



VDE Evaluierungsbericht / VDE Evaluation Report

Validierung des Simulationsmodells gemäß den Anforderungen der FGW TR4 Rev. 10
Validation of the simulation model according to the requirements of FGW TG4 Rev. 10

Evaluierungsbericht Nr. Evaluation Report No.:	325091-RE-2
VDE-Aktenzeichen VDE File No.:	5001205-8210-0001/325091
Ausstellungsdatum Date of issue	2024-11-25
Evaluierer Evaluator	VDE Renewables GmbH
Adresse Evaluierer Address Evaluator	Siemensstrasse 30 63755 Alzenau
Hersteller Manufacturer	Fronius International GmbH
Hersteller Adresse Manufacturer's address	Froniusstraße 1 4643 Pettenbach, Austria
EZE-Typ PGU type	PV-Wechselrichter (Typ 2) PV inverter (type 2)
Produktbezeichnung Product description	Fronius Eco 25.0-3-S Fronius Eco 27.0-3-S
Angewandte Norm(en) Applied standard(s)	FGW e.V. – Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 4, Revision 10, 05.04.2022 VDE (FNN) – VDE-AR-N 4110, Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung), September 2023

Geprüft und ausgestellt von / Tested by....:		
Name / Name, Unterschrift / Signature	Ömer Kurt (Autorisierung des Berichtes Authorization of test report)	
Funktion / Function	Prüfingenieur / Testing engineer	
Überprüft von / Verified by		
Name / Name, Unterschrift / Signature	Emre Bayram	
Funktion / Function	Fachzertifizierer / Technical Certification Officer	

Bericht Nr. Report No.:	325091-RE-2	Seite Page	1	von of	54
Haftungsausschluss / Disclaimer: Dieser Evaluierungsbericht enthält das Ergebnis einer einmaligen Untersuchung an dem zur Prüfung vorgelegten Erzeugnis. Ein Muster dieses Erzeugnisses wurde geprüft, um die Übereinstimmung mit den nachfolgend aufgeführten Normen bzw. Abschnitten von Normen festzustellen. Der Evaluierungsbericht berechtigt Sie nicht zur Benutzung eines Zertifizierungszeichens des VDE und berücksichtigt ausschließlich die Anforderungen der unten genannten Regelwerke. Wenn gegenüber Dritten auf diesen Evaluierungsbericht Bezug genommen wird, muss dieser Evaluierungsbericht in voller Länge an gleicher Stelle verfügbar gemacht werden. This evaluation report contains the result of a singular investigation carried out on the product submitted. A sample of this product was tested to found the accordance with the thereafter listed standards or clauses of standards resp. The evaluation report does not entitle for the use of a VDE Certification Mark and considers solely the requirements of the specifications mentioned below. Whenever reference is made to this evaluation report towards third party, this test report shall be made available on the very spot in full length.					



Mögliche Prüfergebnisse <i>Possible test case verdicts:</i>	
Prüfung nicht anwendbar <i>Test case does not apply to the test object :</i>	N/A
Prüfung erfüllt (positiv) <i>Test object does meet the requirement..... :</i>	P (Pass)
Prüfung nicht erfüllt (negativ) <i>Test object does not meet the requirement :</i>	F (Fail)

Abschließendes Prüfergebnis <i>Final Verdict:</i>	☒	P	☐	F
Bemerkung / <i>Remark</i>	<ul style="list-style-type: none">- Es handelt sich bei diesem Evaluierungsbericht in Kombination mit dem Einheitenzertifikat um die Verlängerung des Einheitenzertifikats mit der ID 40050403 Rev. 2. Da sich technologisch keine Veränderungen an den Einheiten ergeben haben, stützt sich die Erstellung dieses Evaluierungsberichts teilweise auf frühere Prüfergebnisse und Herstellererklärungen.- Siehe Bemerkungen in Tabelle 1			



Durchgeführte Prüfungen / Performed tests			
Abschnitt Clause	Prüfanforderungen Requirement + Test	Anmerkung Remark	Beurteilung Verdict
2.2	Dokumentation des Simulationsmodells	-	P
3.3	Validierung der dynamischen Netzstützung	-	P
3.4	Validierung des Wirk- und Blindleistungsregelverhalten	Bemerkung 1, 2	P
3.5	Schutzkomponenten und Fehlererkennung	Bemerkung 3	N/A
3.6.2	Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung	-	P
3.6.3	Plausibilisierung des quasistationären Betriebes		P
3.6.4	Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen (Praxistauglichkeit)	Bemerkung 4	P
3.6.5	Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz	Bemerkung 5	N/A
Bemerkung 1) <u>Verfahren „Q(P)-Kennlinie“</u> Die Q(P)-Regelung im Rahmen der Messungen nicht geprüft. Informativ: Gemäß /TR3/ ist die Messung der Q(P)-Regelung optional. 2) <u>Verfahren „Q(U)-Kennlinie“</u> Die Standard-Q(U)-Kennlinie nach /VDE AR-N 4110/ wurde im Modell hinterlegt. Die Stützpunkte der Kennlinie ist durch den Anwender nicht verstellbar. 3) <u>Schutzeinrichtung</u> Die Schutzeinstellwerte wurden nicht im Modell implementiert. Unabhängig davon ist zu sagen, dass bei Einsatz dieser WR in EZA, die ins MS-Netz einspeisen, ein „externer“ bzw. „zwischenlagerter“ Entkopplungsschutz (NA-Schutz) erforderlich ist, siehe hierzu /VDE-TR8/. 4) <u>Nullsystem</u> Das Modell hat keinen Signalausgang für die Spannung und den Strom im Nullsystem. Daher wurde die Plausibilität des Modells bei Tests P5.01 und P5.10 nur im Mit- und Gegensystem überprüft. 5) <u>Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz</u> Die Plausibilitätstests zur Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz sind für /VDE AR-N 4110/ optional. Im Kapitel wurde die P(f)-Kennlinie für Einzelmodell geprüft und validiert.			

Tabelle 1 – Durchgeführte Prüfungen / Performed tests



Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines	5
1.1	Einleitung	5
1.2	Umfang der Modellvalidierung	6
1.3	Technische Richtlinien Technische Richtlinien und Bewertungsgrundlagen	7
1.4	Im Evaluierungsbericht verwendete Dokumente	8
1.5	Abkürzungen und Definitionen	9
1.6	Zusammenstellung der Bewertungsgrundlagen	10
2.	Simulationsmodell	11
2.1	Allgemeine Angaben zum Simulationsmodell	11
2.2	Dokumentation des Simulationsmodells	14
3.	Nachweisführung	15
3.1	Einleitende Bemerkungen	15
3.2	Simulationsumgebung zur Validierung des Modells	16
3.3	Validierung der dynamischen Netzstützung	17
3.3.1	Beschreibung des Validierungsverfahren	18
3.3.2	Bewertung der LVRT / HVRT-Messungen	20
3.3.3	Bewertung der Ergebnisse der Validierung	20
3.4	Validierung des Wirk- und Blindleistungsregelverhalten	21
3.5	Schutzkomponenten und Fehlererkennung	24
3.6	Plausibilitätsprüfungen	25
3.6.1	Allgemeines	25
3.6.2	Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung	25
3.6.3	Plausibilisierung des quasistationären Betriebes	28
3.6.4	Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen (Praxistauglichkeit)	29
3.6.5	Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz	31
4.	Anwendung des Simulationsmodells für die Produktfamilie Fronius Eco	32
4.1	Übertragbarkeit der Ergebnisse	32
4.2	Gültigkeitsbereich	32
5.	MD5-Prüfsumme	33
6.	Anhang	34
6.1	Modelldokumentation – Fronius Eco	34
6.2	Validierungsergebnisse für Typ-2-EZE	48
6.3	Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen des Einzelmodells	50



1. Allgemeines

1.1 Einleitung

Gemäß den aktuellen Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittel-, Hoch- oder Höchstspannungsnetz in Deutschland /4110, 4120, 4130/ ist für jede Erzeugungseinheit (z.B. Windenergieerzeuger, Solar-Wechselrichter...) ein typspezifisches Einheitenzertifikat erforderlich, in welchem durch die Zertifizierungsstelle

- die Konformität zu den Anforderungen des Netzzugangs nachgewiesen wird
- ein vom Hersteller der Erzeugungseinheit einzureichendes Simulationsmodell hinsichtlich der korrekten Wiedergabe der Eigenschaften der Erzeugungseinheit am Netz validiert wird

Bewertet wird in diesem Evaluierungsbericht die Konformität zu den Anforderungen an das Simulationsmodell der Erzeugungseinheit (EZE) zur Nachbildung seiner Netzeigenschaften. Basis dafür ist die aktuelle Version der technischen Richtlinie FGW /TR4/. Die Validierung erfolgt anhand folgender Punkte:

- Vergleich der Simulationsergebnisse mit den entsprechenden Messergebnissen aus den Prüfungen nach /TR3/
- Plausibilität der Simulationsergebnisse für verschiedene Testspezifikationen (Sollwertvorgaben, Netzzustände)
- Begutachtung des offenen Modells

Die für das Einheitenzertifikat (EHZ) notwendige Bewertung der Konformität der EZE zu den Anforderungen der gültigen Richtlinien erfolgt in einem gesonderten Bericht (/VDE-TR8/).



1.2 Umfang der Modellvalidierung

Die Validierung bzw. Plausibilisierung des Rechenmodells der EZE erfolgt gemäß den Vorgaben der Kapitel 7, 8 und 9 der /TR4/. Im Rahmen der Modellvalidierung wurden die folgenden Testfälle simuliert und mit Messergebnissen aus den Prüfungen nach /TR3/ verglichen.

Umfang der Validierung			
Test	Kap. /TR3/	Kap. /PB-AIT/	Validiert bzw. plausibilisiert
Validierung der dynamischen Netzstützung	4.6	12	☒
Validierung des Wirk- und Blindleistungsregelverhalten			
Wirkleistung P – Einschwingzeit	4.1.2	7.2	☒
$P(f)$ -Kennlinie – Überfrequenz	4.1.3	7.3.3	☒
$P(f)$ -Kennlinie – Unterfrequenz	4.1.3	7.3.4	☒
Q-Sollwertvorgabe	4.2.4	8.4	☒
Blindleistungs-Spannungskennlinie $Q(U)$	4.2.5	8.5	☒
Blindleistungs-Wirkleistungskennlinie $Q(P)$	4.2.6	-	☐
Schutzkomponenten und Fehlererkennung	6.1.5	7.3	☐
Plausibilitätsprüfungen			
Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung	-	-	☒
Plausibilisierung des quasistationären Betriebes	-	-	☒
Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen (Praxistauglichkeit)	-	-	☒
Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz	-	-	☐

Tabelle 2 – Umfang der Validierung



1.3 Technische Richtlinien Technische Richtlinien und Bewertungsgrundlagen

Referenz	Literatur
/IEC 61400-27-1/	IEC 61400-27-1:2020 "Wind energy generation systems - Part 27-1: Electrical simulation models - Generic models", Juli 2020
/IEC 61400-27-2/	IEC 61400-27-2:2020 "Wind energy generation systems – Part 27-2: Electrical simulation models - Model validation", Juli 2020
/TR3/ ¹⁾	Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.): Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 3 – Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Revision 25 Berlin 01.09.2018
/TR4/	Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.): Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 4 – Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen Speicher sowie deren Komponenten, Revision 10 Berlin: 05.04.2022
/TR8/	Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.): Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten, –anlagen und Speicher sowie für deren Komponenten Teil 8 - Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz, Revision 9. Berlin: 01.02.2019
/VDE AR-N 4110/	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN): VDE-AR-N 4110, Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung), September 2023
Bemerkung ¹⁾ Die hier angegebene Version der /TR3/ bezieht sich auf die in den zugrundeliegenden Prüfberichten /PB-AIT/ angewandte Version. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Prüfberichts lag bereits die Rev. 26 vor.	

Tabelle 3 – Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien



1.4 Im Evaluierungsbericht verwendete Dokumente

Referenz	Inhalt	Dokumentennummer / Verweis
/H1/	Allgemeine Beschreibung der EZE Eco 25 und 27	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28460_Beschreibung der EZE_V0.2.pdf (07.12.2021 ²⁾)
/H2/	Beschreibung Schutz-Technik,-Einstellungen, Zuschaltbedingungen und Kuppelschalter	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28464_Schutzrichtung und Zuschaltbedingungen.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H3/	Blindleistungsbereitstellung	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28462_Blindleistungsbereitstellung.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H4/	Blindleistung nach Sollwertvorgabe	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28461_Blindleistung nach Sollwertvorgabe.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H5/	Quasistationärer Betrieb	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28463_Quasistationärer Betrieb_V0.2.pdf (19.11.2021 ¹⁾)
/H6/	Wirkleistung Allgemein (Abhängigkeiten, Gradienten)	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28465_Wirkleistung.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H7/	Wirkleistung in Abhängigkeit der Nennfrequenz	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28466_Wirkleistungsabgabe in Abhängigkeit der Netzfrequenz.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H8/	Wirkleistung nach Sollwertvorgabe	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28467_Wirkleistung nach Sollwertvorgabe.pdf (18.07.2016 ¹⁾)
/H9/	Verhalten bei Störungen am Netz	Herstellereklärung_Fronius Eco_TR28468_Dynamische Netzstützung.pdf (18.07.2019 ¹⁾)
/H10/	Beschreibung des Simulationsmodells von Fronius Eco 27.0/25.0 kW	Modellbeschreibung, Version 03 von 06/2019 „FRONIUS_ECO_ModelDescription.pdf
/H11/	Herstellereklärung Priorisierung von Wirkleistungsvorgaben der VDE FNN	Herstellereklärung Priorisierung von Wirkleistungsvorgaben.pdf (21-08-2024 ¹⁾)
Bemerkung <ul style="list-style-type: none">¹⁾ Das angegebene Datum entspricht dem innerhalb des pdf-Dokuments.²⁾ Datum der digitalen Signatur.- Die Dokumente wurden auf Aktualität und Plausibilität überprüft.- Die oben aufgeführten Herstellereklärungen sind der Zertifizierungsstelle als pdf-Files übergeben worden.		

Tabelle 4 – Herstellereklärungen

Weitere Dokumente, die im Rahmen der Konformitätsbewertung dem Nachweis von Prüfkriterien dienen, sind in folgender Tabelle abgelegt:

Referenz	Dokumente
/PB-AIT/	Bestimmung der elektrischen Eigenschaften des PV-Wechselrichters "Fronius Eco 27.0-3-S" nach Prüfnorm: FGW TR3 Rev.25 AIT Austrian Institute of Technology interne Projektnr. SGP-012297_0-R4 vom 25.07.2019
/VDE-TR8/	VDE-Evaluierungsbericht – Beurteilung der Konformität der EZE zu den Anforderungen aus FGW TR 8 Rev. 9“, Evaluierungsberichtsnummer: 325091-RE-1, 25.11.2024

Tabelle 5 – Verwendete Dokumente

Bericht Nr. Report No.:	325091-RE-2	Seite Page	8	von of	54
----------------------------	-------------	---------------	---	-----------	----



1.5 Abkürzungen und Definitionen

Kurzzeichen	Erklärung
EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit
FRT	Fault RideThrough
HVRT	High Voltage Ride Through
HW	Hardware
LVRT	Low Voltage Ride Through
MPP-Tracking	Maximum Power Point Tracking
MS	Mittelspannung
NAP	Netzanschlusspunkt
NS	Niederspannung
P_{rE}	Bemessungswirkleistung
PV	Photovoltaik
RMS	Root Mean Square
S_{rE}	Bemessungsscheinleistung
SW	Software
TL	Teil-Last
Typ-1-EZE	EZE die zur Erzeugung elektrischer Energie ausschließlich Synchrongeneratoren beinhalten, die direkt mit dem Netz verbunden sind
Typ-2-EZE	Erzeugungseinheiten, die nicht die Bedingungen für Typ 1 entsprechen
u.e.	untererregt
ü.e.	übererregt
U_n	Nennspannung
VL	Voll-Last
WR	Wechselrichter

Tabelle 6 – Abkürzungsverzeichnis



1.6 Zusammenstellung der Bewertungsgrundlagen

Der folgende Evaluierungsbericht zur Zertifizierung des Simulationsmodells vom PV-Wechselrichter Fronius Eco orientiert sich an den Vorgaben der /TR4/ Kapitel 7, 8, 9 und. der /VDE AR-N 4110/ Kapitel 12.2.6.

Kapitel-Nummer	Kapitelüberschrift	Bewertungsgrundlage
2.2	Dokumentation des Simulationsmodells	/TR4/, Kapitel 7.2 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.3	Validierung der dynamischen Netzstützung	/IEC 61400-27-2/, Kapitel 6 /TR4/, Kapitel 8.2.1.1, 8.2.1.2 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.4	Validierung des Wirk- und Blindleistungsregelverhalten	/TR4/, Kapitel 8.2.1.3, 8.2.1.4 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.5	Schutzkomponenten und Fehlererkennung	/TR4/, Kapitel 8.2.1.5, 8.2.1.6 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.6.2	Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung	/TR4/, Kapitel 9.2.2.2 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.6.3	Plausibilisierung des quasistationären Betriebes	/TR4/, Kapitel 9.2.2.2.2 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.6.4	Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen (Praxistauglichkeit)	/TR4/, Kapitel 9.2.2. /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6
3.6.5	Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz	/TR4/, Kapitel 9.2.2.4 /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6

Tabelle 7 – Bewertungsgrundlagen

2. Simulationsmodell

2.1 Allgemeine Angaben zum Simulationsmodell

Das Simulationsmodell der PV-Wechselrichter der Fronius ECO Familie ist in MATLAB-Simulink implementiert. Für die Modellvalidierung hat der Hersteller das folgende Simulationsmodell zur Verfügung gestellt:

Angaben zum Simulationsmodell		
Softwareumgebung / Hersteller	MathWorks – MATLAB – Simulink – SimPowerSystems	
Software-Version der Softwareumgebung	Matlab: 9.4 (R2018a) (64 bit) oder höher Simulink Version 9.1 (R018a) oder höher	
Dateiname	Das Modell besteht aus insgesamt - 249 mex-Files (Ordner: mexfiles) - ECO_EZE.slx - ECO_EZA.slx - Fronius_ECO.JPG	
Checksumme (MD5)	FRONIUS_ECO.7z a05f8c48599a9fb2bc529ea9cf78bd59	
Modelltyp	☐ EMT-Modell	☒ RMS-Modell
Schrittweite	0,1 ms	
Fehlerfälle	Symmetrische / Unsymmetrische Fehler	
Wählbare Wirkleistungsregelmodi	- Wirkleistung nach Sollwertvorgabe - Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz	
Wählbare Blindleistungsregelmodi	- Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ (fest) - Blindleistung Qabs (fest) - Blindleistung Qrel (fest) - Blindleistungs-Spannungskennlinie $Q(U)$ - Keine Blindleistungseinspeisung	

Tabelle 8 – Angaben zum Simulationsmodell

Das Simulationsmodell wurde vom Hersteller entwickelt. Im Folgenden sind Screenshots vom Modell zu sehen:

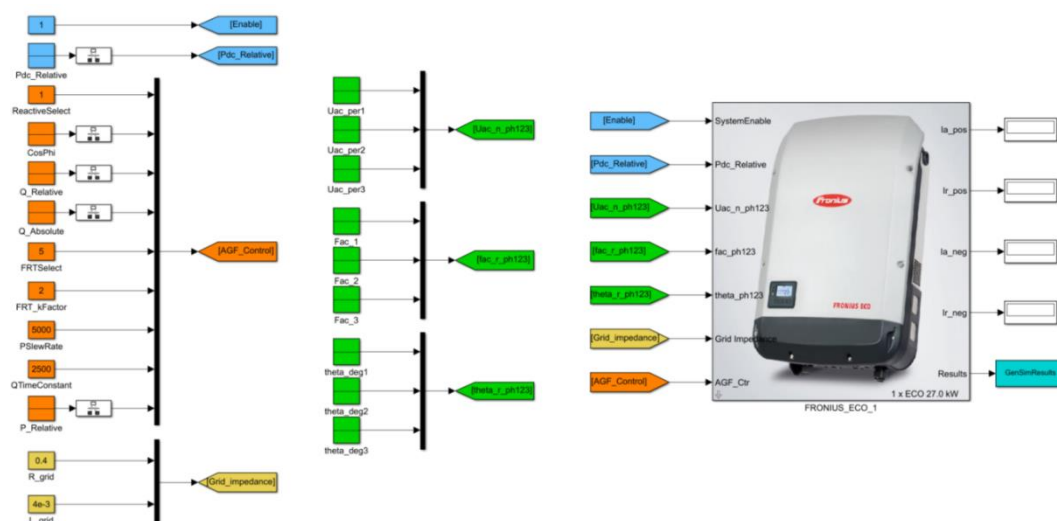


Abbildung 1 – Simulationsmodell Fronius Eco (EZE)

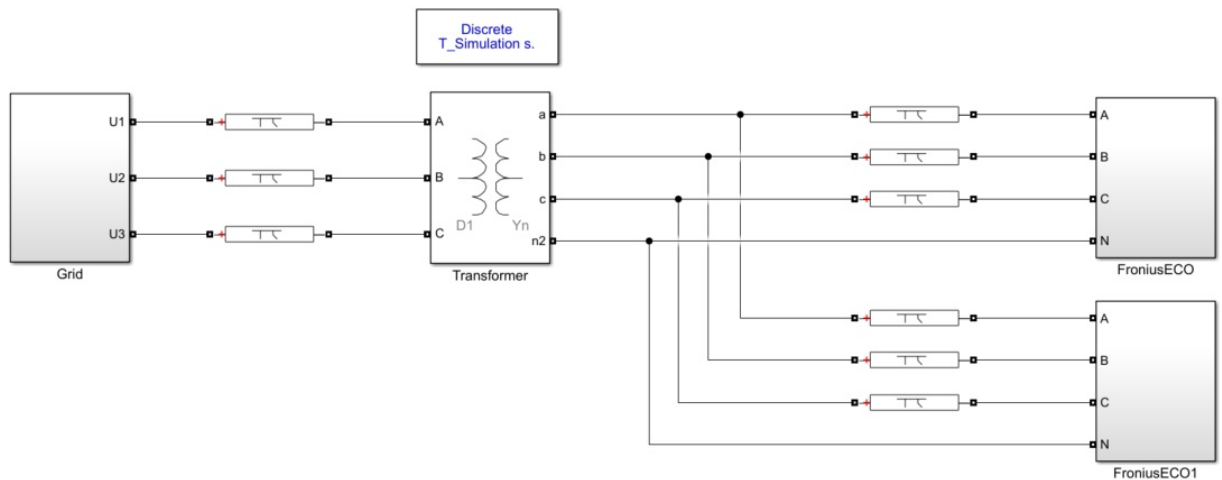


Abbildung 2 – Simulationsmodell Fronius Eco (EZA)

Die Fronius Eco-Familie besteht aus zwei verschiedenen Wechselrichtern: Fronius Eco 27.03-S und Fronius Eco 25.0.3-S. Es können im Modell beide Wechselrichtertypen abgebildet werden. Hierzu kann in der Modellmaske der gewünschte Wechselrichtertyp (siehe Abbildung 3) ausgewählt werden.

Es ist im Modell auch möglich „parallele Maschinen“ abzubilden – d.h. es können mehrere Wechselrichter miteinander gebündelt werden; hierfür kann der Parameter „Select number of Inverters in parallel“ bis maximal 20 eingestellt werden

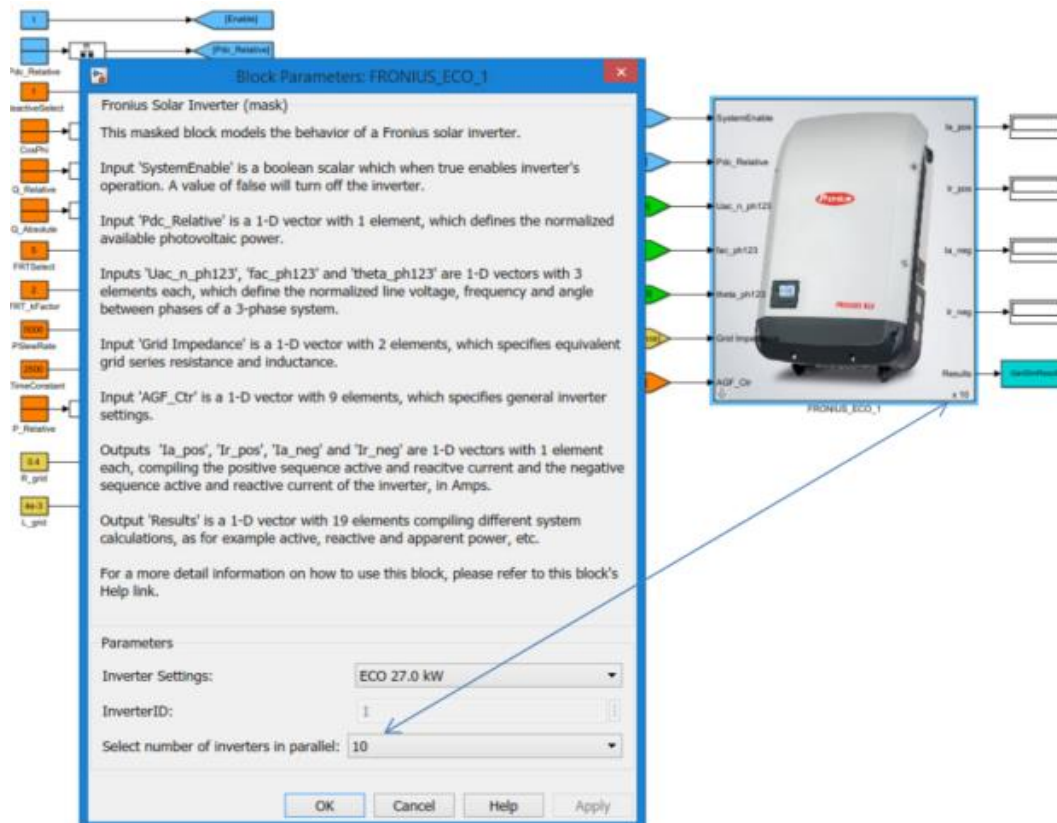


Abbildung 3 – Fronius Eco - Block Parameters



Es können mehrere Einheiten nachgebildet werden; hierzu wird die box FRONIUS_ECO_1 durch copy / paste dupliziert. Es können maximal 249 Wechselrichter in einer Anlage (in einem einzigen Simulationsmodell) nachgebildet werden; jeder Wechselrichter bekommt eine entsprechende Mex-Datei zugewiesen. Falls eine höhere Anzahl an Wechselrichter notwendig ist, ist der Hersteller zu kontaktieren, damit weitere Mex-Files generiert werden.

Das Modell beinhaltet zwei Simulink-Modelle. Im „FroniusInverter_PGU.slx“ wurde ein Fronius PV-WR mit DC-Modul und externem Netz abgebildet. Im „FroniusInverter_PGS.slx“ wurde eine PVA mit 5 x PV-WR beispielhaft dargestellt.

Folgenden Funktionen/Eigenschaften der EZE wurden im Modell nachgebildet:

Funktionsumfang des Modells		
Funktion	Im Modell implementiert	Validiert
Wirkleistungsabgabe in Abhängigkeit des Primärenergieangebots	☒	☒
Leistungsbegrenzter Betrieb durch Sollwertvorgabe	☒	☒
Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz	☒	☒
Blindleistung nach Sollwertvorgabe	☒	☒
Q(U)-Regelung	☒	☒
Q(P)-Regelung	☐	☐
Dynamische Netzstützung	☒	☒ ¹⁾
Schutzeinrichtungen und -einstellungen.	☐ ²⁾	☐
Bemerkung		
¹⁾ Das Modell hat keinen Signalausgang für die Spannung und den Strom im Nullsystem. Daher wurde die Plausibilität des Modells bei Tests P5.01 und P5.10 nur im Mit- und Gegensystem überprüft.		
²⁾ Bei Einsatz dieser Fronius Eco WR in EZA ist ein „externer“ bzw. „zwischengelagerter“ Entkuppelungsschutz (NA-Schutz) vorzusehen. Daher wurden Schutzeinrichtungen und -einstellungen nicht im Modell abgebildet.		

Tabelle 9 – Funktionsumfang des Modells

Das Modell ist fähig sowohl quasistationäre (P und Q Regelverhalten) als auch dynamische (FRT) Simulationen durchzuführen. Im Modell kann der Anwender zwischen unterschiedlichen Betriebsmodi der Wirk- und Blindleistungsregelmodi

Das Modell ermöglicht über Parameter verschiedenen FRT-Reaktionsmodi (Vollständige bzw. eingeschränkte dynamische Netzstützung usw.) nach einzustellen. Die FRT-Schwellen und der k-Faktor sind für den Anwender zugänglich und veränderbar.

Die Modellparameter des EZE-Modells werden in der Modellbeschreibung /H10/ detailliert beschrieben.



2.2 Dokumentation des Simulationsmodells

Der Umfang bzw. die Vollständigkeit des Simulationsmodells ist anhand der Kriterien der Tabelle 10 zu überprüfen:

Nr.	Bewertungskriterium Dokumentation Simulationsmodell (/TR4/, Kapitel 7.2)	Beurteilung
1.	Information zu folgenden Punkten vorhanden: ☒ Beschreibung der Funktionalität ☒ Beschreibung von Schnittstellen ☒ Nennung der Softwareversion der Simulationssoftware und Angaben zur Kompatibilität. ☒ Prüfsumme der Dateien des Modells.	P
2.	Beschreibung der Modellparameter des EZE-Modells sowie Angabe zulässiger Einstellbereiche und deren Einheiten	P
3.	Angabe der entsprechenden Einstellgrößen / Parameter in der realen EZE	P
Bemerkung - Die Anforderungen an Modelldokumentation werden erfüllt.		

Tabelle 10 – Überprüfung Dokumentationsumfang Simulationsmodell



3. Nachweisführung

3.1 Einleitende Bemerkungen

Unabhängigkeit der Modellvalidierung

Nach /TR8/ Kap. A 4.6.5 ist von der Zertifizierungsstelle sicherzustellen, dass die Mitarbeiter der Zertifizierungsstelle bzw. die für die Modellvalidierung beauftragten Experten nicht an der Modellerstellung teilgenommen haben.

