

STARS

Schwarz Start Algorithmen durch Resiliente Satellitenkommunikation

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2023	Status	laufend
Projektstart	01.10.2024	Projektende	31.12.2025
Zeitraum	2024 - 2025	Projektlaufzeit	15 Monate
Keywords	Schwarzstart, Satellitenkommunikation, Modellbildung, Simulationen		

Projektbeschreibung

Der Netzwiederaufbau nach einem großflächigen Ausfall ist ein anspruchsvoller Vorgang, bei dem es auf die Koordination mehrerer verteilter Betriebsmittel ankommt. Diese Koordination findet heute über lokale Fernwirknetze und über telefonische Abstimmung entfernter Netzbereiche statt. Je nach Schwarzstartstrategie wird ein oder mehrere Netzbereiche hochgefahren und synchronisiert, nicht schwarzstartfähige Teilsysteme werden nach und nach hinzugeschaltet. Die Effektivität der Schwarzstartstrategie ist ein kritischer Resilienzfaktor und bestimmt die Zeit bis zur Wiederversorgung in den meisten Fällen maßgeblich. Landesweite Systemausfälle ziehen je nach Dauer Schäden in Milliardenhöhe nach sich.

Zur Absicherung der Schwarzstartfähigkeit ist es sinnvoll, auf Redundanz und damit auf regionale Netzwiederaufbaukonzepte zu setzen. Derzeit wird angestrebt, in Österreich die Zahl der schwarzstartfähigen Teilsysteme von zwei auf sieben zu erhöhen. Eine Bottom-Up-Nutzung der steigenden Zahl von Photovoltaik- und Windenergieanlagen ist wünschenswert, jedoch derzeit technisch nicht oder nur bedingt umsetzbar. Zwar steigen die Anforderungen bezüglich „grid-forming“ Funktionalität für verteilte Erzeugung und hierzu gehört prinzipiell auch die Schwarzstartfähigkeit. Jedoch ist die Leistung und Überlastfähigkeit von Wechselrichtern begrenzt. Somit ist eine Koordinierung zwischen mehreren Geräten erforderlich, da eine einzelne kleinere Anlage nicht in der Lage ist, einen wesentlichen Teil des Netzes wieder hochzufahren.

Zukünftig könnten daher neue Konzepte für den Bottom-Up Schwarzstart elektrischer Netze hilfreich sein, die auf expliziter Kommunikation der beteiligten Anlagen beruhen. Dies würde ermöglichen, einen Teil der heute als nicht schwarzstartfähig geltenden Anlagen mit in die Bildung von versorgten Inseln einzubeziehen, die schrittweise synchronisiert und zusammengeschaltet werden können.

Bei einem längeren großflächigen Stromausfall ist nach einer gewissen Zeit jedoch auch die Kommunikation weiträumig ausgefallen, wodurch eine Koordination nicht mehr möglich ist. Moderne Satellitenkommunikation basierend auf erdnahen (LEO) Satelliten kann hier Abhilfe schaffen. Die Satelliten sind ohnehin autark und das Gesamtsystem kann so entworfen werden, dass nur die Endpunkte der Kommunikation (Quelle/Ziel) Strom benötigen.

Die Versorgungssicherheit ist das oberste Gebot in den Entwurfsentscheidungen im Stromnetz. Mehr verteilte volatile Erzeugung erhöht die Anforderungen an das Stromnetz massiv. Es besteht die Gefahr, dass das drohende Blackout (Resilienz) für die Energiewende eine Blockade darstellt.

Mit dem STARS Projekt wird versucht diese aufzulösen indem sichergestellt wird, dass auch nach längeren Stromausfällen weiterhin die Koordination kleinerer verteilter Erzeugung möglich ist. Dazu wird ein Simulationsmodell von Strom- und Telekommunikationssystem aufgebaut. Für das Modell des Telekommunikationssystems werden Erkenntnisse aus heute kommerziell verfügbaren LEO-Satellitensystemen gewonnen. Der gekoppelte Simulator wird verwendet, um neue kommunikationsbasierte Schwarzstartverfahren zu entwickeln und zu bewerten.

Als Ergebnis wird die Sondierung quantifizierte Erkenntnisse als Entscheidungsgrundlagen zu der Frage erarbeiten, ob eine Schwarzstartkoordination kleiner Anlagen über Satellitenkommunikation möglich und sinnvoll ist.

Abstract

Restoring the electricity grid after a large-scale outage is a demanding process that requires the coordination of several distributed operating resources. Today, this coordination takes place via local telecontrol networks and via telephone-based coordination of remote grid segments. Depending on the black start strategy, one or more network segments are started up and synchronized, and subsystems that are not black start-capable are gradually added. The effectiveness of the black start strategy is a critical resilience factor and in most cases it significantly determines the time until power is restored. Depending on their duration, nationwide system failures can result in damage running into billions.

To ensure black start capability, it makes sense to rely on redundancy and thus on concepts for regional grid reconstruction. In Austria, the aim is currently to increase the number of subsystems with black start capability from two to seven. Bottom-up utilization of the increasing number of photovoltaic and wind energy plants is desirable, but it is currently not technically feasible or only feasible to a limited extent. The requirements regarding "grid forming" functionality for distributed generation are increasing, and in principle this also includes black start capability. However, the power and overload capacity of inverters is limited. Coordination between several devices is therefore required, as a single small-scale system is not able to restart a significant part of the grid.

