalgorithmen für verschiedene Schalthandlungen
- Sammelschienen-Kupplung

#### Untersuchungen an Drehstromleitungen

- Spannungserhöhungen an leerlaufenden Leitungen
- Spannungsabfall in Abhängigkeit von der Leitungslänge
- Spannungsabfall in Abhängigkeit vom  $\cos\phi$
- Kapazitive und induktive Verlustleistung der Leitung in Abhängigkeit von U und I
- Phasenverschiebung auf der Leitung

#### Überstromzeitschutz für Leitungen

- Bemessung und Parametrierung des Überstromzeitschutzes
- Bestimmung des Rückfallverhältnisses bei ein-, zwei- und dreipoligem Kurzschluss

## Smart Grid - Energiemanagement

Zum Thema Energiemanagement zählt das Abschalten von Verbrauchern zur Spitzenlastreduktion, wie auch die Blindleistungskompensation zur Reduktion der Verluste auf Übertragungsleitungen. Die Asynchronmaschine kann hierbei über den Maschinenprüfstand dynamisch belastet werden, und somit im gesamten Energienetz für zeitlich variable Laständerungen sorgen. Diese Laständerungen werden von dem Smart Grid Kontrollzentrum erfasst und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen, um das Energienetz stabil zu halten.



Versuchsbeispiel „Smart Grid: Energiemanagement ESG 1.2“

### Lerninhalte

#### Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchsmessung und Spitzenlastüberwachung

- Drehstromverbraucher in Stern- und Dreieck-Schaltung (R-, L-, C-, RL-, RC- oder RLC-Last)
- Messung mit Wirk- und Blindarbeitszählern

#### Dynamische Verbraucher

- Dynamischer Drehstromverbraucher (Asynchronmotor)
- Leistungsmessung bei Energierichtungsumkehr

#### Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation

- Inbetriebnahme der Asynchronmaschine und Aufnahme der Kennwerte
- Handbetätigte Blindleistungskompensation
- Automatische Blindleistungskompensation

# „Smart Grid“ - Intelligente Stromnetze

## Energieerzeuger im Smart Grid

Diese ergänzenden Ausstattungen zur Energieerzeugung können optional einzeln oder zusammen zur Ausstattung „ESG 1 Smart Grid“ ergänzt werden. Damit sind umfangreiche Untersuchungen im „Smart Grid“ realisierbar.



Versuchsbeispiel „Smart Grid Ergänzung zu ESG 1: Energieerzeuger im Smart Grid“

### Lerninhalte

#### Windkraftanlagen EWG 1

- Betrieb des Generators bei wechselnden Windstärken und Regelung der Ausgangsspannung und -frequenz
- Bestimmung von optimalen Arbeitspunkten bei wechselnden Windbedingungen

#### PV-Anlagen im Netzparallelbetrieb EPH 2

- Aufbau und Test einer PV-Anlagen mit Netzeinspeisung
- Messung der erzeugten Energie einer PV-Anlage
- Bestimmung des Wirkungsgrades des Netz-Wechselrichters
- Untersuchung des Verhaltens einer PV-Anlage bei Netzausfall

#### Synchrongenerator EUG

- Generatorregelung und Synchronisation
- Handbetätigte Synchronisierschaltungen
- Automatische Synchronisierschaltungen
- Automatische Leistungsregelung
- Automatische Leistungsfaktorregelung

## Pumpspeicherkraftwerk

In Pumpspeicherkraftwerken wird die elektrische Energie durch Umwandlung in potentielle Energie von Wasser gespeichert und nach Umwandlung dieser potentiellen Energie in elektrische Energie wieder ins Netz gespeist. Sie sind durch Zunahme der regenerativen Energieerzeugung notwendige und unverzichtbare Energiespeicher in einem Smart Grid mit hoher Netzqualität. Die Ausstattung Pumpspeicherkraftwerk ergänzt die Experimente rund um Smart Grid mit regenerativer Energieerzeugung um einen Energiespeicher.



