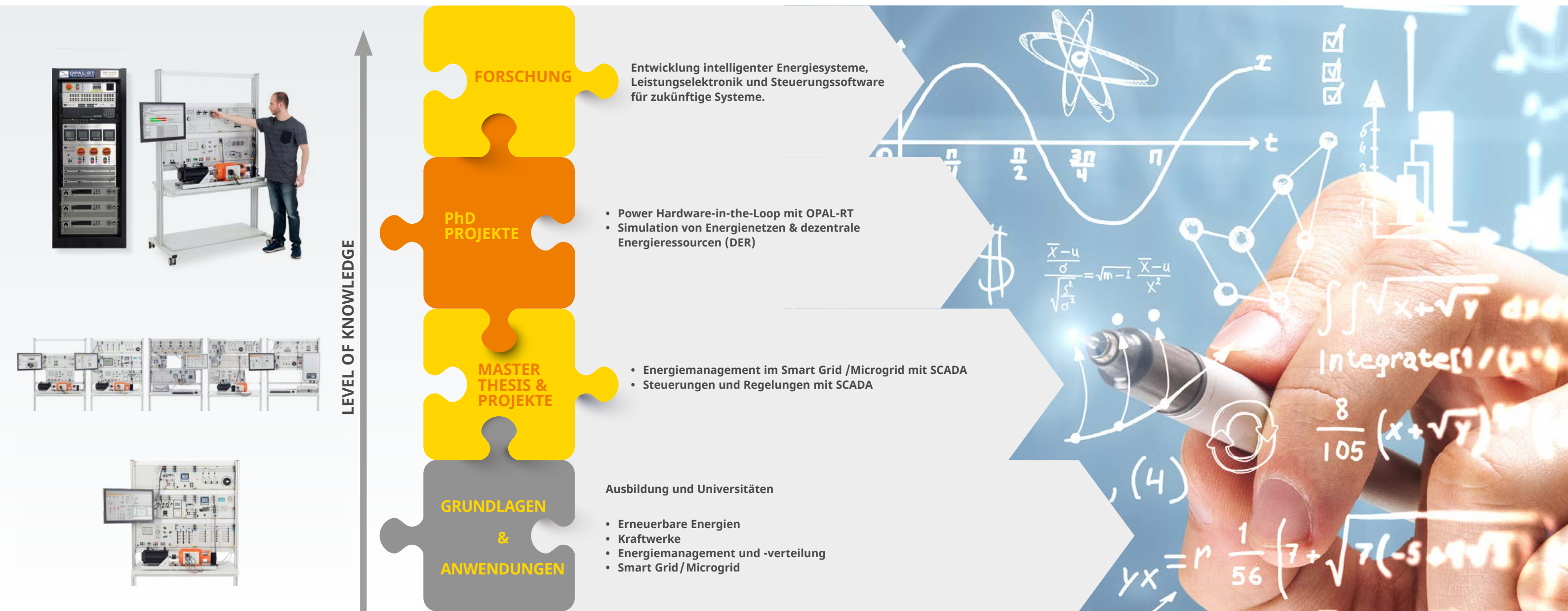


HARDWARE-IN-THE-LOOP

Ein Trainingssystem für Erneuerbare Energien in
Smart-, Micro Grids und PHIL

VON DER LEHRE BIS IN DIE FORSCHUNG



Die Trainingssysteme von Lucas-Nülle werden von den Grundlagen bis in den Forschungsbereich eingesetzt. Dadurch können bereits erlernte und bekannte Anwendungen aus und mit den Trainingssystemen einfach in Forschungsaspekte mit einbezogen werden. Aufwendiges Training und Auseinandersetzen mit neuen Systemen zu Forschungszwecken entfällt.

- Ihre Vorteile:**
- Grundlagen und Anwendungen mit digitalem Multimedialkurs
 - Modulare Systeme
 - Rapid-Prototyping-Systeme
 - Hardware-in-the-Loop (HIL)
 - Power Hardware-in-the-Loop (PHIL)

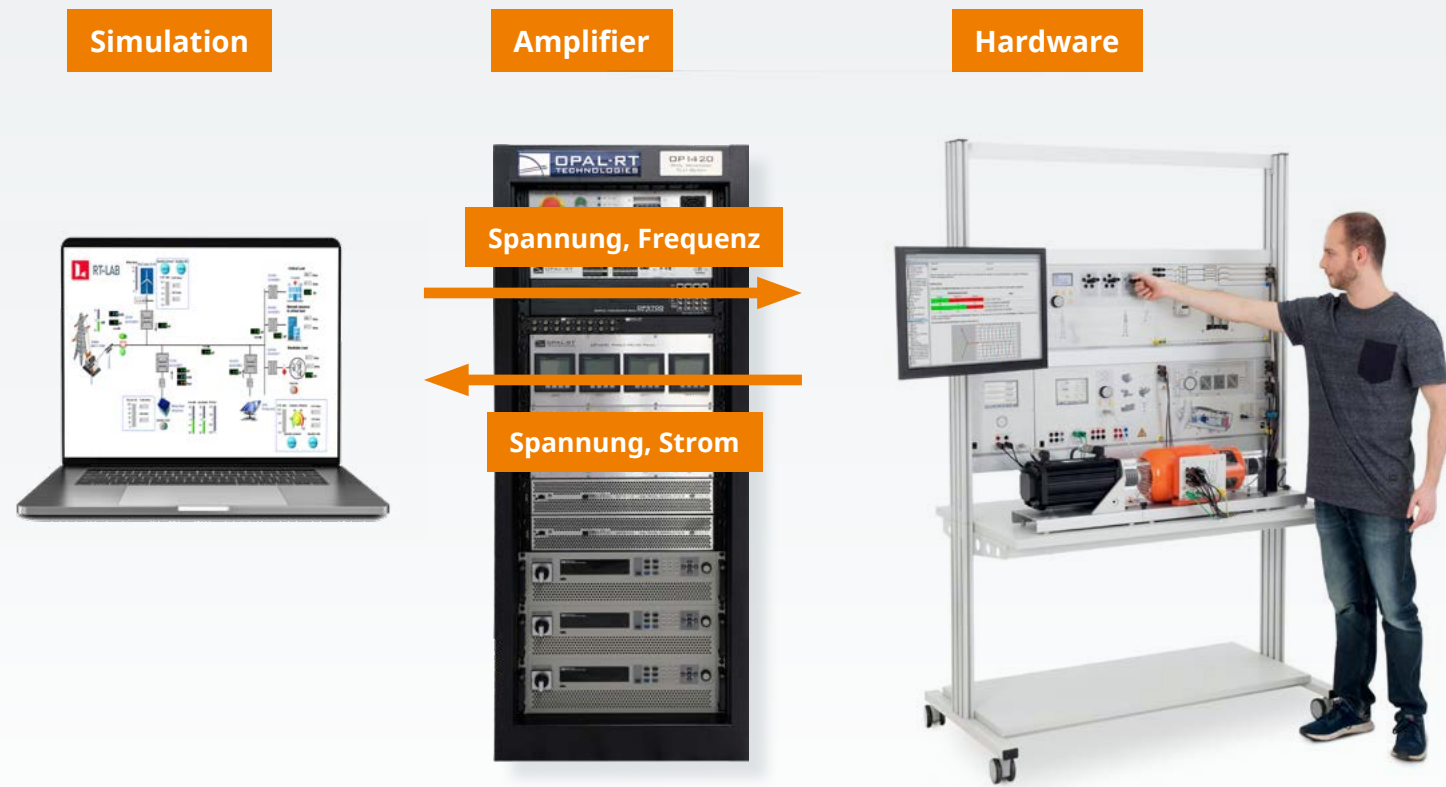
Herausforderungen in der Energietechnik

Es werden neue und innovative Konzepte für systemstabilisierende Regelungen und verbesserte Systembetriebsstrategien benötigt.