In the future, new concepts for the bottom-up black start of electrical grids based on explicit communication between the involved systems could therefore be helpful. This would make it possible to include some of the systems that are not currently considered black-start capable in the formation of supplied islands that can be synchronized and interconnected step by step.

However, in the event of a prolonged large-scale power outage, the communication capabilities are not available, and the necessary coordination is no longer possible. Modern satellite communication based on low earth orbit (LEO) satellites can provide a remedy. The satellites are self-sufficient anyway and the overall system can be designed such that only the endpoints of communication (source/destination) require power.

Security of supply is the top priority in the design decisions for the electricity grid. A high volume of distributed volatile generation massively increases the demands on the electricity grid. There is a risk that the threat of a blackout (resilience)

will block the energy transition.

The STARS project attempts to resolve this potential blockade by ensuring that the coordination of small-scale distributed generation is still possible even after longer power outages. To this end, a simulation model of the electricity grid and the telecommunication network is being developed. For the model of the communication system, knowledge is gained from commercially available LEO satellite systems. The coupled simulator will be used to develop and evaluate new communication-based black start procedures.

As a result, the exploratory study will produce quantified findings regarding the question whether black start coordination of small-scale renewable generation via satellite communication is a feasible and sensible approach.

Endberichtkurzfassung

Das übergeordnete Ziel der Sondierung STARS war es, die technische Machbarkeit und die Vorteile des Einsatzes expliziter technischer Kommunikation für Frequenzregelung und Schwarzstart in Stromnetzen mit hohem Anteil erneuerbarer Energie zu evaluieren. Im Fokus stand dabei die Kommunikation über erdnahe Satelliten (low-earth orbit - LEO).

Folgende wesentliche Ergebnisse wurden erzielt:

Bestimmung der Kommunikationsqualität in einem aktuell verfügbaren LEO-basierten Kommunikationssystem

Dazu wurden umfangreiche Messungen im Starlink-Netzwerk von SpaceX durchgeführt. Der Versuchsaufbau entsprach dem in weiterer Folge simulativ untersuchten Anwendungsfall der Wiederherstellung des Stromnetzes durch Kommunikation zwischen erneuerbaren Erzeugungsanlagen und einem Zentralregler. In unterschiedlichen Szenarien wurde der Einfluss von konkurrierendem Verkehr und herausfordernden Installationsorten evaluiert.

Aufbau eines Simulationsmodells für die Kommunikationsabläufe über LEO-Satelliten

Das Modell bildet detailliert die dynamischen Vorgänge einer LEO-basierten Kommunikation ab. Das Modell inkludiert auch die negativen Auswirkungen ungünstiger Wetterereignisse. Die durch die Messungen erhobenen Kommunikationsparameter wurden in ein stochastisches Modell überführt, um Simulation mit realistischen Verzögerungen und Verlusten durchführen zu können. Es wurde auch ein Modell eines hybriden terrestrisch-satellitengestützten Kommunikationsnetzes entwickelt, das ein dediziertes LTE-Netz mit der LEO-Infrastruktur kombiniert.

Aufbau eines dynamischen Stromnetzmodells

Es basiert auf einem IEEE-Benchmark mit drei schwarzstartfähigen Anlagen und einer zentralen Regelung von Spannung und Frequenz.

Integration der entwickelten Modelle zur Kommunikation und Stromnetz in einer gekoppelten Co-Simulation

Die Kopplung erfolgt über den Functional Mockup Interface (FMI) Standard, indem das Stromnetzmodell in eine eigenständige Co-Simulationskomponente exportiert und anschließend über ein dediziertes Modul in den Kommunikationssimulator importiert wird.

Definition relevanter Simulationsszenarien und Durchführung der Simulationen in mehreren Iterationen.

Auswertung der Simulationen und Bestimmung der quantitativen Anforderungen mitunter durch eine erweiterte Sensitivitätsanalyse.

Kostenanalyse, Identifizierung offener Forschungsfragen, Ausarbeitung der Schlussfolgerungen und

Handlungsempfehlungen.

Die dem Projektantrag zugrunde liegende Hypothese, dass LEO-Satellitenkommunikation den Netzwiederaufbau nach einem Blackout unterstützen kann, wurde durch die Ergebnisse der Sondierungsstudie erhärtet. Es konnte gezeigt werden, dass die LEO-basierte Kommunikation in Verbindung mit entsprechend abgestimmten Steuerungssystemen eine praktikable Lösung für die Wiederherstellung des Stromnetzes in Situationen ist, in denen keine terrestrische IKT-Infrastruktur zur Verfügung steht.

Zum Abschluss des Projektes wurde ein von allen Projektpartner gemeinsam erstellter und alle wesentlichen Projektergebnisse umfassender Beitrag zur ACM e-Energy 2026 Konferenz (<https://energy.acm.org/conferences/eenergy/2026/index.php>) eingereicht. Der Beitrag mit dem Titel "Power Grid Black-Start through Resilient LEO Satellite Communication" wurde akzeptiert und wird im Juni 2026 publiziert werden.

Projektkoordinator

- Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.

Projektpartner

- Universität Passau Lehrstuhl für Informatik mit Schwerpunkt Rechnernetze und Rechnerkommunikation
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH