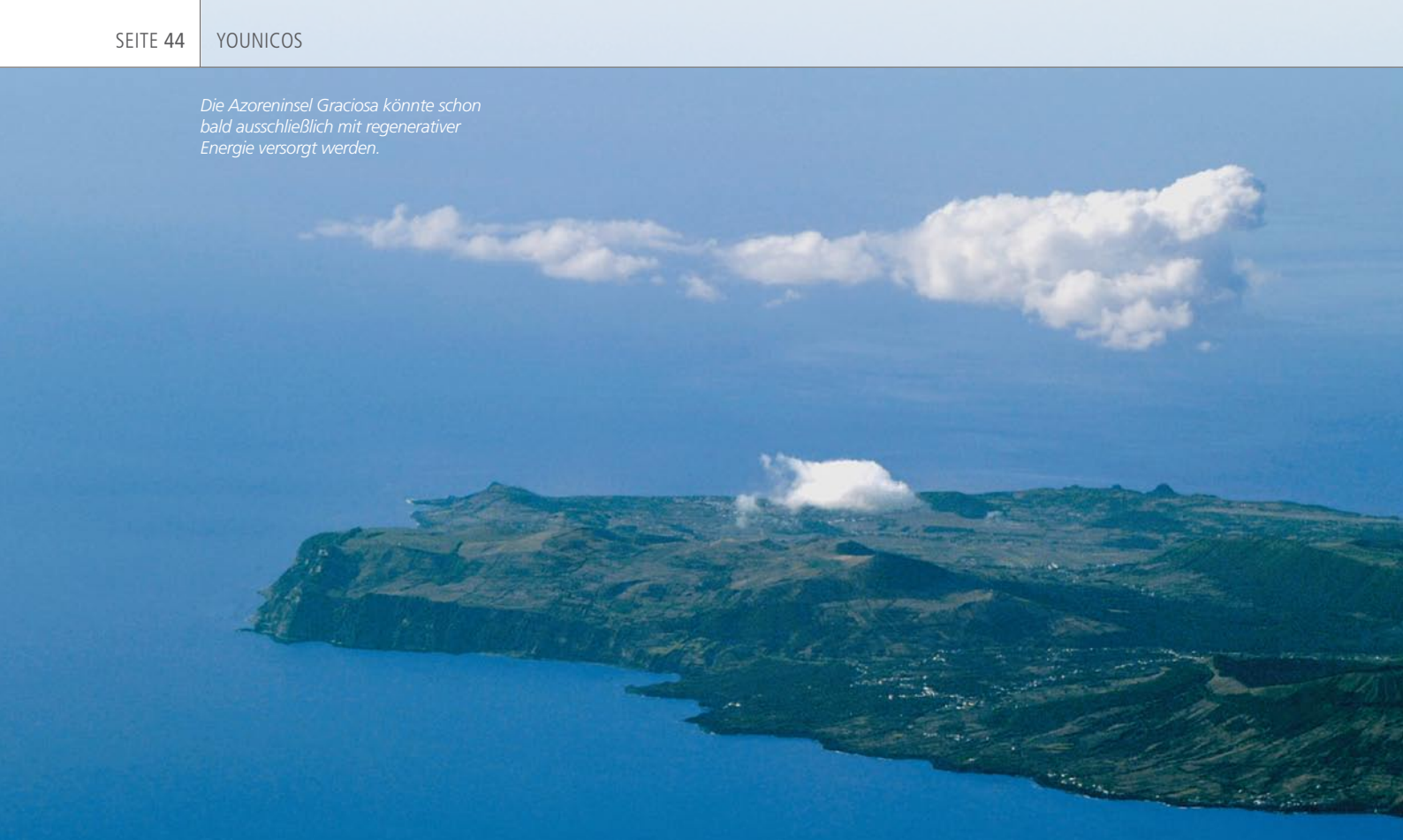


*Die Azoreninsel Graciosa könnte schon bald ausschließlich mit regenerativer Energie versorgt werden.*



# Neue Energie – Autark mit Sonne und Wind

Rein regenerative Energieversorgung einer ganzen Insel

Eine Azoreninsel mitten im Atlantik: viel Sonne, stetiger Wind und meilenweit vom nächsten Stromnetz oder der nächsten Tankstelle für den Dieselgenerator entfernt. Was liegt da näher, als die Energieversorgung vollständig auf regenerative Quellen umzustellen. Auf Sonnen- und Windenergie eben.