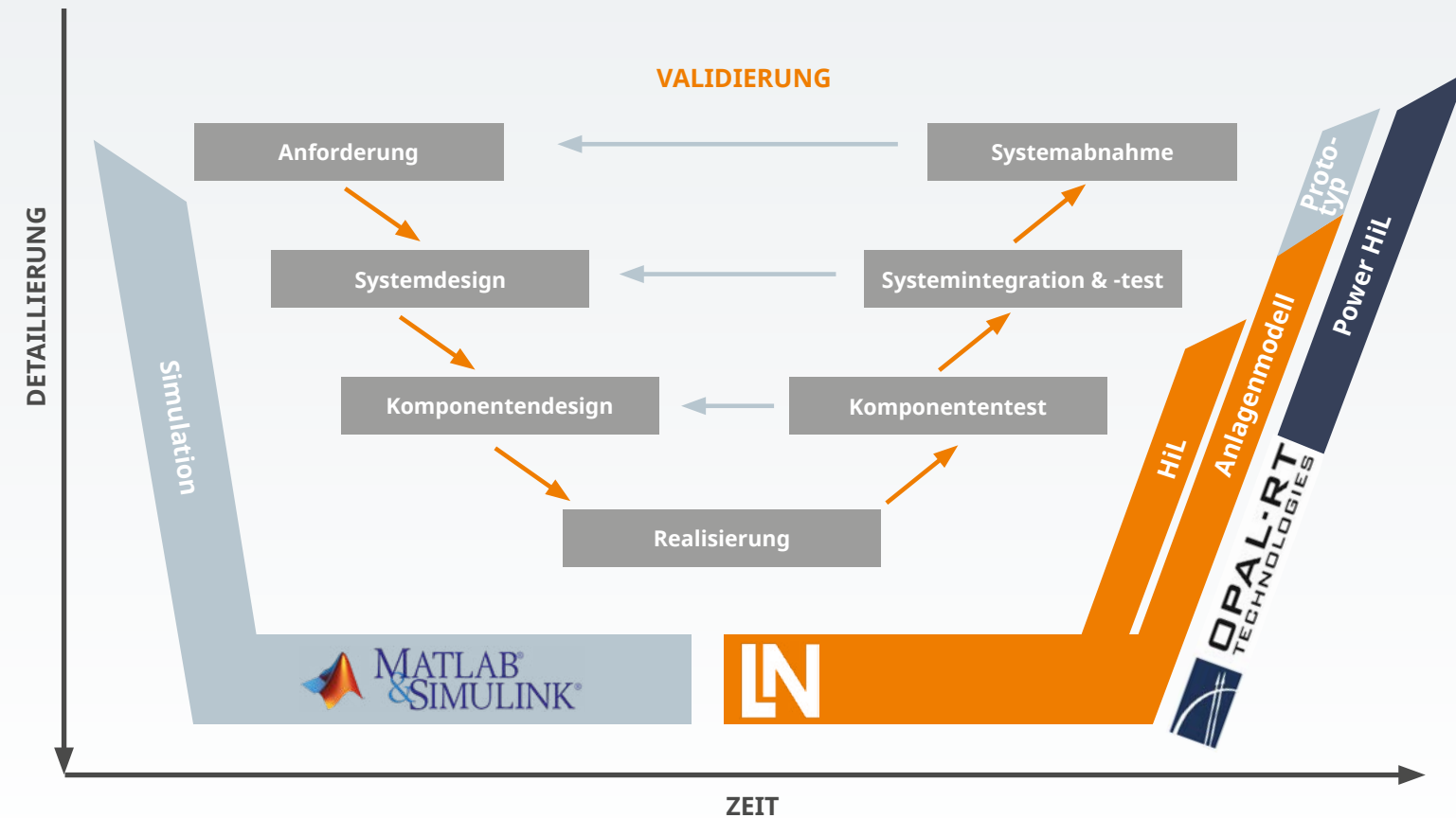
Energienetz im Wandel

Erneuerbare Energien wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen basieren oft auf Umrichtern. Mit zunehmenden Erneuerbaren Energien nimmt die Anzahl von fossilen (Groß-)Kraftwerken mit Synchrongeneratoren ab. Dadurch werden die systemstabilitätsfördernden Eigenschaften der Synchronmaschinen, mechanische Trägheit, die eine sofortige Bereitstellung von Blindleistung in großen Mengen während transients Vorgängen durch kurzfristige Überlastbarkeit erlaubt, verringert.

POWER-HARDWARE-IN-THE-LOOP (PHIL)



Hinweis: Diese Abbildung ist stark vereinfacht.



Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL)

PHIL ist eine Erweiterung des Hardware-in-the-Loop (HiL)-Tests, bei dem die Echtzeit-Simulationsumgebung in der Lage ist, Leistung mit dem Prüfling (engl.: Device-under-Test (DUT)) auszutauschen. Die DUTs sind über einen Leistungsverstärker an den Simulator angeschlossen, der von der Simulation gesteuert wird.



- Schnelles Nachbilden von Netzen, Energiequellen und verteilte Energieressourcen (DER)
- Entwicklung von Energiesystemen, Leistungselektronik und Steuerungssoftware
- Validierung vor dem Einbau in Produktivsystemen

Einsatz von Trainingssystemen im Entwicklungsprozess

Am Anfang einer Entwicklung können viele Design-Entscheidungen mit Hilfe von Simulationen getroffen werden. Bei der Realisierung müssen diese für die Qualitätssicherung verifiziert werden.