Versuchsbeispiel „Smart Grid Ergänzung zu ESG 1: Pumpspeicherkraftwerk EUG 3“

### Lerninhalte

- Funktionsweise von Pumpspeicherkraftwerken
- Start und Synchronisierung der Synchronmaschine
- Manuelle Leistungsregelung: generatorisch und motorisch
- Halbautomatische Wirk- und Blindleistungsregelung
- Pumpspeicherkraftwerke im Smart Grid
- Vollautomatische Kompensation einer extern gemessenen Wirk- und Blindleistung
- SCADA Steuerung und Regelung der Anlage

# Entscheidende Produktvorteile

... stellen Kunden langfristig zufrieden



## **Herr Prof. Guntram Schultz, Dekan an der Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik:**

„Ich bin ein großer Fan der elektrischen Energietechnik von Lucas-Nülle. Das umfangreiche Programm ermöglicht unzählige Untersuchungen von der Energieerzeugung über die Verteilungstechnik einschließlich Netzschutz bis hin zum Energieverbrauch.“

Dank des modular aufgebauten dreiphasigen Experimentierplattensystems können die Systemzusammenhänge Schritt für Schritt im Experiment erarbeitet werden.

Die Vielfalt an Erweiterungsmöglichkeiten erlaubt daneben die nahtlose Integration der erneuerbaren Energien in die konventionelle Energietechnik. Ein so flexibles System, das – je nach Bedürfnis – immer wieder ganz neu zusammengestellt werden kann, gibt es bei keinem anderen Hersteller.

Als besonderen Vorteil sehe ich den konsequent angewendeten elektrischen Maßstab von 1:1000. Damit können die gewonnenen Messergebnisse unmittelbar in Relation zur Praxis gesetzt werden. Realistische Leitungsnachbildungen variabler Länge ermöglichen den Einsatz von handelsüblichen Industriegeräten zur praxisgerechten Projektarbeit in der sicheren Laborumgebung.

Mit dem SCADA-System werden die Experimente optimal überwacht, gesteuert und die Auswertung der Daten lässt keine Wünsche offen.

Die Dokumentation in Form von Multimedialkursen ist sehr ansprechend und kommt bei den Studierenden gut an.

Qualität der Versuchskomponenten und ein praxiserprobtes didaktische Konzept stehen dabei für den Dozenten im Vordergrund. Deshalb haben wir uns für Lucas-Nülle entschieden. Mit dem Gesamtprogramm können wir die komplette Ausbildung im Bereich der elektrischen Energietechnik systematisch planen und die Studierenden zielstrebig an industrietypische Anwendungen heranführen.“

# Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

## Individuelle Beratung bei Lucas-Nülle

Sie möchten sich ausführlich beraten lassen oder wünschen ein konkretes Angebot?

### Sie erreichen uns per

Telefon: +49 2273 567-0

Fax: +49 2273 567-69

E-Mail: [vertrieb@lucas-nuelle.de](mailto:vertrieb@lucas-nuelle.de)

Lucas-Nülle steht für maßgeschneiderte Trainingssysteme für die Berufliche Bildung in den Bereichen:



Elektrische Installationstechnik



Elektropneumatik, Hydraulik



Elektrische Energietechnik



Messtechnik



Regenerative Energien



Kälte-Klima-Technik



Leistungselektronik,  
Elektrische Maschinen, Antriebstechnik



Mikrocomputer



Grundlagen Elektrotechnik und Elektronik



Automatisierungstechnik



Kommunikationstechnik



Kfz-Technik



Regelungstechnik



Labor-Systeme

Fordern Sie ausführliche Informationen unter den oben angegebenen Kontaktmöglichkeiten an.

Unsere Mitarbeiter beraten Sie gerne!

Weitere Informationen zu unseren Produkten finden Sie auch unter:

[www.lucas-nuelle.de](http://www.lucas-nuelle.de)

# Lucas-Nülle GmbH

Siemensstraße 2 · D-50170 Kerpen-Sindorf  
Telefon: +49 2273 567-0 · Fax: +49 2273 567-69  
www.lucas-nuelle.de · vertrieb@lucas-nuelle.de