#### **Rein regenerative Energieversorgung**

Eine autarke, CO<sub>2</sub>-neutrale Stromversorgung auf Basis regenerativer Energien für entlegene Gebiete – Inseln oder Dörfer –, die weit vom großen Stromnetz entfernt sind: Genau das planen und entwickeln wir bei Younicos. Unser erstes Projekt ist die Azoreninsel Graciosa. Zurzeit liefert ein Schiff regelmäßig den benötigten Dieselmotorkraftstoff für die Generatoren der Insel. Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen können dies überflüssig machen und der Insel eine kostengünstigere Alternative bieten. 70-90% der benötigten



Energie liefern dabei Sonne und Wind, die restlichen 10-30% könnten auf Basis lokal erzeugter Biokraftstoffe erzeugt werden. Zusammen mit einer 3-Megawatt-Natrium-Schwefel-(NaS)-Batterie, die als Speicher dient und zu starke Energieschwankungen ausgleicht, kann die Insel vollständig unabhängig von fossilen Energieträgern werden.

Bevor jedoch die ganze Insel mit ihren Bewohnern zu einem Testobjekt wird, haben wir ihr Energienetz in unserem Berliner Testgelände nachgebaut. Hier testen wir für zwei Jahre das Versorgungskonzept, also den

Übergang von konventioneller zu regenerativer Energieversorgung auf Herz und Nieren, stellen Extremsituationen nach, überprüfen und optimieren verschiedene Regelstrategien und beweisen, dass unser Konzept sowohl alltagstauglich als auch wirtschaftlich ist. Bei dem Teststand handelt es sich nach unserem Kenntnisstand um die erste Versuchsanlage dieser Art im Megawatt-Bereich.

#### **Testgelände**

Der Teststand umfasst ein vollständiges elektrisches Versorgungsnetz. Natürlich herrschen in Berlin nicht die gleichen Wind- und Sonnenver-



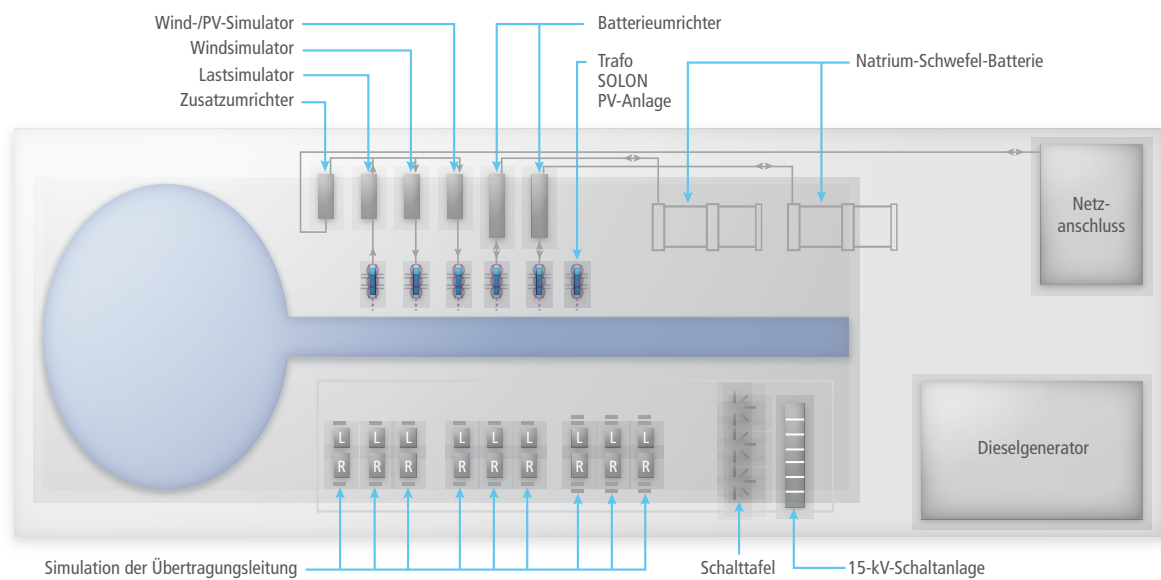


Abbildung 1: Auf dem Testgelände in Berlin wird die Sonnen- und Windenergie der Azoreninsel Graciosa simuliert.

hältnisse wie auf den Azoren. Daher verwenden wir Simulationsmodelle für die Wind- und Sonnenenergie, um Daten für die Energieregelung zu erhalten. Die Wetterdaten für die Simulation werden direkt auf Graciosa gemessen und durch die Simulation im Teststand in Echtzeit verarbeitet. Damit stellen wir sicher, dass unser Konzept realen Anforderungen genügt. Die Testanlage umfasst folgende Komponenten (Abbildung 1):

- 2 x 500-kW-NaS-Batterie mit einer Kapazität von insgesamt 6 MWh
- 2 x 500-kW-Batterieumrichter
- 1-MW-Dieselelektrogenerator als Repräsentant der konventionellen Energieversorgung
- 210-kW-Photovoltaikanlage
- 2-MW-Windparksimulator, bestehend aus einem Umrichter mit integriertem Windkraftanlagenmodell zur Umrechnung von Windmessungen in Einspeiseleistung
- 1-MW-Lastsimulator, bestehend

- aus einem Umrichter zum Abfahren einer Lastganglinie
- Übertragungsstrecken auf der Mittelspannungsebene, aufgebaut aus Transformatoren und Leitungen, abgebildet durch konzentrierte Elemente R, L und C
- Umschaltfeld für den Aufbau unterschiedlicher Netztopologien
- Kurzschlussbildner zur Optimierung des Schutzkonzeptes in Netzen der Zukunft
- dSPACE Hardware für die Rege-



„Die Tests der weltweit ersten autarken regenerativen Energieversorgung im Megawatt-Bereich laufen mit der dSPACE Rapid-Prototyping-Hardware reibungslos.“

Mohamed Mostafa, Younicos

lung der Batterieumrichter sowie für die Simulation des Windaufkommens, der Sonneneinstrahlung und der auftretenden Lasten.

Besonders wichtig beim Aufbau der Anlage war uns die redundante Aus-

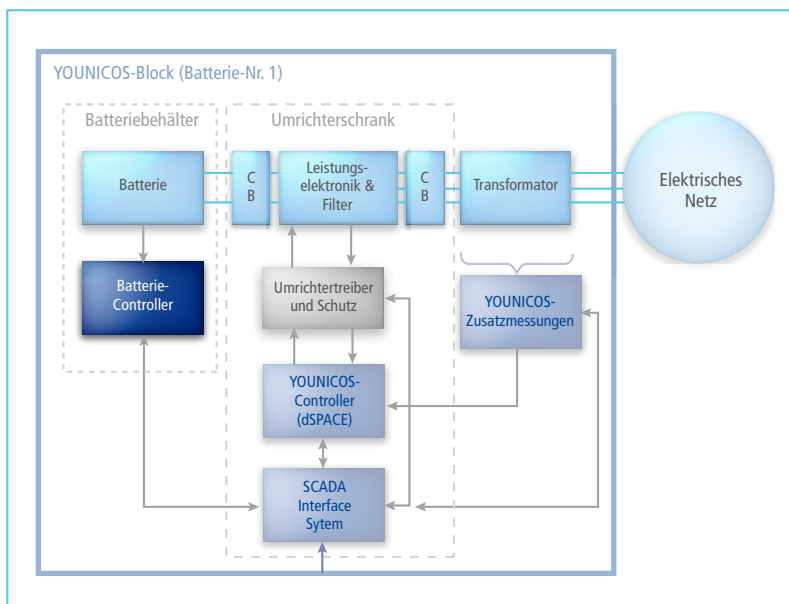
legung, um sie robust und wenig fehleranfällig zu gestalten. Gleichzeitig sollte das System modular und erweiterbar sein. Die systeminterne Kommunikationsstruktur zwischen Umrichter und Batterie-Management-System sollte möglichst klein

und effizient sein, um sie flexibel, verlässlich und gut wartbar zu halten. Die komplette Hardware-Struktur des Teststands und die Funktionen der Einzelkomponenten zeigt Abbildung 2.

### Stabilität durch Batterie und Umrichter

Da der Ertrag der Wind- und Solarenergie schwankend und nur kurzfristig voraussagbar ist, kommt den NaS-Batterien und den Umrichtern besondere Bedeutung für die Stabilisierung des Stromnetzes zu. Diese Komponenten angebots- und bedarfsgerecht zu regeln und zu koordinieren, sind die Kernaufgaben des Batterie-Management-Systems und der Umrichterregelung. Die Batterien (Abbildung 3) werden geladen, wenn das Angebot aus PV- und Windgeneratoren den Strombedarf übersteigt, und entladen,

Abbildung 2: Die detaillierte Hardware-Struktur mit ihren Funktionen im Teststand.



**Mohamed Mostafa**  
Research and Development  
Grid Management and Control System  
Younicos AG  
Berlin, Deutschland

**Elena Franzen**  
Research and Development  
Grid Management and Control System  
Younicos AG  
Berlin, Deutschland





Abbildung 3: Die Natrium-Schwefel-Batterie gleicht Energieschwankungen aus und dient als Reserve für schlechte Zeiten.

wenn PV- und Windanlagen weniger Strom erzeugen, als auf der Insel verbraucht wird. Mithilfe der schnellen Regelung der Umrichter werden Frequenz und Spannung im Netz stabil gehalten. Die verwendete NaS-Batterie ist aufgrund ihrer hohen Zyklentfestigkeit optimal mit erneuerbaren Energien kombinierbar, da sich Zeiten erhöhter Stromerzeugung und Flauten unregelmäßig abwechseln.