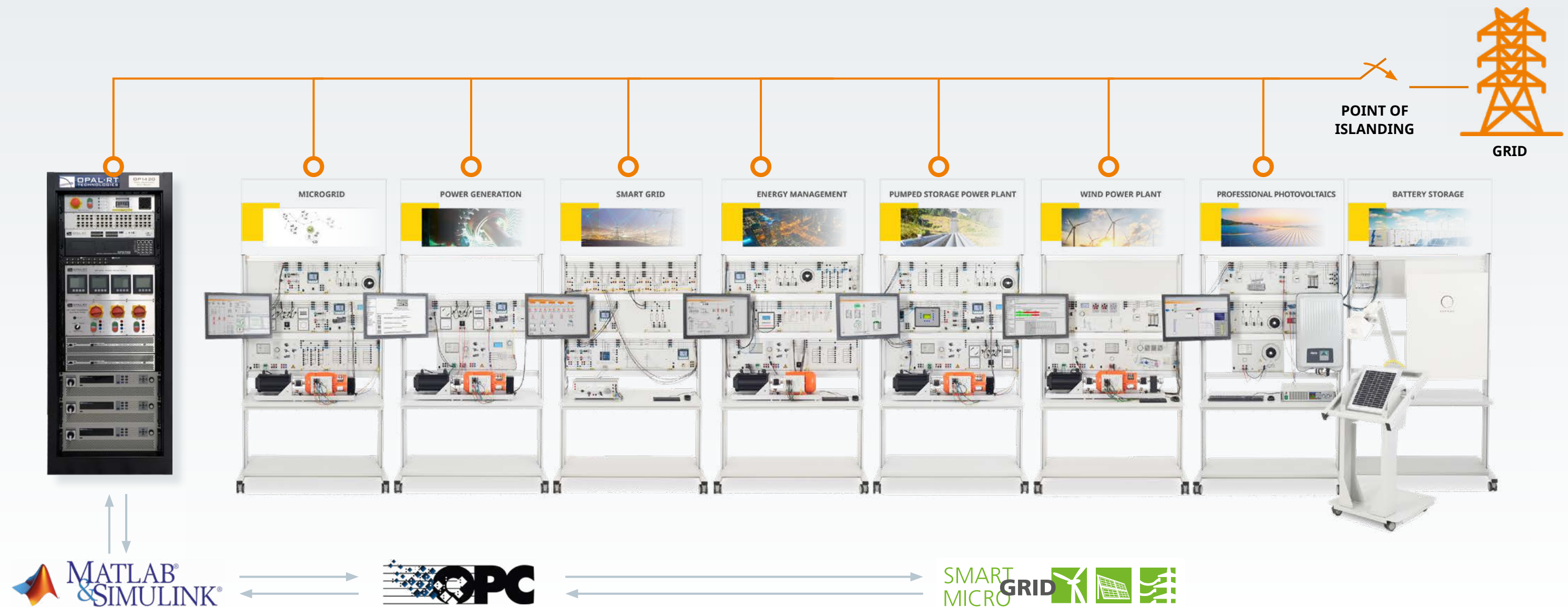
Vorteile mit Lucas-Nülle Trainingssystemen

- Modulares System
- Einfache Konfiguration
- Rapid-Prototyping-Systeme / Hardware-in-the-Loop (HiL) mit Matlab Simulink
- Smart Grid / Microgrid Anlagenmodelle

In Zusammenarbeit mit OPAL-RT

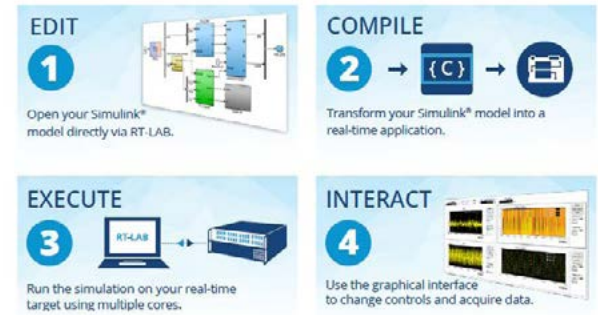
- Power Hardware-in-the-Loop (PHIL)

SMART GRID UND PHIL MIT OPAL-RT



OPAL-RT RT-LAB

Einfache Inbetriebnahme und Parametrieren in 4 Schritten



OPAL-RT OP1420 – Leistungsverstärker

- 4Q Leistungsverstärker bis zu 15 kW
- Innovative Soft-Switching-Zelle basierend auf SiC-Transistortechnologie
- 100% Rückspeisung, keine Verlustleistung
- Sehr hoher Wirkungsgrad >96%
- Spannungs- und Strommodus
- Bis zu 10kHz (-3dB), THD <0,5%
- Microgrid Simulink-Modelle
- FPGA-Echtzeitsimulation möglich
- Microgrid-Netzemulator mit Busbar und Messgeräten
- Sicherheitsmessverbindungen
- Schutz vor Überlast, Kurzschluss und Temperaturüberwachung

Lucas-Nülle Smart Grid – Vernetzte Systeme im Energietechniklabor

Nachbildung eines kompletten Energieversorgungsnetzes von Erzeugung bis zum Endverbrauch

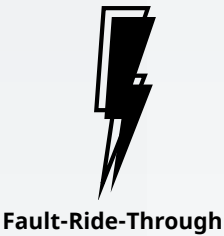
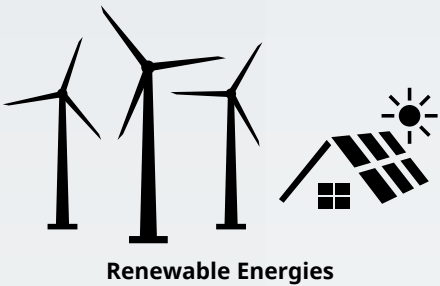
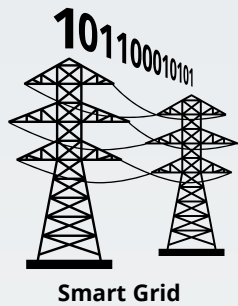
- Erneuerbare Energien mit fluktuierender Energieerzeugung
- Energieverteilung mit Übertragungsleitungen, Transformatoren und Doppelsammelschienen
- Integration der Systeme, Mess- und Schutzgeräte in SCADA
- Zentrale Auswertung und Steuerung durch SCADA
- Keine Grenzen für den Aufbau und die Untersuchung intelligenter Netze im Labor

Smart Grid und Leistungsverstärker

Vorteile:

- Realitätsnahe Trainingssysteme für die Ausbildung der Grundlagen und Anwendungen
- Kombination von Simulation, realer und industrieller Hardware
- Modularer Aufbau der schnell angepasst werden kann
- Einfaches und schnelles Durchführen von PHIL
- Fehlergeschützte Hardware
- Fertige Modelle für einen schnellen Einstieg in PHIL

