

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

PROJEKT ZUKUNFTSKRAFTWERK PV

**Verbundforschungsprojekt für die
Befähigung von PV-Kraftwerken zur
Übernahme einer ganzheitlichen
Energieversorgung in Kombination mit
fossilen Erzeugern und Speichern;
Teilvorhaben: Erarbeitung
regelungstechnischer Algorithmen zur
Sicherstellung einer Netzstabilität**

Abschlussbericht

Diese Arbeit wurde gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1	Vorwort	8
	Glossar	9
2	Aufgabenstellung - Ziele des Vorhabens	10
3	Voraussetzungen - Stand der Technik zu Vorhabenbeginn	11
4	Projektorganisation- Planung und Ablauf des Vorhabens	13
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	15
6	Wissenschaftliche und technische Projektergebnisse	16
6.1	Projektergebnisse.....	16
6.1.1	Entwicklung des AC-Spannungsquellenverhaltens von Wechselrichtern.....	16
6.1.2	Parallelbetrieb mehrerer Wechselrichter (Multi-WR-Betrieb).....	18
6.1.3	Netzbildungsfähigkeit PV-Wechselrichter.....	22
6.1.4	Verhalten des Wechselrichters mit Spannungsquellen-Charakteristik bei Netzfehlern.....	23
6.1.5	Schiefastproblematik.....	24
6.1.6	Schutzkonzept.....	25
6.1.7	Pendelschwingungen in umrichterdominierten Netzen.....	27
6.1.8	Schwarzstartfähigkeit.....	30
6.1.9	Simulationsmethoden.....	31
6.1.10	Messtechnische Untersuchungen.....	32
6.1.10.1	Beschreibung des Versuchsaufbaus.....	32
6.1.10.2	Untersuchung des AC-Spannungsquellenverhaltens.....	35
6.1.1	Überlastverhalten von Wechselrichtern mit Spannungsquellenverhalten.....	35
6.1.1.1	Lastsprung beim Parallelbetrieb zweier Wechselrichter mit Spannungsquellenverhalten.....	39
6.1.1.2	Erzeugungsausfall beim Parallelbetrieb von einem Wechselrichter mit Spannungsquellenverhalten und einem Dieselgenerator.....	40
6.1.1.3	Übergang zwischen Netzparallelbetrieb und Inselbetrieb.....	42
6.2	Gegenüberstellung der Projektziele und Ergebnisse.....	43
6.3	Studentische Arbeiten.....	45

6.3.1	Masterarbeit „Untersuchungen zur Mittelspannungs-Schutztechnik in Microgrids“, vorgelegt von Moritz Bader	46
6.3.2	Masterarbeit „Output Impedance Dependent Stability Analysis of Droop Controlled Inverters“, vorgelegt von Muhammad Waleed Khan	47
6.3.3	Bachelorarbeit „Entwurf und Parametrierung eines Sekundärreglers für Microgrids mit optionaler Synchronisierungsfunktion zur Koppelung elektrischer Teilnetze“, vorgelegt von Bela Mara Martes Truschenski	48
6.4	Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	49
7	Vorhabensspezifische Anlagen und sonstige Vorhabenskosten.....	50
7.1	Position 1: Testeinrichtung (1-MVA-Wechselrichter)	50
7.1.1	Beschreibung – Aufbau und Zweck der Position 1	50
7.1.2	Warum war die Beschaffung der Position 1 notwendig?	50
7.1.3	Wie wurde die Position 1 eingesetzt?.....	50
7.1.4	In welchen Projekten hat die Positionen 1 Anwendung gefunden?	51
7.1.5	Welche Publikationen wurden durch die Position 1 ermöglicht?.....	51
7.2	Position 2: Simulationssoftware (VIAvento)	51
7.2.1	Beschreibung – Aufbau und Zweck der Position 2	51
7.2.2	Warum war die Beschaffung der Position 2 notwendig?	52
7.2.3	Wie wurde die Position 2 eingesetzt?.....	52
7.2.4	In welchen Projekten hat die Positionen 2 Anwendung gefunden?	52
7.2.5	Welche Publikationen wurden durch die Position 2 ermöglicht?.....	52
7.3	Position 3 (Wetterstation).....	52
7.3.1	Beschreibung – Aufbau und Zweck der Position 3	52
7.3.2	Warum war die Beschaffung der Position 2 notwendig?	53
7.3.3	Wie wurde die Position 3 eingesetzt?.....	53
7.3.4	In welchen Projekten hat die Position 3 Anwendung gefunden?	53
7.3.5	Welche Publikationen wurden durch die Position 3 ermöglicht?.....	53
7.4	Sonstige unmittelbare Vorhabenskosten	53
8	Fortschritt von dritter Seite auf dem Gebiet des Vorhabens	54
9	Erfolge und geplante Veröffentlichungen	55
10	Resumee und Ausblick.....	56
11	Danksagung.....	57