### Entwicklung der Umrichterregelung

Die Regelung des Batterieumrichters besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem Echtzeitregler und einem Kommunikationssystem. Um die optimale Ansteuerung des Umrichters zu bestimmen, testen wir per Rapid Prototyping unterschiedliche Regelalgorithmen für Spannungs- und Frequenzregelung, die wir in MATLAB®/Simulink® entworfen haben. Zum Testen selbst verwenden wir die AC Motor Control Solution der Firma dSPACE. Sie besteht aus einem DS1005 Processor Board und einem DS5202 FPGA Base Board mit Piggy-Back-Modul. Die Algorithmen werden mittels dSPACE Real-Time Interface (RTI) auf das DS1005 implementiert und dort ausgeführt. Das DS5202 stellt die notwendige I/O-Anbindung zwischen dem Prozessor-Board und dem Umrichter bereit. Änderungen im Algorithmus konnten durch das RTI sehr schnell aus MATLAB/Simulink auf das DS1005 übertragen werden. Das Kommunikationssystem überwacht die Schnittstellen zwischen Batterie, Umrichter und Leittechnik und koordiniert Batterie und Umrichter. Über ein Web-Terminal kann man von überall auf das System zugreifen, den Status abfragen oder Änderungen

### Leistungsmerkmale der NaS-Batterie

Hohe Energiedichte	3-mal höher als bei Blei-Säure-Akkus
Hohe Kapazität/Laufzeit	6 Stunden bei 100% oder 8 Stunden bei 75%
Erwartete Lebensdauer	15 Jahre, ca. 4.500 Aufladezyklen
Ladungseigenschaften	Keine Selbstentladung Kein Memory-Effekt
Einfache Wartung	Inspektion alle 3 Jahre
Schnelle Reaktionszeit	2 ms
Betriebstemperatur	300 °C



Abbildung 4: Ein weiteres Younicos-Projekt nutzt ebenfalls die Kraft der Sonne: Diese Solaranlage speist eine autarke Tankstelle für Elektrofahrzeuge.

## Glossar

**Zyklusfestigkeit** – Die Zyklusfestigkeit gibt an, ob durch das Aufladen und Entladen des Akkus Verschleißerscheinungen mit Leistungsverlust entstehen.

**Natrium-Schwefel-Akkumulator** – Wiederaufladbarer Akku, dessen Anode aus geschmolzenem Natrium und die Kathode aus Granitgewebe, getränkt mit flüssigem Schwefel bestehen.

**Selbstentladung, Memory-Effekt** – Wichtige Aspekte beim Einsatz von Akkus. Bei der Selbstentladung verliert der Akku Energie, ohne an einen Verbraucher angeschlossen zu sein.

vornehmen. Somit lässt sich das System leicht fernüberwachen und warten. Für den Einsatz in weit entfernten Gebieten oder auf Inseln ist dies unerlässlich, da nicht immer ein Techniker vor Ort ist.

### Simulation von Verbrauch, Wind und Sonne

Für die Simulation der Windkraft- und Solaranlagen verwenden wir eigene Modelle. Sie sind auf mehreren dSPACE DS1005 PPC Boards implementiert und werden dort auch gerechnet. Real auf der Insel Graciosa gemessene Wind- bzw. Sonnendaten dienen als Eingangsparameter, woraus sich die aktuell zur Verfügung stehende Leistung ergibt. Die vorhandene Leistung wird mit einem Verbrauchsprofil abgeglichen, das über den Tag verteilt den Energiebedarf der Inselbewohner angibt. Umrichter sorgen nun für die Energieverteilung. Beide Batterien sind über einen Umrichter an das simulierte Versorgungsnetz gekoppelt. Auf dem Testgelände wird die Einspeisung von

Wind- und Sonnenenergie in das elektrische Versorgungsnetz mit Hilfe zweier Umrichter simuliert. Die Last des Netzes wird durch einen weiteren Umrichter nachgebildet, der ein skaliertes Lastprofil der Insel abfährt. Weiterhin speist eine reale Solaranlage 210 kWp (Kilowatt peak) in das Inselnetz. Die Solaranlage ist auf dem Dach des Gebäudes der Solon SE montiert.

### Ziel der Versuche

Während der Testphase wollen wir demonstrieren, dass eine stabile Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien technisch machbar und wirtschaftlich lohnend ist. Während bisher der Anteil fluktuierender, erneuerbarer Energien in Stromnetzen durch die Beeinträchtigung der Netzstabilität limitiert war, wollen wir zeigen, dass die Batterie zusammen mit der intelligenten Umrichter-Regelung ein Inselnetz stabilisiert und somit der Anteil an erneuerbarer Energie in der Stromversorgung problemlos weiter ausgebaut wer-

den kann. Nach Abschluss des zweijährigen Testzeitraums soll mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse die Energieversorgung für Graciosa ganz auf Wind und Sonne ausgerichtet werden. ■

Mohamed Mostafa  
Elena Franzen  
Research and Development  
Grid Management and Control System  
Yunicos AG