SCADA



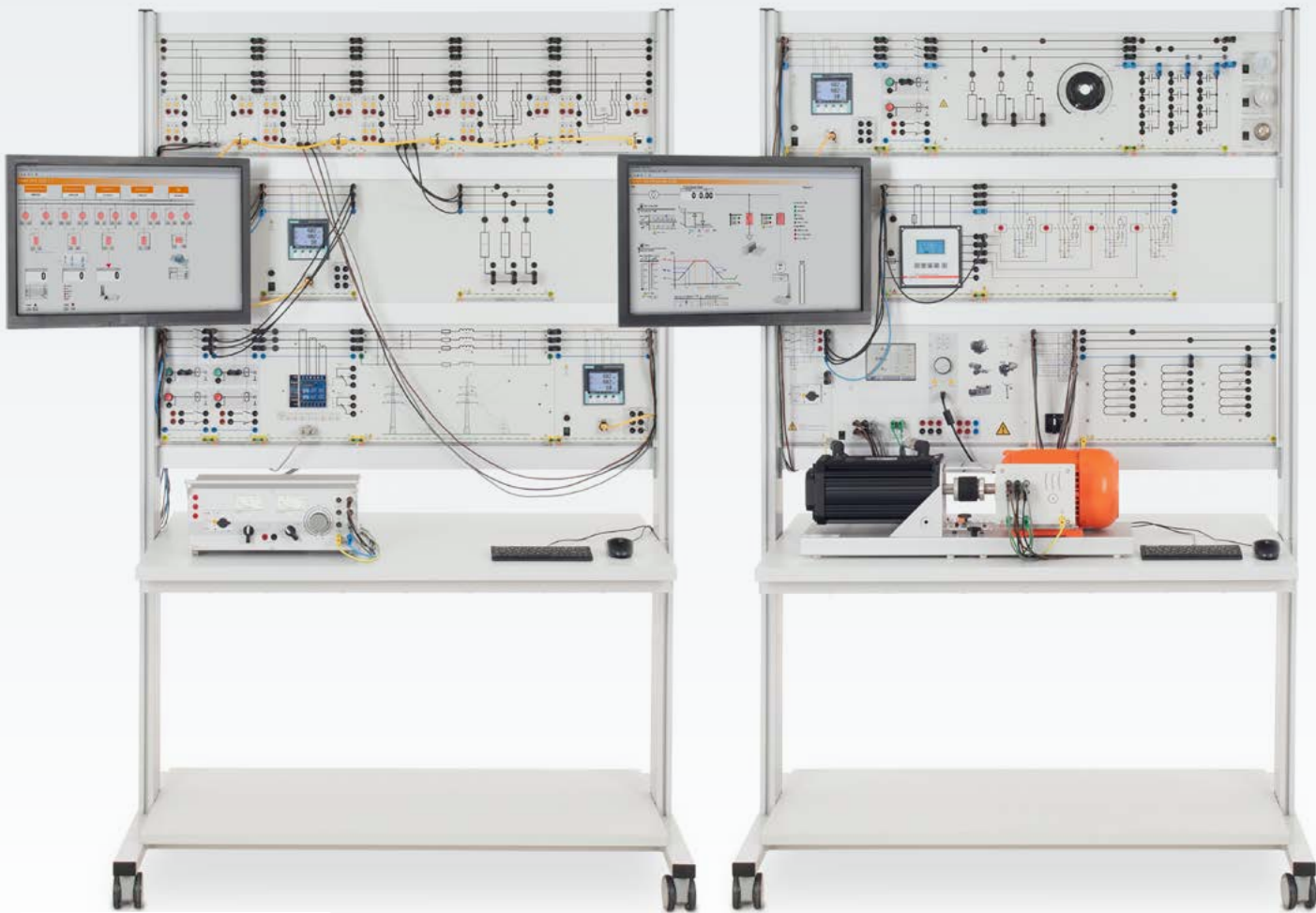
Flexible Gestaltung

Durch die Modularität des Systems lassen sich die Geräte sehr flexible zusammenstellen. In wenigen Minuten können komplexe Anwendungen im Experimentierwagen aufgebaut und dem flexiblen Unterricht angepasst werden. Die Kombination von Systemen ermöglicht den Aufbau beliebiger Szenarien bis hin zum Microgrid und Smart Grid.

Dem Budget angepasst

Die Anschaffung kann stufenweise erfolgen. Beginnen Sie mit einer Minimalsstattung und erweitern Sie Ihr System jederzeit zum komplexen Energietechniklabor.

GRUNDAUSSTATTUNG: SMART GRID



Smart Grid – Kontrollzentrum - Energiemanagement

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. Einspeisungen erzeugter Energien und Last-änderungen werden von dem Smart Grid Kontrollzentrum erfasst und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen, um das Energienetz stabil zu halten.

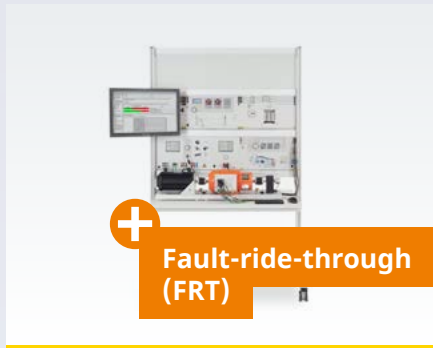
Lerninhalte

- Dreiphasiges Doppelsammelschienensystem
- Untersuchungen an Drehstromleitungen
- Überstromzeitschutz für Leitungen
- Komplexe Verbraucher, Energieverbrauchsmessung und Spitzenlastüberwachung
- Handbetätigte und automatische Blindleistungskompensation
- Lastmanagement - Demand Side Management
- Intelligente Steuerung der Erzeuger und Verbraucher

ERWEITERUNGEN: SMART GRID



EPH3 – Photovoltaik Professional



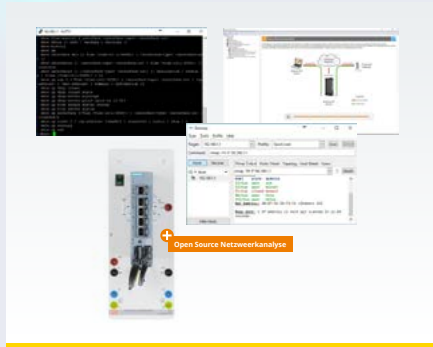
EWG1 – Windkraftanlagen



EDC – Hochspannungs-Gleichstromübertragung



EUG – Synchronisierschaltungen



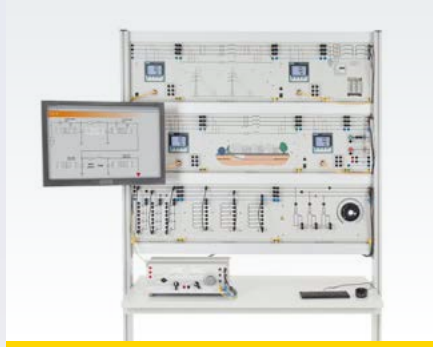
ECS1 – Industrial Cyber Security



EUK – Pumpspeicherkraftwerk und Kraftwerke



EUT – Untersuchung an Transformatoren



EUL – Übertragungsleitungen



ELP – Leitungsschutz



GRUNDAUSSTATTUNG: MICROGRID



SMART GRID
MICRO

Inselparallelbetrieb / Microgrid

Wird dieses Inselnetz an das Smart Grid gekoppelt spricht man vom Microgrid, welches drei Betriebsmodi hat: On Grid, Off Grid und Dual Modus. Microgrids werden eine zentrale Rolle im Smart Grid von Morgen einnehmen.

Vorteile

- Reduzierung der Übertragungs- und Transformatorverluste
- Unabhängigkeit vom großen Energieversorger
- Smart Grid als Backup System
- Intelligente mit SCADA gesteuerte Versorgung und Verbraucher
- Energieerzeugung mit erneuerbaren Energien
- Opt. der Stromqualität, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit

Lerninhalte

- Regelung von mehreren Generatoren im Inselnetz
- Regelung von mehreren Generatoren im Netzparallelbetrieb
- Koordination von Energiebedarf und -erzeugung im Inselnetz
- Einsatz moderner Informationstechnologie wie z.B. vernetzte Sensoren/Aktoren, SPS-Steuerung und SCADA-Bedienoberfläche
- „Smart Metering“ eines Bilanzknotens um ein Subnetz autark zu machen.
- Manuelle Regelung
- Spannungsregelung
- Frequenzregelung
- Drehmomentregelung
- cos phi-Regelung
- Droopregelung

Art.-Nr. EMG

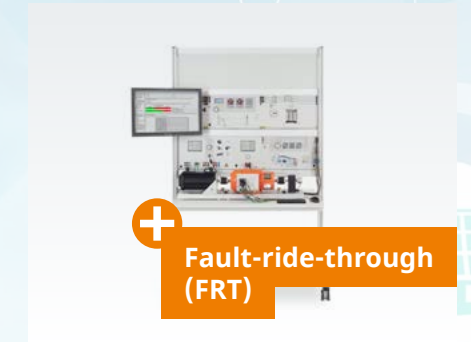
ERWEITERUNGEN: MICROGRID



EMG 2 – Zusätzliches Sekundärsystem (bis zu drei Ergänzungen)



EPH 3 – Photovoltaik Professional



EWG 1 – Windkraftanlagen



EUG 3 – Pumpspeicherkraftwerk



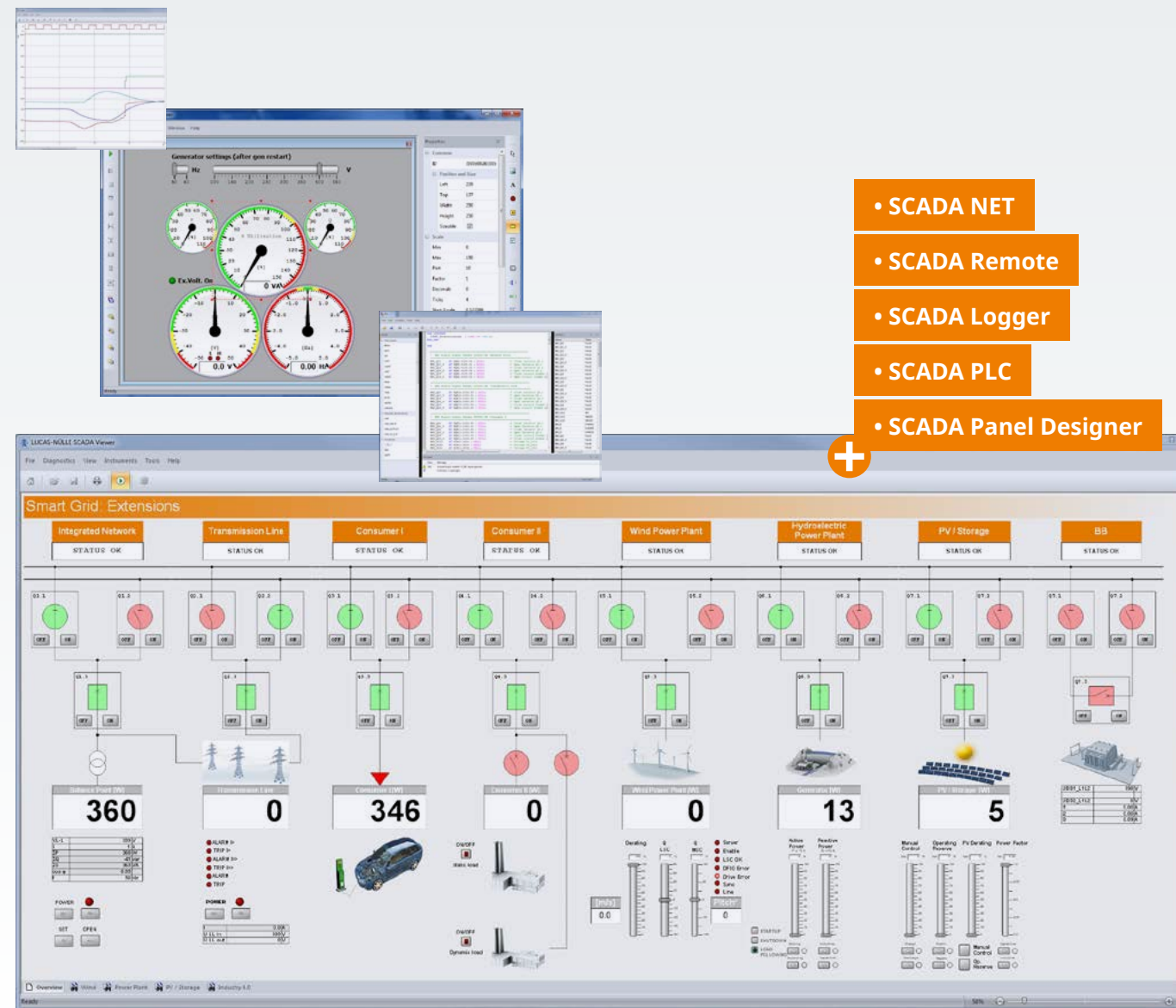
EUC 2 – Dynamische Verbraucher



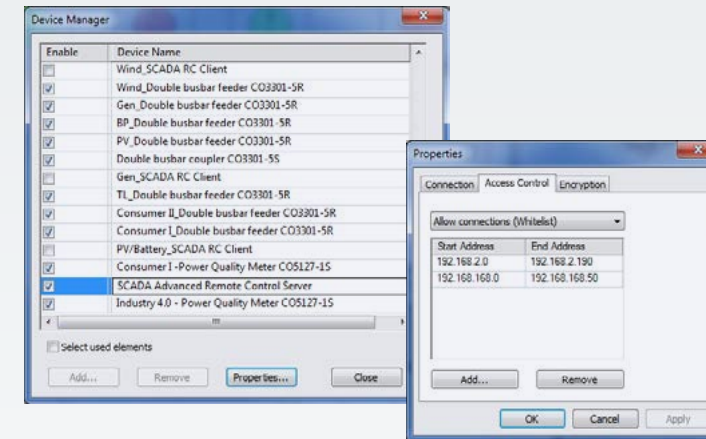
ECS 1 – Industrial Cyber Security



SCADA FOR POWER LAB



- SCADA NET
- SCADA Remote
- SCADA Logger
- SCADA PLC
- SCADA Panel Designer



- SCADA Client Server
- SCADA OPC
- SCADA IEC 61850

Group	Name	Type	Value	Quality	Timestamp	Access	ID
Group 1	[00] Apparent current in phase L1	LREAL	0	Good	01.12.2017 15:32:25	R	[07] Time Over Current Relay CO3301-4I[00].[00] Apparent current in phase L1
Group 1	[01] Apparent current in phase L2	LREAL	0	Good	01.12.2017 15:32:25	R	[07] Time Over Current Relay CO3301-4I[00].[01] Apparent current in phase L2
Group 1	[02] Apparent current in phase L3	LREAL	0	Good	01.12.2017 15:32:25	R	[07] Time Over Current Relay CO3301-4I[00].[02] Apparent current in phase L3
Group 1	[03] Voltage V1.1-N	LREAL	233.085	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[03] Voltage V1.1-N
Group 1	[04] Voltage V1.2-N	LREAL	232.302	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[04] Voltage V1.2-N
Group 1	[05] Voltage V1.3-N	LREAL	236.663	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[05] Voltage V1.3-N
Group 1	[06] Voltage V1.1-L2	LREAL	402.8105	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[06] Voltage V1.1-L2
Group 1	[07] Voltage V1.2-L3	LREAL	398.550	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[07] Voltage V1.2-L3
Group 1	[08] Voltage V1.3-L1	LREAL	398.557	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[08] Voltage V1.3-L1
Group 1	[09] Current L1	LREAL	0.17295	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[09] Current L1
Group 1	[10] Current L2	LREAL	0.146506	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[10] Current L2
Group 1	[11] Current L3	LREAL	0.13473	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[11] Current L3
Group 1	[12] Neutral Current	LREAL	0.12054	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[12] Neutral Current
Group 1	[13] Apparent power L1	LREAL	40.4656	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[13] Apparent power L1
Group 1	[14] Apparent power L2	LREAL	34.0342	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[14] Apparent power L2
Group 1	[15] Apparent power L3	LREAL	30.5302	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[15] Apparent power L3
Group 1	[16] Active power L1	LREAL	22.8001	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[16] Active power L1
Group 1	[17] Active power L2	LREAL	-8.66728	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[17] Active power L2
Group 1	[18] Active power L3	LREAL	-9.27730	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[18] Active power L3
Group 1	[19] Reactive power L1	LREAL	-8.54271	Good	01.12.2017 15:33:04	R	[08] BP-Power Quality Meter COS127-15[00].[19] Reactive power L1



• SCADA Viewer | Designer

- Frei konfigurierbare Benutzeroberflächen
- Symbolische Anordnung aller Geräte der Lucas-Nülle Energietechnik
- Normierte elektronische Schaltsymbole zur Visualisierung von Schaltungen
- Individuell konfigurierbare Werteliste zur Anzeige von beliebig vielen Messwerten
- Anzeige der Messwerte und Zustände in Echtzeit
- Realisierung und Analyse intelligenter Netze (Smart Grid)
- Design mehrerer Arbeitsblätter pro System

• SCADA Logger

- Aufnahme von Diagrammen der Messwerte und Signale über die Zeit
- Bearbeitung, Analyse und Export der Diagramme
- Ausmessen der Werte

• SCADA Panel Designer

- Entwurf und Konfiguration eigener Bedienoberflächen

• SCADA Remote Client / Server

- Beobachten und Bedienung aller Systeme an jedem PC im Labor
- das Energietechniklabor in der Cloud

• SCADA OPC Client

- Anbindung externer Geräte, z.B. SPS
- OPC DA V2.02

• SCADA OPC NET Server

- Echtzeitanbindung an z.B. MATLAB®/Simulink® und LabVIEW über OPC-Server

• SCADA PLC

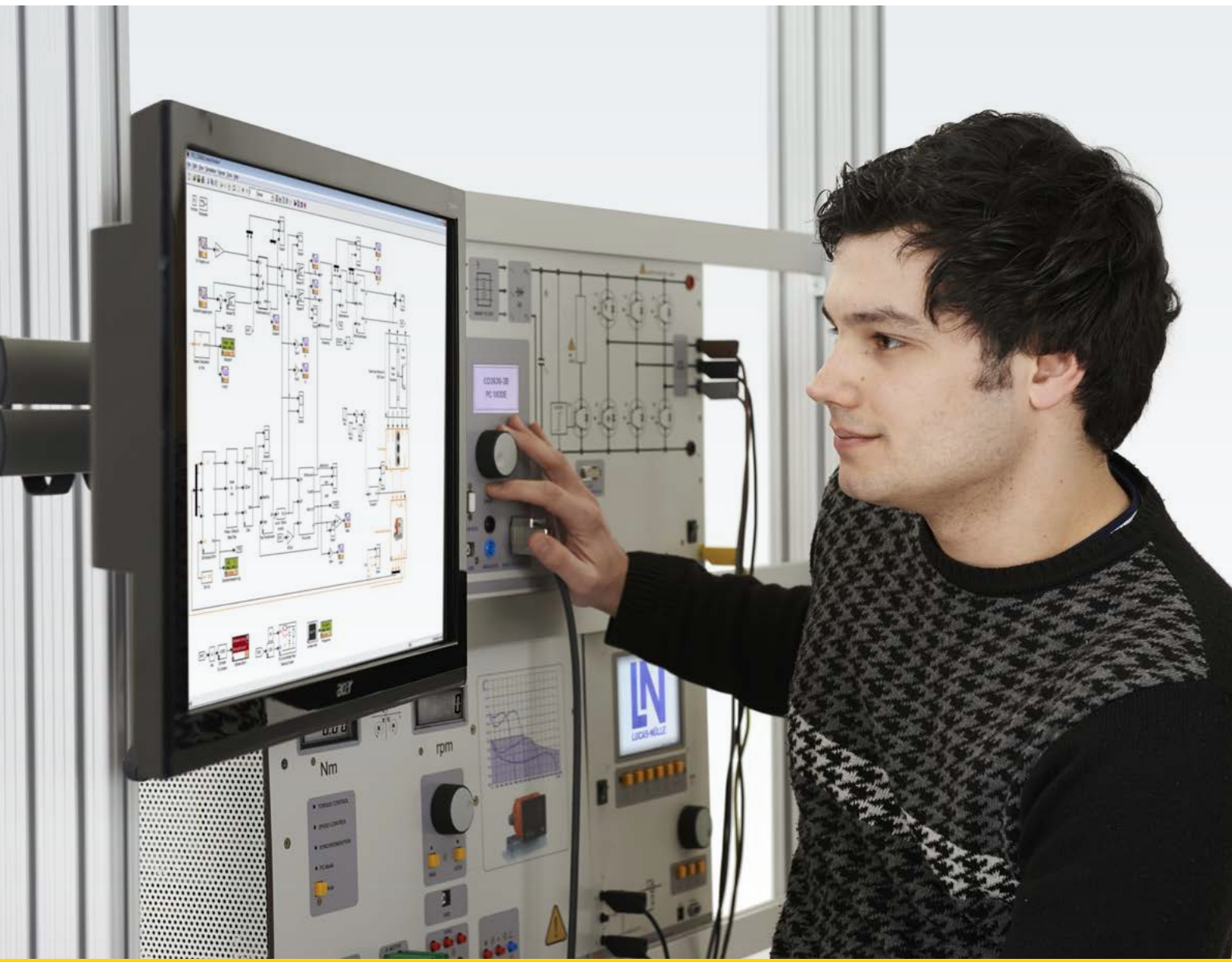
- Integrierte Soft SPS (IEC61131 konform)
- Zugriff auf alle Werte und Signale im Smart Grid
- Automatische Erzeugung der Variablenliste
- Variablen beobachten

• Weitere unterstützte Protokolle:

- SCADA IEC 61850 Client (Anbindung externer Geräte, z.B. PMU)
- TCP/IP Client/ Server
- MODBUS
- SML (Smart Message Language)
- HTTP

Für alle Versuche der multimedia Kurse sind vorgefertigte Beispieldateien (Templates) vorhanden.

MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG VON ANTRIEBEN MIT MATLAB®/SIMULINK®

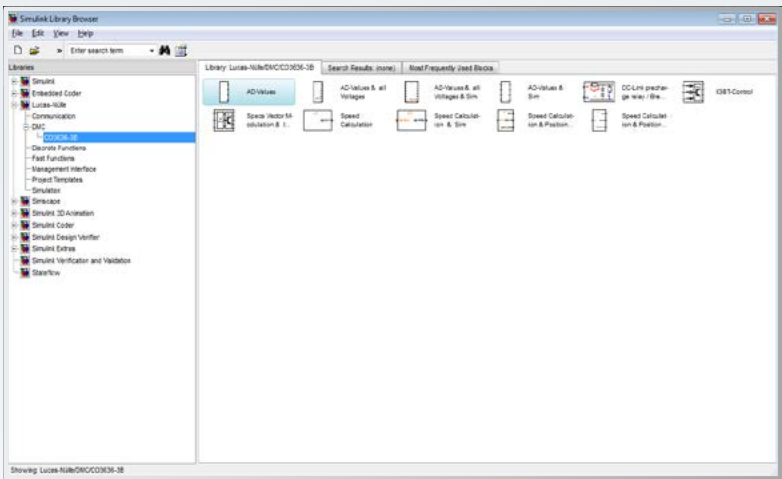


Erweitern Sie das Trainingssystem zu einem programmierbaren Rapid-Prototyping-System für die Antriebstechnik

Fast alle elektrischen Antriebe, wie sie in Industrieanlagen und Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen, arbeiten mit Drehstromtechnik. Die automatische Regelung dieser Antriebe mit dem Ziel, ein sanftes Anlaufen oder eine dosierte Beschleunigung zu erreichen, umfasst eine mathematisch komplexe und weitreichende Programmierung. Deren Implementierung ist daher oft durch sehr lange Entwicklungszeiten gekennzeichnet. Ein spezieller Werkzeugkasten (Toolbox) ermöglicht komplexe Reglerstrukturen für Drehstromantriebe mit Matlab® / Simulink® im Voraus zu simulieren und anschließend an einem realen Umrichter mit Motor und Last unter Verwendung eines automatisch erzeugten Codes zu testen.

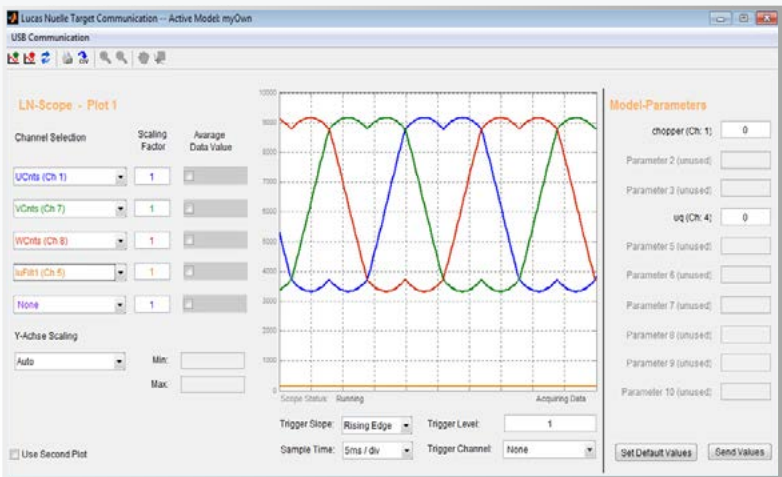
Ihre Vorteile

- Sichere Handhabung dank eigensicherer Hardware (alle Schutzfunktionen sind unabhängig von der Software implementiert)
- Förderung eines tiefergehenden Verständnisses komplexer Themen, wie z.B. in Lehre und Ausbildung, oder durch Verwendung der Toolbox in theoriebegleitenden Laborprogrammen
- Sehr schnelle, modellbasierte, parametrierbare Softwareerstellung für eigene Regler in Verbindung mit industriellen Anwendungen.
- Verfolgung neuer Verfahren bei Drehfeldantrieben, z.B. Einsatz von State-Space-Methoden, Bedingungsüberwachung für Fehler, sensorenlose automatische Drehzahlregelung mittels neuer Beobachtungstechniken
- Beeindruckende Entwurfsmöglichkeiten für die geschlossene Regelung von Drehstromantrieben
- Erstellung komplexer Algorithmen mithilfe schneller Regelzyklen von 125 µs
- Parametrierung von P-, PI-Reglern
- Regleroptimierung



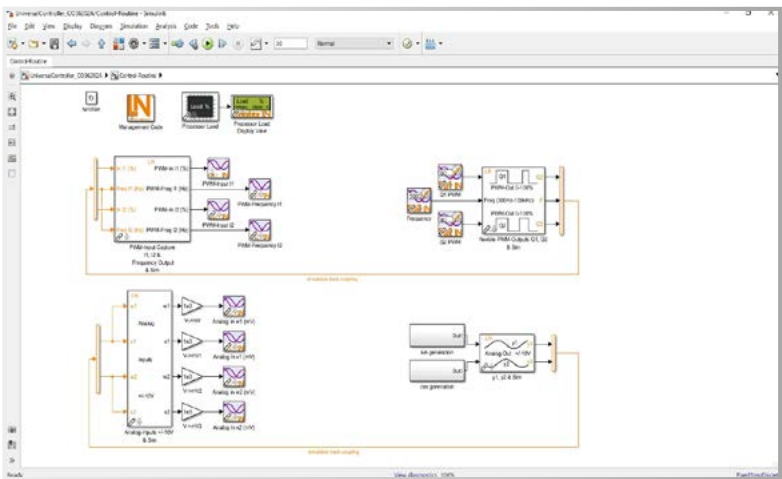
Schnellere Ergebnisse mit der Matlab®-Toolbox

Eine Toolbox, die auf die Hardware der Leistungselektronik abgestimmt ist, ermöglicht eine schnelle Implementierung der eigenen Anwendungen. Spezielle Vorlagen erleichtern die Einführung, da sich das System so konfigurieren lässt, dass der Benutzer nur wenige Einstellungen vorzunehmen braucht. Der Werkzeugkasten gibt den Benutzern alle notwendigen Module zur Regelung hardwarebezogener Funktionen an die Hand und umfasst Blöcke für schnelle Transformationen und Regler. Das System lässt sich nach Belieben erweitern, indem man den Elementen aus Matlab®/ Simulink® eigene Elemente hinzufügt.



Hardwareanschluss über Matlab® Scope

Ein spezieller Grafikdialog baut die Verbindung zwischen Matlab® und der Hardware über einen USB-Anschluss auf. Die Zeitcharakteristika aller internen Variablen lassen sich zur Laufzeit visualisieren. Hier steht eine Reihe unterschiedliche Zeitaufösungen und Trigger-Optionen zur Verfügung. Die Signale lassen sich im Zeit- und im Frequenzbereich anzeigen. Die Anzeige lässt sich in zwei Einheiten teilen, sodass bis zu zehn Signale gleichzeitig visualisierbar sind. Parameter, beispielsweise für den Regler, können zur Laufzeit komfortabel vom PC zur Hardware hochgeladen werden.



Projektvorlagen

Speziell auf die Hardware abgestimmte Vorlagen übernehmen die sonst komplexe und zeitaufwändige Konfiguration der Hardware. Der Benutzer kann sich somit sofort auf die Programmierung mit Matlab®/ Simulink® konzentrieren.

LEHRSYSTEME MIT MATLAB®/SIMULINK® TRANSFORMATOREN, LEISTUNGSELEKTRONIK, MASCHINEN



- Erstellung eines HIL-Systems (Hardware in the Loop) unter Echtzeitbedingungen
- Diskretisierung der Steuerung für den Betrieb auf einem DSP (digitaler Signalprozessor)
- Erstellung und Optimierung von Strom- und Drehzahlregler



Feldorientierte Regelung von Asynchronmotoren mit Matlab® / Simulink® und einem Servomaschinenprüfstand

Lerninhalte

- Modellierung und Entwurf der feldorientierten Steuerung auf einer kontinuierlichen Entwurfsebene
- Park- und Clarke-Transformation
- Integration der Raumzeigermodulation zur optimalen Regelung von IGBTs
- Entkopplung von feldorientierten Strömen und Spannungen
- Drehzahlerfassung über einen Inkrementalgeber
- Vergleich der Simulationsergebnisse mit realen Messungen

AUSBILDUNGSSYSTEME MIT MATLAB®/SIMULINK® PROZESSSTEUERUNG



IAC 40 Optimierung eines geregelten Antriebssystems mit Matlab®/Simulink®

Lerninhalt

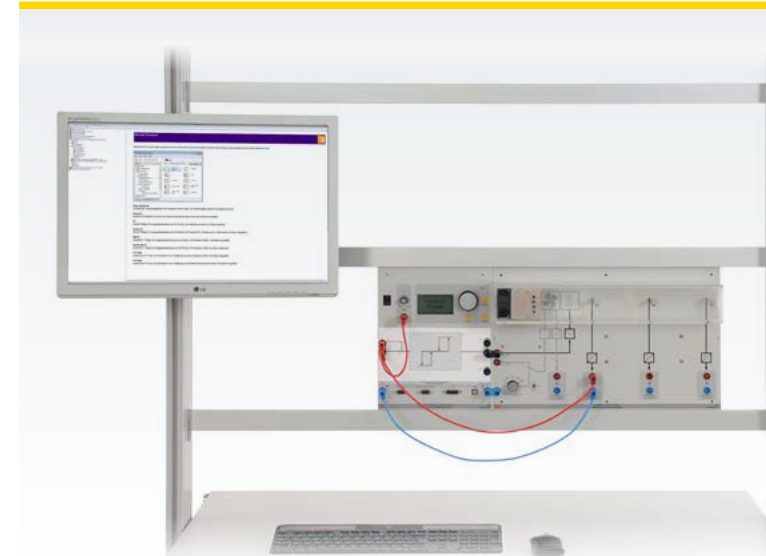
- Erstellung eines Hardware-in-the-Loop unter Echtzeitbedingungen
- Modellierung und Entwurf eines Kaskadenregelsystems
- Erstellen und Optimieren von Strom- und Drehzahlreglern
- Entwurf und Optimierung einer Regelstrecke im Zustandsraum
- Erweiterung der Regelstrecke zur Behandlung mehrerer Variablen



Drehzahlvariable Permanentmagnet-Servomotorantriebe mit Matlab®/Simulink® und dem Servomaschinenprüfstand

Lerninhalte

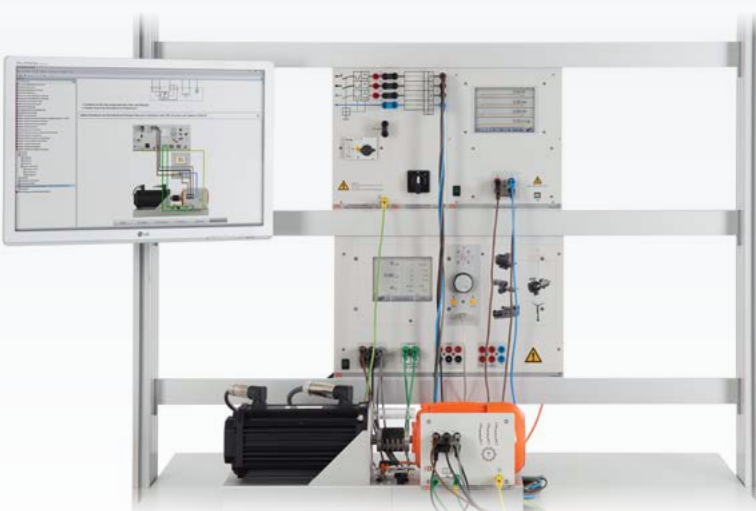
- Modellierung und Entwurf einer automatischen Servoregelung auf einer kontinuierlichen Entwurfsebene
- Park- und Clarke-Transformation
- Integration der Raumzeigermodulation zur optimalen Steuerung von IGBTs
- Entkopplung von feldorientierten Strömen und Spannungen
- Drehzahl- und Positionserfassung über einen Inkrementalgeber
- Vergleich der Simulationsergebnisse mit realen Messungen



IAC 41 Automatische Regelung eines Lufttemperaturgesteuerten Systems mit Matlab®/Simulink®

Lerninhalt

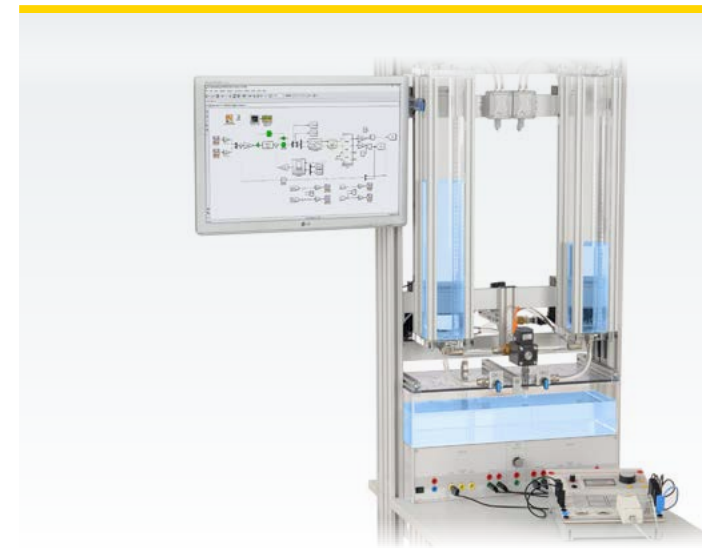
- Erstellung eines Hardware-in-the-Loop unter Echtzeitbedingungen
- Modellierung und Entwurf eines Steuersystems
- Simulation und Optimierung eines Steuerungssystems anhand eines Modells
- Vergleich zwischen Modell und realem Regelsystem
- Erweiterung des Regelsystems zu einem Mehrgrößenregler mit unabhängiger Regelung von Temperatur und Luftstrom



Gleichstromantriebe mit kaskadierter Regelung mit Matlab®/Simulink® und einem Servomaschinenprüfstand

Lerninhalte

- Modellierung und Entwurf eines Kaskadenregelkreises für Gleichstrommotoren auf der Ebene des kontinuierlichen Entwurfs
- Geschwindigkeitserfassung über einen Inkrementalgeber
- Vergleich der Simulationsergebnisse mit realen Messungen



IAC 42 Regelung eines gekoppelten Zwei-Tank-Systems mit Matlab®/Simulink®

Lerninhalt

- Erstellung eines Hardware-in-the-Loop unter Echtzeitbedingungen
- Modellierung und Entwurf eines Steuersystems
- Simulation und Optimierung eines Steuerungssystems anhand eines Modells
- Vergleich zwischen Modell und realem Regelsystem
- Erweiterung des Regelsystems zu einem Mehrgrößenregler mit unabhängiger Regelung der Füllstände in beiden Tanks



LUCAS-NÜLLE GMBH

Siemensstr. 2
50170 Kerpen

Tel.: +49 2273 567-0
Fax: +49 2273 567-39

www.lucas-nuelle.de
vertrieb@lucas-nuelle.de