Dies wird hiermit bestätigt.

Validierung nach /TR4/

Gemäß /TR8/, Kapitel 2.1 und 2.3.3 erfolgt die Validierung des Simulationsmodells gemäß den Vorgaben der /TR4/, Kapitel 8, 9 und /IEC 61400-27-1/ 6.4. Die folgende Kapiteleinteilung richtet sich nach den Vorgaben der /TR4/ und beinhaltet Aussagen zum Modellverhalten im Normalbetrieb wie im Fehlerfall bei symmetrischen und unsymmetrischen Spannungseinbrüchen sowie zur Gültigkeit des Modells.

Sonstiges

Das Modell ist in den statischen wie dynamischen Rechnungen so parametrisiert worden, dass der Wechselrichter Fronius Eco 27.0-3-S nachgebildet wurde. Grund dafür ist, dass an diesem Wechselrichtertypen die Typprüfung nach /TR3/ durchgeführt wurde (siehe dazu auch /PB-AIT/)



3.2 Simulationsumgebung zur Validierung des Modells

Um die Simulationsmodelle der in Kapitel 2.1 aufgeführten EZE für den Betrieb im Fehlerfall zu validieren, wurde eine Simulationsumgebung generiert, die den prinzipiellen Aufbau der Testumgebung der Spannungseinbrüche wiedergibt.

In /PB-AIT/ sind detaillierte Angaben zum Versuchsaufbau und Versuchsablauf wie auch zur Dimensionierung der einzelnen Messmittel (Prüftransformatoren, Netznachbildung etc.) gemacht worden. Die Nachbildung des Prüfaufbaus stützt sich auf diese Angaben. In Tabelle 11 sind die Ersatzdaten der Messmittel der Simulationsumgebung zusammengestellt. Sie entsprechen, wenn nicht anders vermerkt, den Angaben aus /PB-AIT/

Elektrische Größe nach /PB-AIT/	Simulationsumgebung 1	Simulationsumgebung 2
AC-Spannung	230 V _{L-E}	230 V _{L-E}
Netzimpedanz (R _n , X _n)	R _n = 0,1217 Ω X _n = 1,5067 Ω	R _n = 0,118 Ω X _n = 1,179 Ω
Netzfrequenz	S _k = 104,991 kVA	S _k = 135 kVA

Tabelle 11 – Prüfbedingungen allgemein nach /PB-AIT/



3.3 Validierung der dynamischen Netzstützung

In diesem Kapitel wird das dynamische Verhalten des Modells bei Störungen im Netz bewertet. Der Ablauf der Simulationen orientiert sich an der Versuchsdurchführung der Messungen (Siehe /PB-AIT/ Kapitel 12).

Die folgenden LVRT- und HVRT-Versuche wurden für die Validierung verwendet:

Nr. nach /TR3/ Kap. 4.6	Einbruchtiefe	Fehlerart	Last	k-Faktor	Fehlerdauer nach VDE AR-N 4110	Referenzversuch in /PB-AIT/
0.1	$U_{\text{rest}} < 5 \%$	3p	VL	2	nicht gefordert	
0.2	$U_{\text{rest}} < 5 \%$	3p	TL	2		
0.3	$U_{\text{rest}} < 5 \%$	2p	VL	2		
0.4	$U_{\text{rest}} < 5 \%$	2p	TL	2		
25.1	$20 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 30 \%$	3p	VL	2	$\geq 354 \text{ ms}$ (bei 20 %)	1.1.2
25.2	$20 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 30 \%$	3p	TL	2	$\geq 760 \text{ ms}$ (bei 30 %)	1.1.3 1.1.4 1.1.5
25.4	$20 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 30 \%$	2p	VL	2	$\geq 452 \text{ ms}$ (bei 20 %)	1.1.7 1.1.8
25.5	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	2p	TL	2	$\geq 915 \text{ ms}$ (bei 30 %)	1.1.9 1.1.10
50.1	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	3p	VL	2	$\geq 1371 \text{ ms}$ (bei 45 %)	1.1.12 1.1.13
50.2	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	3p	TL	2	$\geq 1982 \text{ ms}$ (bei 60 %)	1.1.14 1.1.15
50.3	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	2p	VL	2	$\geq 1610 \text{ ms}$ (bei 45 %)	1.1.17 1.1.18
50.4	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	2p	TL	2	$\geq 2305 \text{ ms}$ (bei 60 %)	1.1.19 1.1.20
50.5	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	3p	VL	eingeschr. dyn. Netzstützung	$\geq 1371 \text{ ms}$ (bei 45 %) $\geq 1982 \text{ ms}$ (bei 60 %)	1.1.21 1.1.22
50.6	$45 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 60 \%$	2p	VL	eingeschr. dyn. Netzstützung	$\geq 1610 \text{ ms}$ (bei 45 %) $\geq 2305 \text{ ms}$ (bei 60 %)	1.1.23 1.1.24
75.1	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	3p	VL	2	$\geq 2389 \text{ ms}$ (bei 70 %) $\geq 2796 \text{ ms}$ (bei 80 %)	1.1.26 1.1.27
75.2	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	3p	TL	2		1.1.28 1.1.29
75.3	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	3p	TL / ind	2		1.1.30 1.1.31
75.4	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	3p	TL / kap	2		1.1.32 1.1.33
75.5	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	3p	TL	4		1.1.34 1.1.35
75.6	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	2p	VL	2	$\geq 2764 \text{ ms}$ (bei 70 %) $\geq 3000 \text{ ms}$ (bei 80 %)	1.1.37 1.1.38
75.7	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	2p	TL	2		1.1.39 1.1.40
75.8	$70 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 80 \%$	2p	TL	4		1.1.41 1.1.42



Nr. nach /TR3/, Kap. 4.6	Einbruchstiefe	Fehlerart	Last	k-Faktor	Fehlerdauer nach VDE AR-N 4110	Referenzversuch in /PB-AIT/
80.1	$75 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 85 \%$	3p	VL	eingeschr. dyn. Netzstützung	$\geq 2593\text{ms}$ (bei 70 %) $\geq 3000 \text{ ms}$ (bei 80 %)	1.1.44 1.1.45
80.2	$75 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 85 \%$	2p	VL	eingeschr. dyn. Netzstützung	$\geq 3000 \text{ ms}$	1.1.47 1.1.48
85.1	$85 \% \leq U_{\text{rest}} \leq 90 \%$	3p	TL	2	$\geq 60000 \text{ ms}$	1.1.50 1.1.51

Tabelle 12 – Übersichtstabelle der LVRT-Validierung

Nr. nach /TR3/, Kap. 4.6	Einbruchstiefe	Fehlerart	Last	k-Faktor	Fehlerdauer nach VDE AR-N 4110	Referenzversuch in /PB-AIT/
115.1	um $\geq 10 \%$ auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	3p	VL	2	$\geq 5000 \text{ ms}$	1.1.53 1.1.54
115.2	um $\geq 10 \%$ auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	3p	TL	2	$\geq 5000 \text{ ms}$	1.1.55 1.1.56
110.1	um $\geq 10 \%$ auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	2p	VL	2	$\geq 5000 \text{ ms}$	1.1.58 1.1.59
110.2	um $\geq 10 \%$ auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	2p	TL	2	$\geq 5000 \text{ ms}$	1.1.60 1.1.61
110.3	$U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	3p	TL	2	$\geq 60000 \text{ ms}$	1.1.63 1.1.64
110.4	von 1,05 p.u. auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	2p	TL	4	nicht gefordert	
110.5	von 1,05 p.u. auf $U_{\text{rest}} \geq 110 \%$	3p	TL	4	nicht gefordert	

Tabelle 13 – Übersichtstabelle der HVRT-Validierung

3.3.1 Beschreibung des Validierungsverfahren

Für den Vergleich der Ergebnisse von Messung und Simulation der LVRT und HVRT gelten folgende Randbedingungen:

- Die Validierung erfolgt nach /IEC 61400-27-1/
- Verglichen werden die jeweiligen Größen Wirkstrom, Blindstrom, Wirk- und Blindleistung in Form der symmetrischen Komponenten von Simulation und Messung
- Die berechneten Fehlerwerte und Zeitfenster der Berechnung sind in Abbildung 4 und Tabelle 14 zusammengefasst.
- Gemäß Validierungsplan werden für symmetrische wie unsymmetrische bzw. Teil- und Volllast unterschiedliche Spannungseinbruchstiefen in Messung und Simulation miteinander verglichen. Tabelle 12 und Tabelle 13 geben einen Überblick.
- Bei den symmetrischen Spannungseinbrüchen bzw. -erhöhungen werden nur die Mitsystemkomponenten ausgewertet, bei den unsymmetrischen zusätzlich die Gegenkomponenten und –sofern erforderlich –Ergebnisse im Nullsystem
- Um die gleiche Zeitbasis zu erlangen, wird die Rechenschrittweite der Simulation der Abtastrate der Messung angepasst
- Die zeitliche Einteilung der Tests erfolgt gemäß /TR3/, Tbl. 4-65

- Die Toleranzen und Fehlergrenzen wurden /TR4/, Kap. 8.2.2.2 Tbl. 8-2 entnommen, siehe Tabelle 15

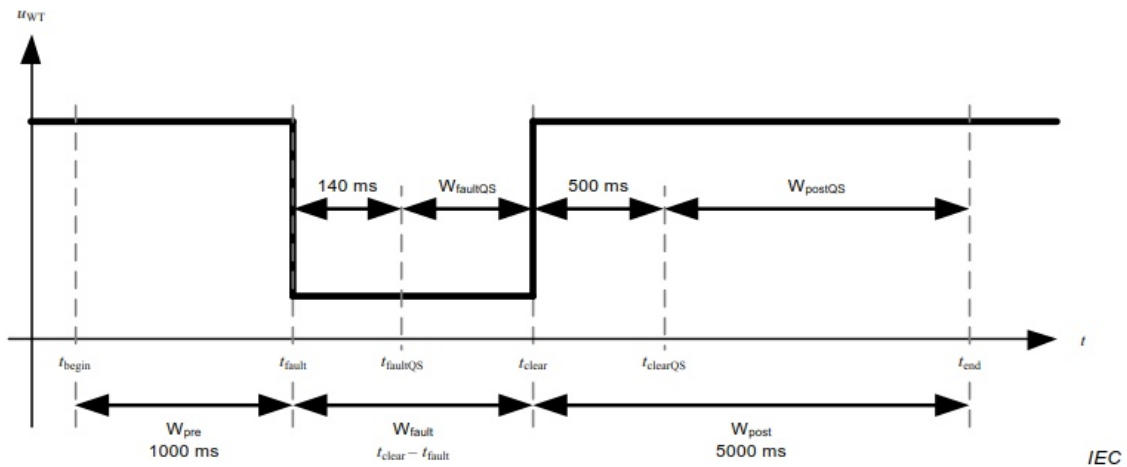


Abbildung 4 – Zeitfenster des Spannungseinbruchs aus /IEC 61400-27-2/

Periode	x_{MXE}	x_{ME}	x_{MAE}
Vorfehler	W_{pre}	W_{pre}	W_{pre}
Fehler	$W_{faultQS}^a$	W_{fault}	$W_{faultQS}$
Nachfehler	W_{postQS}	W_{post}	W_{post}

Tabelle 14 – Zeitfenster für Fehlerberechnung aus /IEC 61400-27-2/

Typ 2 EZE		Mit-und Nullsystem											
		P			Q			I _P			I _Q		
		MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
Zulässige Grenzwert	Pre	0,15	±0,10	0,12	0,15	±0,10	0,12	0,15	±0,10	0,12	0,15	±0,10	0,12
	Fault	0,17	±0,15	0,17	0,17	±0,15	0,17	0,50	±0,30	0,40	0,17	±0,15	0,17
	Post	0,17	±0,15	0,17	0,17	±0,15	0,17	0,17	±0,15	0,17	0,17	±0,15	0,17

Bemerkung

- Die Bewertung des Mitsystems erfolgt für Typ 2 EZE durch Vergleich der berechneten Fehlermaße mit den zulässigen Grenzwerten
- Für das Mitsystem bei 2-phasigen Fehlern ist für die genannten Grenzwerte ein um den Faktor 1,5 größerer Fehler zulässig.
- Für das Gegensystem bei 2-phasigen Fehlern ist für die genannten Grenzwerte ein um den Faktor 2 größerer Fehler zulässig.
- Für den <0,05 p.u. Spannungseinbruch wird der Fehlerbereich nicht bewertet.
- MXE: maximum error between simulation and measurement ($x_{MXE} = \max(|X_E(1)|, \dots, |X_E(N)|)$)
- ME: mean error between simulation and measurement $x_{ME} = \frac{\sum_{n=1}^N X_E(n)}{N}$
- MAE: mean absolute error between simulation and measurement $x_{ME} = \frac{\sum_{n=1}^N |X_E(n)|}{N}$

Tabelle 15 – Zulässige Grenzwerte für Typ 2 EZE aus /TR4/



3.3.2 Bewertung der LVRT / HVRT-Messungen

Im Rahmen der TR3 Typenprüfungen wurde die Fähigkeit der EZE bei Unter- und Überspannungsereignissen gemäß /TR3/ Rev.25 in Verbindung mit /VDE AR-N 4110/ gemessen. Diese Messungen bilden die Grundlage der Validierung des Modells.

Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 8.2.1.1 und 8.2.2.1, ergänzend 5.2.2)	Beurteilung
1.	Elek. Ersatzdaten der Prüfeinrichtung	P
2.	Vollständigkeit der LVRT und HVRT-Tests	P
3.	Vollständigkeit der Auswertungen je Messung (LVRT und HVRT)	P
Bemerkung <u>zu 1:</u> Im Evaluierungsbericht /PB-AIT/ ist das Ersatzschaltbild der Prüfanordnung mit den elektrischen Größen dokumentiert. In Tabelle 11 (Simulationsumgebung 1) sind die Ersatzschaltbildgrößen angegeben. Mit diesen Werten wurden die Simulationen durchgeführt. <u>zu 2:</u> Im Rahmen der TR3 Typenprüfungen wurde der WR- Typ Fronius Eco 27.0-3-S vermessen. Es wurden sowohl symmetrische als auch unsymmetrische Tests durchgeführt. (Für die vollständige Liste der Messungen siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Die Validierung des Modells erfolgte anhand der Messungen von Fronius Eco 27.0-3-S. <u>zu 3:</u> Die Rohdaten der in Tabelle 12 und Tabelle 13 genannten Messungen, sind vollständig und liegen bei der Zertifizierungsstelle vor. Die Testparameter und Messergebnisse sind in Kapitel 12 des Prüfberichts /PB-AIT/ zu finden. Weitere Untersuchungen sind im Evaluierungsbericht /VDE-TR8/ durchgeführt.		

Tabelle 16 – Mindestanforderungen LVRT / HVRT-Messungen

3.3.3 Bewertung der Ergebnisse der Validierung

Der Validierungsergebnisse zu den FRT-Tests sind in Kapitel 6.2 aufgeführt:

Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 8.2.1.2 und 8.2.2.2, ergänzend 5.2.2)	Beurteilung
1.	Korrektheit der im Prüfbericht /PB-AIT/ angegebenen Anfangswerte der transienten Bereiche	P
2.	Einhaltung der Fehlergrenzen für das Mitsystem bei 3-phasigen Fehlern	P
3.	Einhaltung der Fehlergrenzen für das Mit- und Gegensystem bei 2-phasigen Fehlern	P
Bemerkung <u>zu 1:</u> Die Testparameter alle FRT-Messungen im Prüfbericht /PB-AIT/ stimmen mit den festgelegten Einstellungen in Validierungsplan (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13) überein <u>zu 2:</u> Es sind keine Grenzwertüberschreitung festgestellt worden, siehe Kapitel 6.2 <u>zu 3:</u> Die Abweichungen liegen innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen, siehe Kapitel 6.2 - Da die Messungen mit YNd5-Transformator durchgeführt wurden, ist eine Auswertung des Nullsystems nicht erforderlich.		

Tabelle 17 – Validierung Rechenmodell – LVRT-Tests

3.4 Validierung des Wirk- und Blindleistungsregelverhalten

In diesem Kapitel wird das Wirk- und Blindleistungsregelverhalten des Modells bewertet. Für die Bewertung der Einstellgenauigkeit wird die Abweichung zwischen Simulation und Messung im stationären Zustand berechnet. Der stationäre Bereich fängt mit Ende der Einregelzeit der Simulation an und dauert bis Zeitpunkt des darauffolgenden Ereignisses.

Die simulierten und gemessenen Daten wurden jeweils gemäß /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6.3 mit einem gleitenden 5-Sekunden-Mittelwertfilter (arithmetisches Mittel) aufbereitet und die Differenz zwischen gefilterten Simulations- und Messdaten wurde für jeden Zeitschritt bestimmt. Die Abweichung darf im dynamischen Übergangsbereich (z. B. nach einem Sollwertsprung maximal $\pm 15 \% S_{rE}$ und im stationären Bereich maximal $\pm 5 \% S_{rE}$ betragen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 dargestellt.

Test	Kap. /PB-AIT/	Max. Abweichung ΔP [% S_{rE}]		Max. Abweichung ΔQ [% S_{rE}]	
		Sta.	Dyn	Sta.	Dyn
Wirkleistung P – Einstellgenauigkeit	7.2.2	-0,13 %	-0,34 %	-0,27 %	- ¹⁾
Wirkleistung P – Einschwingzeit	7.2.3.1 max. Gra	-0,61 %	-0,94 %	-0,25 %	- ¹⁾
	7.2.3.2 min. Gra	-0,63 %	-0,78 %	-0,25 %	- ¹⁾
$P(f)$ -Kennlinie – Überfrequenz	7.3.3	-0,48 %	-0,64 %	-0,09 %	- ¹⁾
$P(f)$ -Kennlinie – Unterfrequenz	7.3.4	-1,52 %	-1,52 %	-0,09 %	- ¹⁾
Q-Sollwertvorgabe – minimale Einschwingzeit Q_{max} , 50 % P_{rE} ²⁾	8.4.2.1	0,22 %	- ¹⁾	0,69 %	0,98 %
Q-Sollwertvorgabe – Einstellgenauigkeit $Q = 50 \%$, 50 % P_{rE}	8.4.2.2	0,22 %	- ¹⁾	0,48 %	0,63 %
Q-Sollwertvorgabe – minimale Einschwingzeit Q_{max} , 10 % P_{rE} ²⁾	8.4.3.1	-1,41 %	- ¹⁾	1,33 %	3,01 %
Q-Sollwertvorgabe – Einstellgenauigkeit $Q = 50 \%$, 10 % P_{rE}	8.4.3.2	-0,98 %	- ¹⁾	-0,35 %	-0,84 %
Q-Sollwertvorgabe – maximale Einschwingzeit Q_{max} , 50 % P_{rE} ²⁾	8.4.4.3	-1,19 %	- ¹⁾	0,59 %	2,02 %
Q-Sollwertvorgabe – Einstellgenauigkeit $Q = 50 \%$, 50 % P_{rE}	8.4.4.4	0,85 %	- ¹⁾	0,48 %	1,43 %
Q-Sollwertvorgabe – maximale Einschwingzeit Q_{max} , 10 % P_{rE} ²⁾	8.4.5.1	-1,41 %	- ¹⁾	1,33 %	2,72 %
Q-Sollwertvorgabe – Einstellgenauigkeit $Q = 50 \%$, 10 % P_{rE}	8.4.5.2	-0,78 %	- ¹⁾	-0,26 %	0,97 %
Q(U)-Regelung – minimale Einschwingzeit	8.5.2.2	0,29 %	- ¹⁾	2,04 %	4,91 %
Q(U)-Regelung – maximale Einschwingzeit	8.5.2.3	0,29 %	- ¹⁾	3,17 %	5,24 %
Q(P)-Regelung ²⁾	-	-	-	-	-
Bemerkung ¹⁾ Keine Sollwertsprung während des Tests ²⁾ Nach /PB-AIT/ entspricht die Q_{max} bei 50 % P_{rE} 88 %, bei 10 % P_{rE} 100 % der Sollwertvorgabe. ³⁾ Die Q(P)-Regelung im Rahmen der Messungen nicht geprüft. Informativ Gemäß /TR3/ ist die Messung der Q(P)-Regelung optional.					

Tabelle 18 – Einstellgenauigkeit des Wirk- und Blindleistungsregelverhaltens



Ebenfalls sind die gemessenen und simulierten Einschwingzeiten in Tabelle 19 verglichen.

Test	Kap. /PB-AIT/	gemessene Einschwingzeit	simulierte Einschwingzeit
Wirkleistung P – Einschwingzeit (max. Gradient)	7.2.3.1 90 % $\rightarrow$ 0 %	0,767 s	1,2 s
	7.2.3.1 0 % $\rightarrow$ 90 %	0,770 s	1,2 s
Wirkleistung P – Einschwingzeit (min. Gradient)	7.2.3.2 70 % $\rightarrow$ 50 %	15,383 s	20,3 s
	7.2.3.2 50 % $\rightarrow$ 70 %	15,043 s	21,7 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.2.1.1 $Q = 0 \rightarrow Q_{\max(Kap.)}$	0,486 s	0,35 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.2.1.2 $Q_{\max(Kap)} \rightarrow Q_{\max(Ind)}$	1,25 s	0,71 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.2.1.3 $Q_{\max(Ind)} \rightarrow Q = 0$	0,513 s	0,35 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.3.1.1 $Q = 0 \rightarrow Q_{\max(Kap.)}$	0,59 s	0,37 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.3.1.2 $Q_{\max(Kap)} \rightarrow Q_{\max(Ind)}$	0,788 s	0,69 s
Q-Sollwertvorgabe – minimale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.3.1.3 $Q_{\max(Ind)} \rightarrow Q = 0$	0,63 s	0,35 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.4.3.1 $Q = 0 \rightarrow Q_{\max(Kap.)}$	18,59 s	0,37 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.4.3.2 $Q_{\max(Kap)} \rightarrow Q_{\max(Ind)}$	32,56 s	0,35 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 50 % P_{rE}	8.4.4.3.3 $Q_{\max(Ind)} \rightarrow Q = 0$	14,83 s	27,3 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.5.1.1 $Q = 0 \rightarrow Q_{\max(Kap.)}$	19,72 s	29,4 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.5.1.2 $Q_{\max(Kap)} \rightarrow Q_{\max(Ind)}$	33,67 s	66,7 s
Q-Sollwertvorgabe – maximale Ein- schwingzeit $Q_{\max}$, 10 % P_{rE}	8.4.5.1.3 $Q_{\max(Ind)} \rightarrow Q = 0$	20,54 s	33,1 s
Q(U)-Regelung – minimale Ein- schwingzeit	8.5.2.2.1 1,00 $\rightarrow$ 0,97	1,749 s	0,54 s
Q(U)-Regelung – minimale Ein- schwingzeit	8.5.2.2.2 0,97 $\rightarrow$ 1,03	1,742 s	1,1 s
Q(U)-Regelung – minimale Ein- schwingzeit	8.5.2.2.3 1,03 $\rightarrow$ 1,00	1,332 s	0,51 s
Q(U)-Regelung – maximale Ein- schwingzeit	8.5.2.3.1 1,00 $\rightarrow$ 0,97	90 s	60,3 s
Q(U)-Regelung – maximale Ein- schwingzeit	8.5.2.3.2 0,97 $\rightarrow$ 1,03	186 s	121,3 s
Q(U)-Regelung – maximale Ein- schwingzeit	8.5.2.3.3 1,03 $\rightarrow$ 1,00	133 s	66,2 s
Q(P)-Regelung ²⁾	-	-	-
Bemerkung ¹⁾ Keine Sollwertsprung während des Tests ²⁾ Die Q(P)-Regelung im Rahmen der Messungen nicht geprüft. Informativ <i>Gemäß /TR3/ ist die Messung der Q(P)-Regelung optional.</i>			

Tabelle 19 – Einschwingzeit des Wirk- und Blindleistungsregelverhaltens

Bericht Nr. Report No.:	325091-RE-2	Seite Page	22	von of	54
----------------------------	-------------	---------------	----	-----------	----



Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 8.2.1.3 und 8.2.1.4 ergänzend 5.2.2)	Beurteilung
1.	Die Einspeisewirkleistung in Abhängigkeit des Primärenergieangebots ist dargestellt	P
2.	Leistungsbegrenzter Betrieb durch Sollwertvorgabe	P
3.	Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz	P
4.	Blindleistung nach Sollwertvorgabe	P
5.	Q(U)-Regelung	P
6.	Q(P)-Regelung	N/A
Bemerkung		
<u>zu 1:</u> Das Primärenergieangebot kann im Modell nicht eingestellt werden; es wird im Modell die AC Ausgangsleistung vorgegeben. Die maximale Wirkleistung beträgt 27 kW. Die Steilheit der Wirkleistung kann durch den Parameter „PSlewRate“ verändert werden. Der Parameter „PSlewRate“ wurde bei der Simulation der maximalen Wirkleistungsabgabe auf den Default-Wert 5000 eingestellt.		
<u>zu 2:</u> Die Steilheit der Wirkleistung kann durch den Parameter „PSlewRate“ verändert werden. Die Einstellgenauigkeit im stationären Bereich sowie die Regeldynamiken bei Sollwertänderungen sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 verglichen. Die vorgegebenen Toleranzen werden durch das Modell eingehalten.		
<u>zu 3:</u> Die Funktionen „Wirkleistung bei Unterfrequenz“ und „Wirkleistung bei Überfrequenz“ wurden im Modell implementiert und erfüllen die Anforderungen der /TR4/. Der simulierte Wirkleistungsgradient beträgt 40 % / Hz; gemessen wurden 38,6 % / Hz und somit i.O.		
<u>zu 4:</u> Das Modell ermöglicht, die Blindleistung nach Sollwertvorgabe einzustellen. Die Einstellgenauigkeit des Modells liegt innerhalb des Toleranzbands siehe Tabelle 18 . Die Steilheit für die Blindleistung kann im Modell durch den Parameter „QTimeConstant“ variiert werden. Die Einschwingzeiten werden in Tabelle 19 dargestellt.		
Informativ		
- Die Standard- Q(U)-Kennlinie nach /VDE AR-N 4110/ wurde im Modell hinterlegt. Die Stützpunkte der Kennlinie ist durch den Anwender nicht verstellbar		
<u>zu 5:</u> Das Verfahren „Q(U)-Kennlinie“ ist im Modell wählbar und erfüllt die Anforderungen der /TR4/		
<u>zu 6:</u> Das Verfahren „Q(P)-Kennlinie“ ist im Modell wählbar. Da die die Messung der Q(P)-Regelung gemäß /TR3/ optional ist, wurde es im Rahmen der Messungen nicht geprüft.		
- Alle Simulationen wurden ohne Fehlermeldung erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen keine Instabilitäten.		

Tabelle 20 – Modellvalidierung – Wirk- und Blindleistungsregelverhalten



3.5 Schutzkomponenten und Fehlererkennung

Sofern die Schutzeinrichtungen Teil der Erzeugungseinheit sind, müssen diese gemäß /VDE AR-N 4110/, Kapitel 11.2.6.3 auch im Modell nachgebildet werden.

Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 8.2.1.5 und 8.2.1.6, ergänzend 5.2.2)	Beurteilung
1.	Die Schutzeinrichtungen sind im Modell abgebildet	N/A
2.	Für die Schutzeinrichtungen der EZE werden die Festlegungen nach /IEC 61400-27-1/, Kapitel 7.8.1 eingehalten	N/A
Bemerkung <ul style="list-style-type: none">– Die Schutzeinstellwerte wurden nicht im Modell implementiert. Unabhängig davon ist zu sagen, dass bei Einsatz dieser WR in EZA, die ins MS-Netz einspeisen, ein „externer“ bzw. „zwischenlagerter“ Entkopplungsschutz (NA-Schutz), siehe dazu /VDE-TR8/.		

Tabelle 21 – Umfang Modellvalidierung „Fehlererkennung, Schutzkomponenten, Gültigkeit, Dokumentation“

3.6 Plausibilitätsprüfungen

3.6.1 Allgemeines

Die Eignung des validierten EZE –Modells für EZA-Simulationen soll anhand üblicher Testszenarien nachgewiesen werden. Insbesondere müssen mehrere Instanzen des EZE-Modells in einer EZA lauffähig sein. Hintergrund dieser Plausibilitätsprüfungen ist die weitestgehende Vermeidung von Verzögerungen bei der Anlagenberechnung und –zertifizierung aufgrund von Instabilitäten, praxisuntauglichen Rechenzeitanforderungen und/oder nicht plausiblen Modellverhalten in komplexen Anlagenkonstellationen durch das EZE-Simulationsmodell selbst.

Ziel dieser Prüfungen ist somit die Korrektheit des Modells ausführlich hinsichtlich des Vorfehlerstroms, Einspeiseleistung im Normal- und Fehlerbetrieb, Fehlerverhalten usw. zu überprüfen.

3.6.2 Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells in Ergänzung zur Validierung

Zur Plausibilisierung des Modellverhaltens wurden die einmalige Spannungseinbrüche bei symmetrischen bzw. unsymmetrischen Fehlern entsprechend Tabelle 22 durchgeführt. Im Folgenden sind die Randbedingungen zusammengefasst:

- In Plausibilitätstests wird für einen spannungssenkenden Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) die Bezeichnung induktiv (ind.) verwendet. Der spannungshebende Leistungsfaktor wird entsprechend als kapazitiv (kap.) bezeichnet.
- Die Spannungstiefe und Vorfehlerspannung beziehen sich auf den Leerlauf an der Fehlerstelle
- Die Fehlerdauer der Tests wurde entsprechend der Anforderungen der /VDE AR-N 4110/ gewählt.
- Die Tests P1.01-10 sind die Prüfung der Programmierung für die Berücksichtigung der Vorfehlerstromfahrweise während und nach dem Netzfehlerfall. Die Tests zeigen, ob vor Fehlereintritt ein spannungssenkendes Blindleistungsvermögen mit dem dynamischen EZE-Modell einstellbar ist.
- Die Tests P2.01-10 sind die Prüfung der Programmierung des k -Faktors bzgl. der Berücksichtigung der Vorfehlerblindstromfahrweise und des Verhaltens im Grenzbereich der maximal geforderten Stromeinspeisung. Es wird geprüft, wie mit der maximalen Strombegrenzung umgegangen wird. Zusätzlich zeigen die Tests, dass ein spannungshebendes Blindleistungsvermögen mit dem dynamischen EZE-Modell einstellbar ist.
- Die Tests P3.01-12 sind die Prüfung und Darstellung des linearen Verhaltens des k -Faktors bei sehr geringer Einspeisewirkleistung. Hier wird geprüft, wann die EZE bzw. zusätzliche Blindstromeinspeisung in die Begrenzung geht.
- Die Tests P4.01-10 sind die Prüfung der Programmierung von k -Faktor Verhalten im Teillastbetrieb für unsymmetrische Netzfehler.
- Die Tests P5.01-10 sind die Prüfung der Programmierung der Strombegrenzung für unsymmetrische Netzfehler.



Nr. nach /TR4/ Tbl 9.1	Fehlerart	Spannungstiefe U_{LL}/U_n in %	Vorfehler spannung U_{12}/U_n in %	EZE-Vorfehler Wirkleistung P/P_{rE} in %	EZE-Vorfehler Blindleistung $\cos \varphi$	EZE k-Faktor
P1.01	3p	95	100	90	max. ind.	min.
P1.02	3p	90	100	90	max. ind.	min.
P1.03	3p	85	100	90	max. ind.	min.
P1.04	3p	80	100	90	max. ind.	min.
P1.05	3p	75	100	90	max. ind.	min.
P1.06	3p	35	100	90	max. ind.	min.
P1.06a ¹⁾	3p	35	100	90	max. ind.	min.
P1.07	3p	30	100	90	max. ind.	min.
P1.08	3p	15	100	90	max. ind.	min.
P1.09	3p	10	100	90	max. ind.	min.
P1.10	3p	5	100	90	max. ind.	min.
P2.01	3p	95	105	100	max. kap.	max.
P2.02	3p	90	105	100	max. kap.	max.
P2.03	3p	85	105	100	max. kap.	max.
P2.04	3p	80	105	100	max. kap.	max.
P2.05	3p	75	105	100	max. kap.	max.
P2.06	3p	35	105	100	max. kap.	max.
P2.07	3p	30	105	100	max. kap.	max.
P2.08	3p	15	105	100	max. kap.	max.
P2.09	3p	10	105	100	max. kap.	max.
P2.10	3p	5	105	100	max. kap.	max.
P3.01	3p	90	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.02	3p	85	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.03	3p	80	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.04	3p	65	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.05	3p	60	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.06	3p	50	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.07	3p	45	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.08	3p	35	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.09	3p	30	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.10	3p	15	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.11	3p	10	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$
P3.12	3p	5	95	100	1	$2 \geq k \geq 1$



Nr. nach /TR4/ Tbl 9.1	Fehlerart	Spannungstiefe U_{LL}/U_n in %	Vorfehler spannung U_{12}/U_n in %	EZE-Vorfehler Wirkleistung P/P_{rE} in %	EZE-Vorfehler Blindleistung $\cos \varphi$	EZE k -Faktor
P4.01	2p	95	105	50	max. ind.	$2 \geq k \geq 1$
P4.02	2p	90	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.03	2p	85	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.04	2p	80	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.05	2p	45	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.06	2p	35	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.06a ¹⁾	2p	35	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.07	2p	30	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.08	2p	15	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.09	2p	10	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.09a ²⁾	2p	10	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P4.10	2p	5	105	50	max. ind.	$3 \geq k \geq 2$
P5.01	2pE	95	100	100	max. kap.	max.
P5.02	2pE	90	100	100	max. kap.	max.
P5.03	2pE	85	100	100	max. kap.	max.
P5.04	2pE	80	100	100	max. kap.	max.
P5.05	2pE	75	100	100	max. kap.	max.
P5.06	2pE	35	100	100	max. kap.	max.
P5.07	2pE	30	100	100	max. kap.	max.
P5.08	2pE	15	100	100	max. kap.	max.
P5.09	2pE	10	100	100	max. kap.	max.
P5.09a ²⁾	2pE	10	100	100	max. kap.	max.
P5.10	2pE	5	100	100	max. kap.	max.
Q	3p HVRT	115	100	100	1	max.

Bemerkung

- Die Fehlerdauer der Tests wurde mindestens entsprechend den Anforderungen nach /VDE-AR-N 4110/ gewählt.
- 1) Die Tests P1.06a und P4.06a werden mit einem absoluten Spannungswinkel von 30° am Slack Knoten simuliert
- 2) Bei Test P4.09a ist der Kurzschluss zwischen der zweiten und dritten Phase und bei Test P5.09a zwischen der dritten und ersten Phase zu definieren.
- Das Modell hat keinen Signalausgang für die Spannung und den Strom im Nullsystem. Daher wurde die Plausibilität des Modells bei Tests P5.01 und P5.10 nur im Mit- und Gegensystem überprüft

Tabelle 22 – Plausibilitätstests zum einstellbaren k -Faktor bei Netzfehlern zum FRT-Modus



Der Validierungsergebnisse der FRT-Tests sind in Kapitel 6.2 aufgeführt:

Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 9.2.2.2)	Beurteilung
1.	Überprüfung, ob jede Simulation ohne Fehlermeldung durchlaufen	P
2.	Überprüfung der Plausibilität des Vorfehlerstroms und der Leistungsabgabe des Rechenmodells	P
3.	Überprüfung der Plausibilität des Fehlerverhaltens	P
4.	Überprüfung, ob die Plausibilität der Wirk- und Blindleistungsverläufe bzw. Wirk- und Blindstromverläufe nach dem Fehler	P
Bemerkung <u>zu 1:</u> Alle Plausibilitätstests wurden ohne Fehlermeldung erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen keine Instabilitäten. <u>zu 2:</u> Die Vorfehlereinspeisung der EZE bei allen durchgeführten Prüfungen ist plausibel. <u>zu 3:</u> Nach dem Fehlereintritt stützt der WR die Netzspannung durch Anpassung des Blindstromes proportional zur Spannungsabsenkung ($\Delta i_q = k \cdot \Delta u$). Der k -Faktor wurde bei allen Prüfungen plausibel abgebildet, siehe Kapitel 6.3. <u>zu 4:</u> Nach dem Fehlerende kehren die Wirk- und Blindleistungsverläufe sowie die Wirk- und Blindstromverläufe auf ihre stationären Ausgangswerte zurück.		

Tabelle 23 – Plausibilitätsprüfung des Einzelmodells

3.6.3 Plausibilisierung des quasistationären Betriebes

Um die Plausibilität des quasistationären Betriebes zu prüfen, wurden die Testfälle nach /TR4/ Kapitel 9.2.2.2.2 durchgeführt

Test Nr.	U in p.u.	f in p.u.	Beurteilung
P8.1	min	1	P
P8.2	max	1	P
P8.3	1	min	P
P8.4	1	max	P
Bemerkung - Die Grenzen des quasistationären Bereiches wurde nach /VDE AR-N 4110/ gewählt. (47,5 Hz bis 51,5 Hz; 85% U_c bis 115 % U_c)			

Tabelle 24 – Testfälle zur Plausibilisierung des quasistationären Betriebes

3.6.4 Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen (Praxistauglichkeit)

Um die Eignung des Simulationsmodells in EZA-Simulationen gemäß Testfälle nach /TR4/ Kapitel 9.2.2.3 festzustellen, sind einmalige Spannungseinbrüche und erfolglose AWE entsprechend durchzuführen.

Für typische EZA-Konfigurationen zu validieren, wurde eine EZA mit 20 EZE mit EZA-Transformator realisiert.

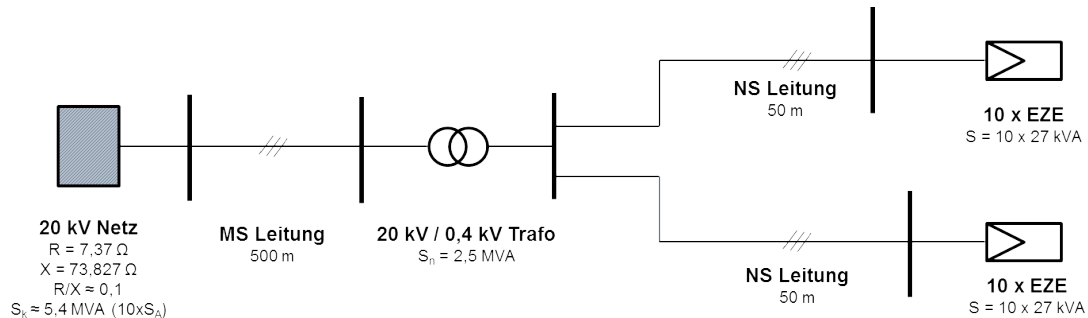


Abbildung 5 – EZA-Konfiguration zur Anlagentauglichkeit

3.6.4.1 Einmalige Spannungseinbrüche

Zur Beurteilung der Eignung des EZE-Modells in EZA-Simulationen wurden die in Tabelle 25 dargestellten einmaligen Spannungseinbrüche gerechnet.

Nr. nach /TR4/, Tbl 9.6	Fehlerart	Spannungstiefe U_{LL}/U_n in %	Vorfehler spannung U_{12}/U_n in %	EZE-Vorfehler Wirkleistung P/P_{RE} in %	EZE-Vorfehler Blindleistung $\cos \varphi$	EZE k-Faktor
P1.01	3p	95	100	90	max. ind.	min.
P1.02	3p	90	100	90	max. ind.	min.
P1.03	3p	85	100	90	max. ind.	min.
P1.04	3p	80	100	90	max. ind.	min.
P1.05	3p	75	100	90	max. ind.	min.
P1.06	3p	35	100	90	max. ind.	min.
P1.06a ¹⁾	3p	35	100	90	max. ind.	min.
P1.07	3p	30	100	90	max. ind.	min.
P1.08	3p	15	100	90	max. ind.	min.
P1.09	3p	10	100	90	max. ind.	min.
P1.10	3p	5	100	90	max. ind.	min.
P2.01	3p	95	105	100	max. kap.	max.
P2.02	3p	90	105	100	max. kap.	max.
P2.03	3p	85	105	100	max. kap.	max.
P2.04	3p	80	105	100	max. kap.	max.
P9.1	3p	75	100	100	1	Min.
P9.2	3p	30	100	100	1	Min.
P9.3	3p	0	100	100	1	Min.
P10.1	3p	75	90	100	0,95 kap	Max.



Nr. nach TR4/ Tbl 9.6	Fehlerart	Spannungstiefe U_{LL}/U_n in %	Vorfehler spannung U_{12}/U_n in %	EZE-Vorfehler Wirkleistung P/P_{rE} in %	EZE-Vorfehler Blindleistung $\cos \varphi$	EZE k -Faktor
P10.2	3p	30	90	100	0,95 kap	Max.
P10.3	3p	0	90	100	0,95 kap	Max.
P11.1	3p	75	100	20	1	Min.
P11.2	3p	30	100	20	1	Min.
P11.3	3p	0	100	20	1	Min.
P12.1	3p	75	110	20	0,95 ind	Max.
P12.2	3p	30	110	20	0,95 ind	Max.
P12.3	3p	0	110	20	0,95 ind	Max.
P13.1	2p	75	90	100	0,95 kap	Min.
P13.2	2p	30	90	100	0,95 kap	Min.
P13.3	2p	0	90	100	0,95 kap	Min.
P14.1	2p	75	100	100	1	Max.
P14.2	2p	30	100	100	1	Max.
P14.3	2p	0	100	100	1	Max.
P15.1	2p	75	110	20	0,95 ind	Min.
P15.2	2p	30	110	20	0,95 ind	Min.
P15.3	2p	0	110	20	0,95 ind	Min.
P16.1	2p	75	100	20	1	Max.
P16.2	2p	30	100	20	1	Max.
P16.3	2p	0	100	20	1	Max.

Tabelle 25 – Einmalige Spannungseinbrüche für typische EZA mit kleinem Kurzschlussleistungsverhältnis



3.6.4.2 Nachbildung einer erfolglosen AWE

Zur Beurteilung der Eignung des EZE-Modells in EZA-Simulationen wurden die erfolglosen AWE-Prüfungen entsprechend Tabelle 26 nachgebildet.

Nr. nach /TR4/ Tbl 9.7	Fehlerart	Spannungstiefe U_{L1}/U_n in %	Vorfehler spannung U_{12}/U_n in %	EZE-Vorfehler Wirkleistung P/P_{FE} in %	EZE-Vorfehler Blindleistung $\cos \varphi$	EZE k -Faktor
P17.1	3p	50/50/75	100	100	1	2
P17.2	3p	30/30/50	100	100	1	2
P17.3	3p	0/0/25	100	100	1	2
P18.1	3p	30/30/50	100	100	1	2
P18.2	3p	0/0/30	100	100	1	2

Tabelle 26 – Nachbildung einer erfolglosen AWE für typische EZA mit kleinem Kurzschlussleistungsverhältnis

3.6.4.3 Bewertung der Ergebnisse der Plausibilitätstests

Nr.	Zertifizierungsumfang (Siehe /TR4/ Kap. 9.2.2.3.1)	Beurteilung
1.	Überprüfung, ob jede Simulation ohne Fehlermeldung durchlaufen	P
2.	Überprüfung der Plausibilität des Vorfehlerstroms und der Leistungsabgabe des Rechenmodells	P
3.	Überprüfung der Plausibilität des Fehlerverhaltens	P
4.	Überprüfung, ob die Plausibilität der Wirk- und Blindleistungsverläufe bzw. Wirk- und Blindstromverläufe nach dem Fehler	P

Bemerkung

zu 1: Alle Plausibilitätstests wurden ohne Fehlermeldung erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen keine Instabilitäten.

zu 2: Die Vorfehlereinspeisung der EZA-Konfiguration bei allen durchgeführten Prüfungen ist plausibel.

zu 3: Nach dem Fehlereintritt stützt der WR die Netzspannung durch Anpassung des Blindstromes proportional zur Spannungsabsenkung ($\Delta i_q = k \cdot \Delta u$). Der k -Faktor wurde bei allen Prüfungen plausibel an den EZE-Klemmen abgebildet. Eine k -Faktorprüfung am NAP wurde nicht durchgeführt.

zu 4: Nach dem Fehlerende kehren die Wirk- und Blindleistungsverläufe sowie die Wirk- und Blindstromverläufe auf ihre stationären Ausgangswerte zurück.

Tabelle 27 – Plausibilitätstests für typische EZA-Konfigurationen – Einmaligen Spannungseinbrüche

3.6.5 Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz

Die Plausibilitätstests zur Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz in /TR4/ Kapitel 9.2.2.4 sind für /VDE AR-N 4110/ optional. Im Kapitel wurde die $P(f)$ -Kennlinie für das Einzelmodell geprüft und validiert.



4. Anwendung des Simulationsmodells für die Produktfamilie Fronius Eco

4.1 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Fronius Eco-Familie besteht aus zwei verschiedenen Wechselrichtern: Fronius Eco 27.03-S und Fronius Eco 25.0.3-S. Es können im Modell die beide Wechselrichtertypen abgebildet werden. Hierzu muss in der FRONIUS_ECO_1 – Box der entsprechende Wechselrichter ausgewählt werden.

Innerhalb der Produktfamilie Fronius Eco sind identische HW-Komponenten verbaut (WR-Leistungsteil, PCB, Drosseln; Lüfter, DC-Schalter, AC-Netzentspannungsrelais). Darüber hinaus sind die Familienmitglieder hinsichtlich Regelungstechnik/Software technisch gleichwertig.

Gemäß /TR8/ Kap. 2.12.2 ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Validierungs- und Plausibilitätsprüfungen innerhalb des Leistungsbereichs von $1/\sqrt{10} P_n$ ($0,32 P_n$) bis $2 P_n$ zulässig. Daher sind die Ergebnisse des WR Fronius Eco 27.0-3-S auf Fronius Eco 25.0-3-S übertragbar.

Die Ergebnisse können direkt verwendet werden, da diese als p.u. Werte angegeben sind.

4.2 Gültigkeitsbereich

Das in diesem Evaluierungsbericht validierte Modell ist für die WR-Typen Fronius Eco 27.0-3-S und 25.0-3-S gültig.



5. MD5-Prüfsumme

Die Simulationsmodelle sind in zip - Datei verpackt, die im Folgenden mit entsprechenden MD5-Prüfsummen versehen wurden.

Wechselrichter	MD5-Prüfsumme	Dateiname
Fronius Eco 27.0-3-S Fronius Eco 25.0-3-S	a05f8c48599a9fb2bc529ea9cf78bd59	FRONIUS_ECO.7z

Tabelle 28 – MD5 Prüfsummen der Modelldateien

6. Anhang

6.1 Modelldokumentation – Fronius Eco





© Fronius International GmbH
Version 03 06/2019

Fronius reserves all rights, in particular rights of reproduction, distribution and translation.
No part of this work may be reproduced in any way without the written consent of Fronius. It must not be saved, edited, reproduced or distributed using any electrical or electronic system.
You are hereby reminded that the information published in this manual, despite exercising the greatest of care in its preparation, is subject to change and that neither the author nor Fronius can accept any legal liability.
Gender-specific wording refers equally to female and male form.

.....
Fronius ECO 27.0/25.0 kW Simulation model

2/14

Bericht Nr. Report No.:	325091-RE-2	Seite Page	35	von of	54
----------------------------	-------------	---------------	----	-----------	----



TABLE OF CONTENTS

1	Fronius ECO simulation model description.....	4
2	Simulink Model Structure.....	6
3	Simulation and results.....	13
4	List of figures	14
5	List of tables.....	14

1 FRONIUS ECO SIMULATION MODEL DESCRIPTION

The following documentation intends to describe a MATLAB-Simulink model of solar inverters of the Fronius inverter ECO family: 27.0/25.0 kW.

1.1 Simulation model overview

A masked MATLAB-Simulink block has been created for the Fronius inverter series ECO. The block is a masked-subsystem consisting of standard blocks of the Simulink library, including a Level-2 Matlab S-Function. An example of such implementation is shown in Figure 1.

It must be noted that the mentioned S-Function block expects a corresponding MEX file, in order to properly function. The S-Function block operation, together with input and output definitions are explained in detail in the following sections.

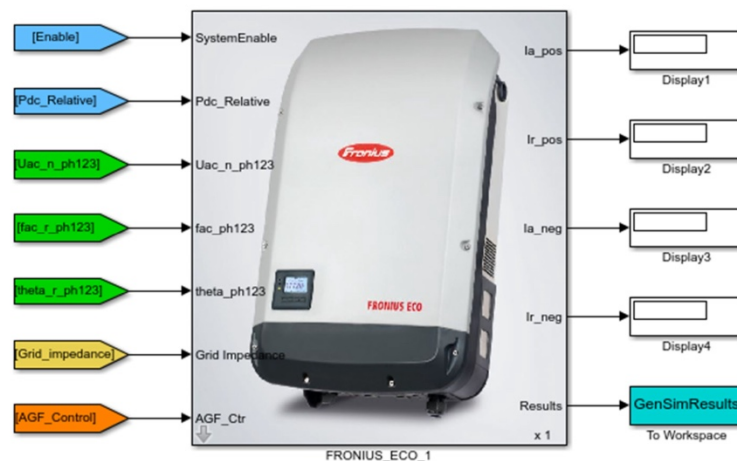


Figure 1. Simulation model overview

1.2 Fronius ECO family

The Fronius ECO family consists of two different inverters: *FRONIUS ECO 27.0-3-S* and *FRONIUS ECO 25.0-3-S*. Either inverter can be simulated from the above depicted model: simply double clicking on the block will open the parameter window, where one can choose which inverter to simulate.

Each implementation of this masked subsystem must be paired with a specific and unique MEX-file. This assignment is done automatically, for which is necessary that such group of MEX-files is located in the simulation's working directory (or any sub-folder of it).

This masked subsystem was delivered with a group of MEX-files: **FroniusInverter_SFunctionX.mexw64** (X from 1 to 249); this allows for up to 250 converters to be simulated in a single simulation model.



The MEX-files have been built using the actual C++ source code implemented in the real systems. Because the source code is the same for each ECO systems, their functionality is also the same. The difference lays in internally defined parameters/limitations: for example, the maximum current/power limitations.

1.3 Simulation requirements

1.3.1 Software environment

The following software requirements are necessary in order to properly simulate the delivered models:

- 64-bit Matlab Version 9.4 (R2018a) or higher
- Simulink Version 9.1 (R2018a) or higher

1.3.2 Simulation files

The following files are contained within a simulation package. The model file (*.slx) and the MEX file group (*.mexw64) are absolutely necessary for the simulation of the intended inverter. An optional figure (*.jpg) is also included and briefly described:

- *ECO_EZE.slx*: Simulink EZE model of inverter.
- *ECO_EZA.slx*: Simulink EZA model of inverter.
- *FroniusInverter_SFunctionX.mexw64*: Group of Matlab executable files (X from 1 to 249).
- *Fronius_ECO.jpg*: Simulink subsystem's mask figure, depicting a Fronius inverter of the ECO series.

It must be noted that all delivered files must be placed in the same folder/location. In addition, the simulation is to be run from Simulink and so, Matlab's current working directory must be the same as where these files are located. To check Matlab's current directory simply enter in Matlab's workspace the command

>> cd

2 SIMULINK MODEL STRUCTURE

2.1 Simulink model skeleton

The block diagram in Figure 2 describes the main components of the built Simulink model. Input signals are divided in five categories: **System Enable**, **Pdc Relative**, **AGF Control**, **Grid Voltage** and **Grid Impedance**. These signals are to be processed by the subsystem shown in red: **AGF** (Advanced Grid Features). The output of this subsystem is recorded and stored (**Results**) for further processing. The following sections provide a more detailed explanation of each component.

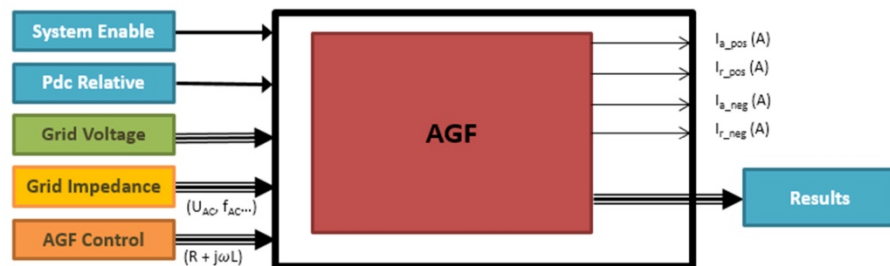


Figure 2. Simulink model skeleton

2.1.1 System Enable

Input *System Enable* is a boolean scalar which when true enables inverter's operation. A value of false will turn off the inverter.

2.1.2 Pdc Relative

Input *Pdc_Relative* is a fractional value relative to the available DC power, which allows to feed in the maximum possible active power during grid fault. Valid input range from 0 to +1.

2.1.3 Grid Voltage

This set of inputs consists of derived components of each grid phase. That is, voltage magnitude, frequency and phase-angle. The monitoring of these signals is critical for correct functionality of the AGF block. Such inputs, as named in the Simulink file are listed:

Signal name	Description	Unit
<i>Uac_n_ph123</i>	1-D vector with 3 elements (U1, U2, U3), which specifies normalized grid voltage magnitude for all three phases.	V
<i>fac_ph123</i>	1-D vector with 3 elements (f1, f2, f3), which specifies grid voltage frequency (in Hz) for all three phases.	Hz
<i>theta_ph123</i>	1-D vector with 3 elements (th1, th2, th3), which specifies the line voltage angle (in degrees) between phases. Nominal phase angles for each phase are defined to be (0,240,120), respectively.	degree

Table 1. Grid Voltage

2.1.4 Grid Impedance

This input (a 1-D vector with 2 elements) defines the grid impedance Z_G (depicted in Figure 3), which is the series combination $R + j\omega L$. These inputs, as named in the Simulink file *ECO_EZE.slx*, are listed in Table 2.

Signal name	Description	Unit
R_grid	Equivalent grid series resistance	Ohm
L_grid	Equivalent grid series inductance	Henry

Table 2. Grid Impedance

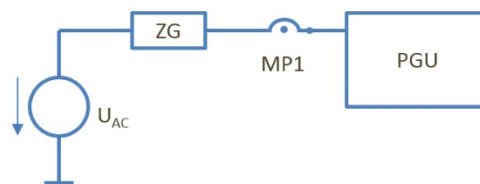


Figure 3. Power Generating Unit (PGU) connection to the grid

2.1.5 AGF Control

Inputs in this category include all inverter settings, which in the real system the user (or energy provider) is able to configure. Such inputs are listed:

- **ReactiveSelect**: Use this signal to choose the method in which the reactive power is set. The possible options are listed:
 - **cos(phi)** (Reactive Select = **1**): set a fix desired cosine of angle (phi) between output current and grid voltage.
 - **Relative reactive power** (Reactive Select = **2**): set a fix desired reactive power (in percent) relative to the specified machine's nominal power.
 - **Absolute reactive power** (Reactive Select = **3**): set a fix desired reactive power (in var).
 - **Voltage regulated reactive power** (Reactive Select = **5**): the reactive power will follow a predefined characteristic curve, as a function of the grid voltage.
 - **No reactive power** (Reactive Select = **0**): no reactive power will be feed into the grid.
- **CosPhi**: desired cos(phi) value. Valid input range from 0 to ± 1 , where positive values indicate a positive reactive power - the phase current will lag the phase voltage. Notice that this range might be further limited by internal system settings. This setting is only relevant when ReactiveSelect is set to 1.
- **Q_Relative**: desired reactive power (in percent) relative to the specified inverter's nominal power. Valid input range from 0 to ± 100 , where positive values indicate a positive reactive power - the phase current will lag the phase voltage. Notice that this range might be further limited by internal system settings. This setting is only relevant when ReactiveSelect is set to 2.
- **Q_Absolute**: desired total (from all three phases) reactive power (in var). Valid input range from 0 to $\pm 2^{32}$, where positive values indicate a positive reactive power - the phase current will lag the phase voltage. Notice that this range might be further limited by internal system settings. This setting is only relevant when ReactiveSelect is set to 3.

- **FRTSelect**: Fault Ride Through response mode. The possible options are listed:
 - Off (FRT Select = 0): Inverter is not to react to a grid voltage fault event.
 - On-Passive (FRT Select = 1): Output currents are preserved during a fault event.
 - On-Zero (FRT Select = 2): Output currents are set to 0 during a fault event.
 - On-Active (FRT Select = 5): Normal FRT mode, as specified in regulation norms.
 - ON-Zero/ON-Active (FRT Select = 10): Limited dynamic grid support.
- **FRT_kFactor**: FRT k factor. Valid input range from 0 to +10.
- **PSlewRate**: Slope at which active power changes will take place, after start-up. Value is in milli-percent per second.
- **QTimeConstant**: Time constant for a first-order low-pass filter, which defines how reactive power changes will take place. Value is in milliseconds.
- **P_Relative**: Fractional value relative to the machine's nominal power, which sets/limits the active power to be feed in grid. Valid input range from 0 to +1.

The following table shows how the above listed parameters are named in the actual inverter:

Simulink Block Name	Block Value	Label in Inverter
FRTSelect	-	LVRT On/Off
	0	OFF
	1	ON-Passive
	2	ON-Zero
	5	ON-Active (Normal FRT mode)
	10	ON-Zero/ON-Active (Limited dynamic grid support)
FRT_kFactor	-	FRT K factor
ReactiveSelect	-	Reactive Power Mode
	0	OFF
	1	C. CosPhi
	2	C. Qrel
	3	C. Qabs
	5	Q/U
CosPhi	-	Const. CosPhi
Q_Relative	-	Const. Q Rel.
Q_Absolute	-	Const. Q. Abs.
QTimeConstant	-	Const. CosPhi TimeC. Const. Q Rel. TimeC. Const. Q Abs. TimeC.
P_Relative	-	<i>Not available in inverter – Value is only accessible through Data Manager interface</i>
PSlewRate	-	<i>Not available in inverter – Value is only accessible through Data Manager interface</i>

Table 3. AGF control parameter

2.1.6 AGF

The AGF subsystem comprises a set of functions which determine the system behavior when operating under a range of conditions. The main simulation block consists of a *Level-2 S-Function* compiled from a collection of C-written files. Within these C-files, the real system's source code has been included and its functions are called in the same manner as in the real system. Hence, equivalence between calculated values from the simulation and the calculated values by the controller in an actual inverter is assured.

The block expects as inputs all previously described signals, together with the calculated total active output power. The main output of this block are the active and reactive positive and negative sequence components of the output currents (I_{a_pos} , I_{r_pos} , I_{a_neg} and I_{r_neg}), per phase. The currents are used to calculate the voltage at point MP1 (Figure 3), together with the system's real, reactive and apparent output power. The real power is then feedback (internally) to the AGF block, as required.

2.1.7 Results

All relevant calculated output signals are grouped into a single structure referred to as *Results*. It comprises the following signals (in the listed order):

Number in structure	Name	Unit
1	Phase 1 UAC RMS	V
2	Phase 2 UAC RMS	V
3	Phase 3 UAC RMS	V
4	Active RMS current (positive sequence component) per phase	A
5	Reactive RMS current (positive sequence component) per phase	A
6	Total active power (positive sequence component) (for all three phases)	W
7	Total reactive power (positive sequence component) (for all three phases)	var
8	Total apparent power (positive sequence component) (for all three phases)	VA
9	Phase 1 UAC frequency	Hz
10	Phase 2 UAC frequency	Hz
11	Phase 3 UAC frequency	Hz
12	Set active power	W
13	Grid voltage (positive sequence component)	V
14	Grid voltage (negative sequence component)	V
15	Active RMS current (negative sequence component) per phase	A
16	Reactive RMS current (negative sequence component) per phase	A
17	Total active power (negative sequence component) (for all three phases)	W
18	Total reactive power (negative sequence component) (for all three phases)	var
19	Total apparent power (negative sequence component) (for all three phases)	VA

Table 4. Results structure

At the end of the simulation and with the specified sample time (i.e. 1ms), the above signals are stored and available for further examination/visualization.

2.2 Simulink model

A snapshot of the Simulink model is presented in Figure 4.

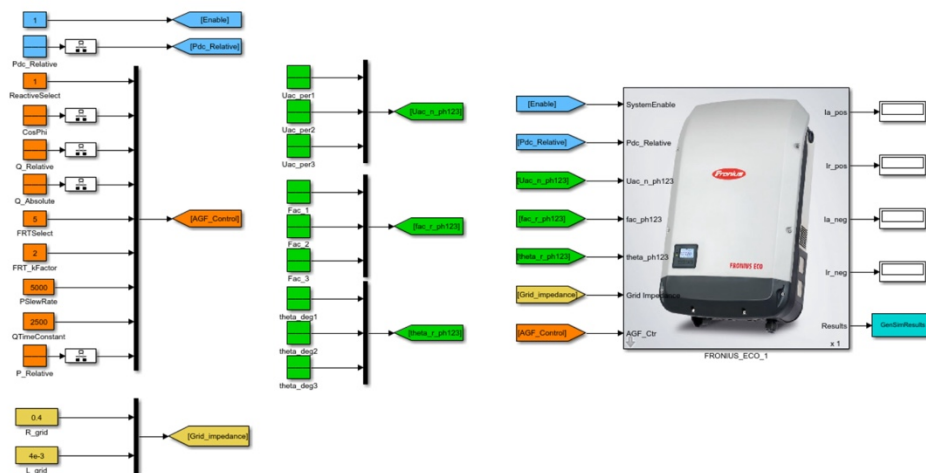


Figure 4. Simulink model snapshot

2.2.1 Additional Outputs

Besides the previously described structure *Results*, four particular signals are directly output by the inverter model. These signals can then be directly connected to a Display or Scope block for visualization, as shown in Figure 4. They are as listed and described in Table 5.

Signal name	Description	Unit
Ia_pos (A)	Active RMS current (positive sequence component) per phase	A
Ir_pos (A)	Reactive RMS current (positive sequence component) per phase	A
Ia_neg (A)	Active RMS current (negative sequence component) per phase	A
Ir_neg (A)	Reactive RMS current (negative sequence component) per phase	A

Table 5. Directly output signals of the inverter model

2.2.2 Inverter Settings

Double clicking on the inverter block will open the *Block Parameters* window, shown in Figure 5. The **Inverter Settings** parameter allows the user to choose from a drop down menu which inverter is to be simulated. The selection loads a pre-defined structure which contains specific configuration parameters of a given inverter (maximum power, current, nominal voltage, frequency, etc.).

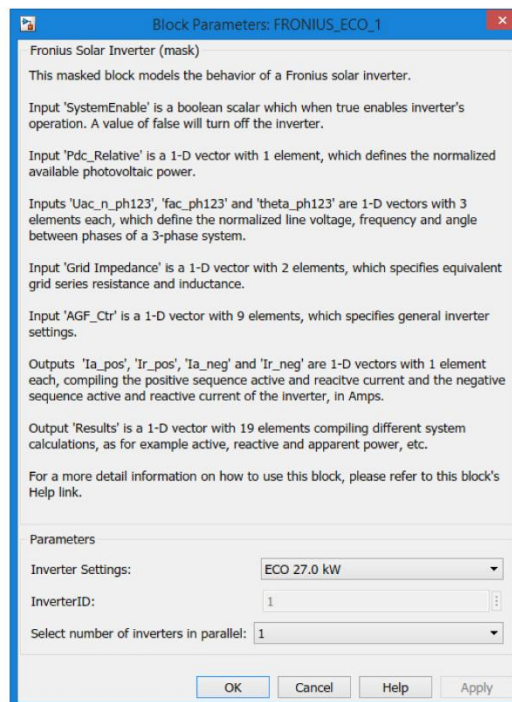


Figure 5. Fronius inverter Block Parameters window

2.2.3 Paralleling multiple inverters

The implemented inverter block model (as the one shown in Figure 4) allows the simulation of up to 20 inverters in parallel. One can choose the number of inverter's to be simulated in parallel by simply selecting it from a drop down menu in the block's mask. The selected number is then displayed on the bottom-right corner of the block as shown below:

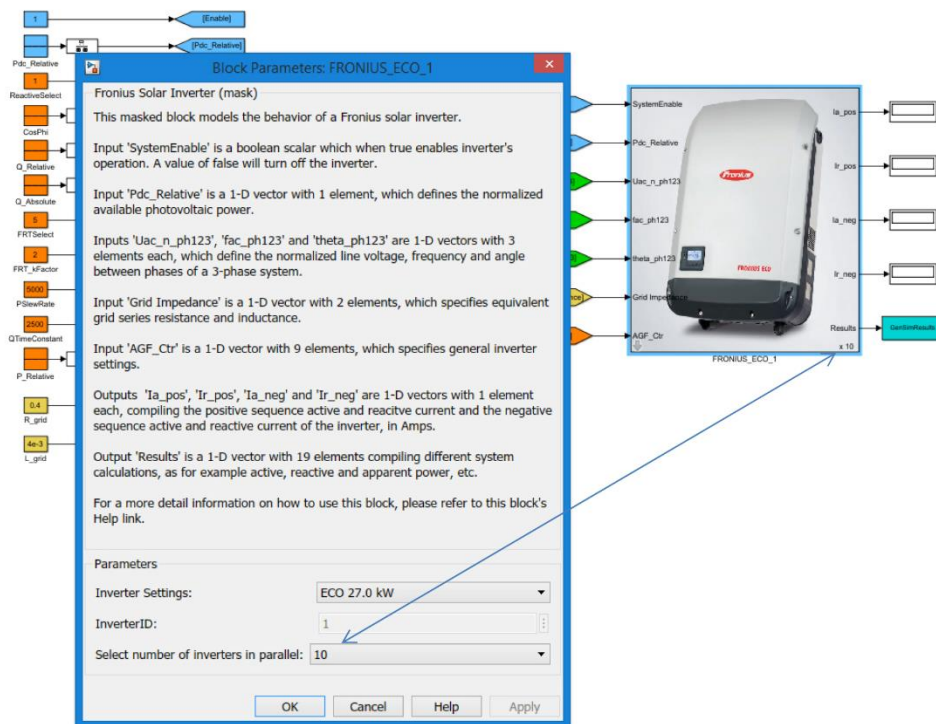


Figure 6. Paralleling of multiple inverters



3 SIMULATION AND RESULTS

3.1 Running the simulation model

Before running the simulation the user may configure all previously described input signals (**System Enable**, **Pdc_Relative**, **AGF Control**, **Grid Voltage** and **Grid Impedance**) as desired.

One must simply note that all input blocks are of either *Constant* or *Repeating Sequence* type. All *Constant* blocks in the model expect a 1-D element of *length* 1. On the other hand, all *Repeating Sequence* blocks expect two 1-D vectors of equal length, for the Time and Output value's parameter field. For more information on how to use these blocks, please refer to the Matlab help. Furthermore, the user may also change the simulation duration, in the Simulink simulation time field.

After defining all input signals, simulation time and number of inverters in parallel per block, one can simply press play in the Simulink Toolbar to start running the simulation.

3.2 Results

The inverter block outputs have been described in section 2.1.7 and 2.2.1. In order to visualize the obtained results, the user may connect any output to any Simulink *Sink* block: *Scope*, *Display*, *ToWorkspace*, etc.

If the output **Results** is connected to a *ToWorkspace* block, as shown in Figure 1, one can access all the signals described in section 2.1.7 after the simulation is complete or stopped. For information on how to access stored data stored in a *ToWorkspace* block, please refer to the Matlab help.



4 LIST OF FIGURES

Figure 1. Simulation model overview	4
Figure 2. Simulink model skeleton	6
Figure 3. Power Generating Unit (PGU) connection to the grid.....	7
Figure 4. Simulink model snapshot	10
Figure 5. Fronius inverter Block Parameters window	11
Figure 6. Paralleling of multiple inverters	12

5 LIST OF TABLES

Table 1. Grid Voltage	6
Table 2. Grid Impedance.....	7
Table 3. AGF control parameter.....	8
Table 4. Results structure	9
Table 5. Directly output signals of the inverter model.....	10



6.2 Validierungsergebnisse für Typ-2-EZE

Testbezeichnung n. FGW TR3, Kap. 4.6.3 Verhalten bei Störungen im Netz, Tbl. 4-68 & Tbl. 4-69				Mitsystem									Gegensystem														
				P			Q			Iw			Ib			P			Q			Iw			Ib		
				MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
0,20 ≤ U _{rest} ≤ 0,30 25.1 3ph/VL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,005	0,001	0,001	0,007	0,005	0,005	0,015	0,012	0,012	0,007	0,005	0,005	Optional												
		Fault	0,086	0,004	0,049	0,051	0,002	0,020	0,170	0,014	0,102	0,044	0,011	0,020													
		Post	0,006	-0,006	0,009	0,007	0,002	0,009	0,016	0,005	0,017	0,007	0,003	0,009													
0,20 ≤ U _{rest} ≤ 0,30 25.2 3ph/TL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,003	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,008	-0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	Optional												
		Fault	0,084	-0,009	0,043	0,028	0,022	0,013	0,169	-0,019	0,086	0,020	0,030	0,010													
		Post	0,005	0,001	0,001	0,003	-0,002	0,005	0,008	-0,003	0,004	0,003	-0,001	0,005													
0,20 ≤ U _{rest} ≤ 0,30 25.4 2ph/VL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,004	0,000	0,001	0,011	0,009	0,009	0,004	0,000	0,001	0,011	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
		Fault	0,016	0,016	0,012	0,013	0,010	0,010	0,021	0,023	0,016	0,020	0,013	0,013	0,002	-0,001	0,001	0,029	-0,009	0,009	0,011	-0,006	0,007	0,019	0,002		
		Post	0,011	-0,008	0,009	0,011	0,010	0,010	0,011	-0,007	0,008	0,011	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	
0,20 ≤ U _{rest} ≤ 0,30 25.5 2ph/TL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,004	0,000	0,001	0,004	0,003	0,003	0,019	-0,018	0,018	0,004	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
		Fault	0,106	-0,071	0,079	0,067	0,059	0,062	0,124	-0,099	0,109	0,093	0,072	0,075	0,003	-0,001	0,001	0,032	-0,001	0,001	0,014	-0,005	0,005	0,033	0,000	0,001	
		Post	0,005	-0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,023	-0,019	0,020	0,004	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	-0,001	0,002	0,002	0,000	0,002	
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.1 3ph/VL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,020	-0,017	0,017	0,007	0,005	0,005	0,017	0,014	0,014	0,007	0,005	0,005	Optional												
		Fault	0,063	0,051	0,050	0,040	-0,030	0,036	0,095	0,078	0,075	0,061	-0,049	0,057													
		Post	0,024	-0,020	0,020	0,007	0,004	0,007	0,017	0,010	0,013	0,007	0,004	0,007													
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.2 3ph/TL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,012	-0,008	0,008	0,003	0,002	0,002	Optional												
		Fault	0,028	-0,026	0,027	0,006	0,007	0,003	0,069	-0,066	0,068	0,034	-0,027	0,033													
		Post	0,005	0,000	0,001	0,003	0,000	0,003	0,012	-0,008	0,008	0,003	0,000	0,003													
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.3 2ph/VL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,018	-0,016	0,016	0,011	0,009	0,009	0,017	-0,015	0,015	0,011	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
		Fault	0,026	-0,023	0,024	0,012	0,010	0,010	0,027	-0,025	0,025	0,016	0,014	0,014	0,004	-0,003	0,003	0,010	-0,009	0,010	0,025	-0,023	0,023	0,030	-0,028		
		Post	0,024	-0,019	0,020	0,011	0,010	0,010	0,021	-0,018	0,018	0,011	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.4 2ph/TL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,002	0,001	0,001	0,007	0,006	0,006	0,004	0,002	0,002	0,007	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
		Fault	0,021	-0,020	0,021	0,024	0,022	0,022	0,015	-0,014	0,014	0,037	0,035	0,035	0,002	0,002	0,002	0,016	-0,016	0,016	0,014	0,011	0,011	0,052	-0,049		
		Post	0,005	0,001	0,001	0,007	0,006	0,006	0,006	0,002	0,002	0,007	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.5 3ph/VL/k=2 (eingeschränkt FRT)	gemäß IEC	Pre	0,019	-0,016	0,016	0,007	0,005	0,005	0,006	-0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	Optional												
		Fault	0,002	-0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	-0,001	0,000	0,002	-0,001	0,000													
		Post	0,028	-0,020	0,022	0,007	0,006	0,006	0,015	-0,009	0,010	0,007	0,006	0,006													
0,45 ≤ U _{rest} ≤ 0,60 50.6 2ph/VL/k=2 (eingeschränkt FRT)	gemäß IEC	Pre	0,004	-0,001	0,002	0,007	0,005	0,005	0,003	-0,001	0,002	0,007	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
		Fault	0,002	0,002	0,000	0,001	-0,001	0,000	0,002	0,003	0,000	0,002	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,008	0,007		
		Post	0,019	-0,012	0,013	0,007	0,006	0,006	0,017	-0,012	0,013	0,007	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
0,70 ≤ U _{rest} ≤ 0,80 75.1 3ph/VL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,020	-0,018	0,018	0,007	0,005	0,005	0,006	-0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	Optional												
		Fault	0,016	-0,012	0,012	0,014	0,012	0,012	0,005	0,003	0,003	0,022	0,021	0,020													
		Post	0,022	-0,019	0,019	0,007	0,006	0,006	0,009	-0,007	0,007	0,007	0,006	0,006													
0,70 ≤ U _{rest} ≤ 0,80 75.2 3ph/TL/k=2	gemäß IEC	Pre	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,016	-0,015	0,015	0,003	0,002	0,002	Optional												
		Fault	0,026	-0,024	0,024	0,013	0,010	0,010	0,048	-0,047	0,047	0,005	-0,003	0,003													
		Post	0,005	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,019	-0,015	0,015	0,003	0,002	0,002													
0,70 ≤ U _{rest} ≤ 0,80 75.3 3ph/TL (max. u.e.)/k=2	gemäß IEC	Pre	0,006	-0,002	0,002	0,002	-0,001	0,001	0,011	-0,006	0,006	0,002	0,001	0,001	Optional												
		Fault	0,023	-0,022	0,022	0,028	0,025	0,026	0,026	-0,025	0,026	0,035	0,032	0,033													
		Post	0,005	-0,001	0,002	0,003	-0,001	0,002	0,010	-0,006	0,006	0,002	0,002	0,002													
0,70 ≤ U _{rest} ≤ 0,80 75.4 3ph/TL (max. ü.e.)/k=2	gemäß IEC	Pre	0,005	-0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,005	-0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	Optional												
		Fault	0,023	-0,021	0,022	0,043	-0,040	0,041	0,033	-0,031	0,032	0,058	-0,056	0,057													
		Post	0,005	-0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,005	-0,001	0,001	0,003	0,001	0,001													
0,70 ≤ U _{rest} ≤ 0,80 75.5 3ph/ P>0,1P /k=4	gemäß IEC	Pre	0,005	0,000	0,001	0,010	0,009	0,009	0,003	-0,001	0,001	0,010	0,009	0,009	Optional												
		Fault	0,028	-0,024	0,026	0,049	-0,044	0,047	0,037	-0,033	0,035	0,064	-0,059	0,062													
		Post	0,005	0,000	0,001	0,010	0,008	0,009	0,006	-0,001	0,002	0,010	0,008	0,009													

Testbezeichnung n. FGW TR3, Kap. 4.6.3 Verhalten bei Strörungen im Netz, Tbl. 4-68 & Tbl. 4-69			Mitsystem												Gegensystem											
			P			Q			Iw			Ib			P			Q			Iw			Ib		
			MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
$0,70 \leq U_{rest} \leq 0,80$ 75.6 gemäß IEC $2ph/VL/k=2$	Pre	0,004	0,000	0,001	0,021	0,019	0,019	0,004	-0,002	0,003	0,021	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
	Fault	0,061	0,058	0,058	0,044	0,041	0,041	0,071	0,069	0,069	0,049	0,046	0,046	0,001	0,001	0,001	0,014	0,013	0,013	0,014	0,011	0,011	0,069	0,067	0,068	
	Post	0,005	0,000	0,002	0,021	0,020	0,020	0,004	-0,003	0,004	0,021	0,020	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	
$0,70 \leq U_{rest} \leq 0,80$ 75.7 gemäß IEC $2ph/TL/k=2$	Pre	0,004	0,000	0,001	0,010	0,009	0,009	0,004	0,001	0,001	0,010	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
	Fault	0,016	-0,015	0,015	0,023	-0,022	0,022	0,021	-0,020	0,020	0,027	-0,026	0,026	0,001	0,001	0,001	0,013	0,013	0,013	0,008	0,006	0,006	0,069	0,067	0,067	
	Post	0,005	0,000	0,001	0,010	0,009	0,009	0,005	0,001	0,001	0,010	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	
$0,70 \leq U_{rest} \leq 0,80$ 75.8 gemäß IEC $2ph/ P>0,1P /k=4$	Pre	0,003	0,000	0,001	0,010	0,009	0,009	0,003	0,002	0,002	0,010	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
	Fault	0,026	-0,024	0,024	0,032	-0,030	0,030	0,029	-0,028	0,028	0,035	-0,033	0,034	0,001	0,001	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,014	0,009	0,009	0,010	-0,009	0,009	
	Post	0,005	0,001	0,001	0,010	0,009	0,009	0,006	0,002	0,002	0,010	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	
$0,75 \leq U_{rest} \leq 0,85$ 80.1 gemäß IEC $3ph/VL/k=2$ (eingeschränkt FRT)	Pre	0,006	-0,001	0,001	0,031	0,029	0,029	0,031	0,029	0,029	0,031	0,029	0,029	Optional												
	Fault	0,043	-0,041	0,041	0,038	0,036	0,035	0,006	-0,004	0,004	0,054	0,052	0,052													
	Post	0,006	-0,001	0,003	0,031	0,030	0,030	0,035	0,028	0,030	0,031	0,030	0,030													
$0,75 \leq U_{rest} \leq 0,85$ 80.2 gemäß IEC $2ph/VL/k=2$ (eingeschränkt FRT)	Pre	0,005	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,013	-0,008	0,008	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
	Fault	0,038	0,035	0,035	0,005	-0,002	0,002	0,030	0,028	0,028	0,006	-0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,011	0,008	0,008	0,022	0,020	0,020	
	Post	0,006	-0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,013	-0,009	0,009	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	
$0,85 \leq U_{rest} \leq 0,90$ 85.1 gemäß IEC $3ph/ P>0,1P /k=2$	Pre	0,005	0,000	0,001	0,003	-0,001	0,001	0,005	0,000	0,001	0,003	-0,001	0,001	Optional												
	Fault	0,041	-0,028	0,028	0,170	-0,093	0,096	0,046	-0,030	0,030	0,198	-0,104	0,107													
	Post	0,006	0,000	0,002	0,003	-0,003	0,003	0,006	0,000	0,002	0,003	-0,003	0,003													

Testbezeichnung n. FGW TR3, Kap. 4.6.3 Verhalten bei Strörungen im Netz, Tbl. 4-68 & Tbl. 4-69				Mitsystem												Gegensystem											
				P			Q			Iw			Ib			P			Q			Iw			Ib		
				MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
U = 1,12U _N	Pre	0,003	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,012	0,009	0,009	0,004	0,002	0,002	Optional												
115.1	gemäß IEC	Fault	0,155	0,018	0,038	0,134	-0,021	0,022	0,115	-0,003	0,030	0,120	-0,019	0,020													
3ph/TL/k=2	Post	0,078	0,023	0,038	0,002	0,000	0,001	0,078	0,020	0,038	0,002	0,000	0,001														
U = 1,12U _N	Pre	0,004	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,016	-0,015	0,015	0,002	0,001	0,001	Optional													
115.2	gemäß IEC	Fault	0,056	-0,031	0,032	0,212	-0,093	0,095	0,075	-0,037	0,038	0,194	-0,085													0,086	
3ph/TL/k=2	Post	0,007	-0,004	0,004	0,002	0,000	0,002	0,022	-0,018	0,018	0,002	0,000	0,001														
U = 1,12U _N	Pre	0,006	0,003	0,003	0,013	0,011	0,011	0,013	0,010	0,010	0,013	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001		
110.1	gemäß IEC	Fault	0,135	-0,090	0,093	0,062	0,011	0,014	0,137	-0,075	0,078	0,059	0,010	0,013	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	-0,001	0,001	0,014	-0,003	0,003	0,138	-0,025	0,028
2ph/VL/k=2	Post	0,094	-0,064	0,064	0,013	0,010	0,010	0,091	-0,060	0,060	0,013	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	
U = 1,12U _N	Pre	0,004	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
110.2	gemäß IEC	Fault	0,032	-0,005	0,007	0,061	-0,003	0,005	0,031	-0,005	0,007	0,058	-0,003	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	-0,001	0,002	0,014	-0,002	0,002	0,172	-0,033	0,035
2ph/TL/k=2	Post	0,005	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	-0,001	0,001	
U = 1,10U _N	Pre	0,004	-0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	Optional													
110.3	gemäß IEC	Fault	0,046	-0,027	0,027	0,107	-0,048	0,049	0,045	-0,025	0,025	0,098	-0,044													0,045	
h/ P > 0,1P _n /k=2	Post	0,005	-0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,005	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001														



6.3 Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen des Einzelmodells

Plausibilitätsprüfung FGW TR4, Kap. 5.5.2 Tbl. 5-5	Mitsystem								Gegensystem						
	t_{ein} in s	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{b, \text{max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{b, \text{max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %
Urest = 0,95 P 1.01 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	60,00	-5,82%	-2,12%	-44,34%	79,56%	-39,33%	0,365	-2,12%							
Urest = 0,90 P 1.02 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	60,00	-10,51%	-2,39%	-44,17%	76,32%	-37,55%	0,228	-2,39%							
Urest = 0,85 P 1.03 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	3,50	-15,40%	-2,50%	-44,28%	71,88%	-35,47%	0,162	-2,50%							
Urest = 0,80 P 1.04 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	3,00	-20,21%	-2,35%	-44,13%	67,62%	-33,23%	0,116	-2,35%							
Urest = 0,75 P 1.05 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	3,00	-25,04%	-2,33%	-44,11%	63,30%	-31,09%	0,093	-2,33%							
Urest = 0,35 P 1.06 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	1,00	-61,64%	-1,44%	-43,21%	30,60%	-14,65%	0,023	-1,44%							
Urest = 0,35 P 1.06a 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	1,00	-61,64%	-1,44%	-43,21%	30,60%	-14,65%	0,023	-1,44%							
Urest = 0,30 P 1.07 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	0,76	-65,68%	-1,56%	-43,34%	26,94%	-12,95%	0,024	-1,56%							
Urest = 0,15 P 1.08 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	0,36	-75,01%	-1,91%	-43,69%	18,50%	-8,98%	0,025	-1,91%							
Urest = 0,10 P 1.09 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	0,36	-76,42%	-2,01%	-43,79%	17,22%	-8,38%	0,026	-2,01%							
Urest = 0,05 P 1.10 3ph / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=0 /max.ind	0,36	-76,56%	-2,14%	-43,92%	17,08%	-8,34%	0,028	-2,14%							



Plausibilitätsprüfung FGW TR4, Kap. 5.5.2 Tbl. 5-5	Mitsystem								Gegensystem						
	t_{ein} in s	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{b, \text{max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{b, \text{max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %
Urest = 0,95 P 2.01 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	60,00	-4,12%	1,38%	33,36%	90,00%	34,91%	0,352	0,00%							
Urest = 0,90 P 2.02 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	60,00	-8,18%	2,86%	34,83%	90,00%	34,91%	0,366	0,00%							
Urest = 0,85 P 2.03 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	3,50	-12,19%	4,45%	36,43%	90,00%	34,91%	0,383	0,00%							
Urest = 0,80 P 2.04 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	3,00	-16,17%	6,18%	38,16%	89,36%	34,91%	0,401	0,00%							
Urest = 0,75 P 2.05 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	3,00	-20,55%	18,41%	50,39%	41,82%	44,13%	0,941	0,00%							
Urest = 0,35 P 2.06 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	1,00	-46,79%	83,06%	115,04%	0,65%	66,81%	1,775	0,04%							
Urest = 0,30 P 2.07 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	0,76	-47,30%	87,28%	119,25%	48,85%	68,59%	1,845	5,41%							
Urest = 0,15 P 2.08 3ph /Uvor= 105 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	0,36	-64,29%	87,38%	119,35%	0,30%	46,52%	1,359	5,51%							
Urest = 0,10 P 2.09 3ph /Uvor= 110 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	0,36	-75,21%	87,38%	119,35%	0,26%	40,57%	1,162	5,51%							
Urest = 0,05 P 2.10 3ph /Uvor= 110 % / 0,9Pn/ k=10 /max.kap	0,36	-73,42%	87,38%	119,35%	0,23%	34,62%	1,190	5,51%							
Urest = 0,90 P 3.01 3ph /Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	60,00	-4,49%	1,38%	33,36%	90,02%	34,91%	0,307	-3,11%							
Urest = 0,85 P 3.02 3ph /Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	3,50	-8,28%	8,48%	8,48%	9,95%	7,37%	1,024	0,20%							



Plausibilitätsprüfung FGW TR4, Kap. 5.5.2 Tbl. 5-5	Mitsystem								Gegensystem						
	t_{ein} in s	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{\text{b, max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %	$\Delta U_{\text{pos}}/U_n$ in %	$\Delta I_{\text{bpos}}/I_n$ in %	I_{bpos}/I_n in %	P/P_n in %	$Q_{\text{b, max ind}}/P_n$ in %	Betrag K-Ist	Abw. I_{bsoll}/I_n in %
Urest = 0,80 P 3.03 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	3,00	-12,44%	12,61%	12,61%	9,85%	10,43%	1,013	0,17%							
Urest = 0,65 P 3.04 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	2,50	-24,89%	25,08%	25,08%	9,82%	17,63%	1,008	0,20%							
Urest = 0,60 P 3.05 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	2,00	-29,04%	29,22%	29,22%	9,65%	19,32%	1,006	0,17%							
Urest = 0,50 P 3.06 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	2,00	-37,32%	37,52%	37,52%	9,62%	21,71%	1,005	0,20%							
Urest = 0,45 P 3.07 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	1,40	-41,46%	41,62%	41,62%	9,59%	22,36%	1,004	0,16%							
Urest = 0,35 P 3.08 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	1,00	-49,72%	49,93%	49,93%	9,19%	22,71%	1,004	0,21%							
Urest = 0,30 P 3.09 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	0,76	-53,81%	54,03%	54,03%	9,30%	22,36%	1,004	0,22%							
Urest = 0,15 P 3.10 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	0,36	-65,96%	66,14%	66,14%	8,95%	19,34%	1,003	0,18%							
Urest = 0,10 P 3.11 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	0,36	-69,87%	70,04%	70,04%	8,82%	17,75%	1,002	0,17%							
Urest = 0,05 P 3.12 3ph / Uvor= 90 % / 0,1Pn/ k=1 /cosphi =1	0,36	-73,69%	73,94%	73,94%	8,35%	15,92%	1,003	0,25%							
Urest = 0,95 P 4.01 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	60,00	-4,13%	12,81%	-42,04%	48,55%	-37,44%	3,104	0,43%	1,67%	-4,95%	-4,95%	0,00%	-0,08%	2,971	-0,05%
Urest = 0,90 P 4.02 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	60,00	-5,47%	17,08%	-37,78%	48,65%	-33,14%	3,124	0,68%	3,44%	-10,17%	-10,17%	-0,02%	-0,35%	2,956	-0,15%



Plausibilitätsprüfung FGW TR4, Kap. 5.5.2 Tbl. 5-5	Mitsystem								Gegensystem						
	t _{ein} in s	ΔU _{pos} /U _n in %	ΔI _{bpos} /I _n in %	I _{bpos} /I _n in %	P/P _n in %	Q _{b, max ind} /P _n in %	Betrag K-Ist	Abw. I _{bsoll} /I _n in %	ΔU _{pos} /U _n in %	ΔI _{bpos} /I _n in %	I _{bpos} /I _n in %	P/P _n in %	Q _{b, max ind} /P _n in %	Betrag K-Ist	Abw. I _{bsoll} /I _n in %
Urest = 0,85 P 4.03 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	30,00	-6,82%	21,24%	-33,62%	48,32%	-29,04%	3,113	0,77%	5,26%	-15,66%	-15,66%	-0,05%	-0,82%	2,977	-0,12%
Urest = 0,80 P 4.04 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	30,00	-8,16%	25,53%	-29,33%	47,89%	-24,94%	3,128	1,05%	6,96%	-20,75%	-20,75%	-0,09%	-1,44%	2,982	-0,12%
Urest = 0,75 P4.05 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	30,00	-9,51%	29,36%	-25,49%	48,29%	-21,33%	3,088	0,84%	8,74%	-26,10%	-26,10%	-0,15%	-2,28%	2,985	-0,13%
Urest = 0,35 P 4.06 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	1,00	-21,21%	65,66%	10,80%	20,38%	7,78%	3,095	2,01%	23,23%	-69,62%	-69,62%	-0,66%	-16,16%	2,997	-0,08%
Urest = 0,35 P 4.06a 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	1,00	-21,21%	65,66%	10,80%	20,38%	7,78%	3,095	2,01%	23,23%	-69,62%	-69,62%	-0,66%	-16,16%	2,997	-0,08%
Urest = 0,30 P 4.07 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	0,76	-22,52%	69,64%	14,78%	13,86%	10,45%	3,093	2,09%	25,18%	-75,43%	-75,43%	-0,65%	-18,98%	2,996	-0,11%
Urest = 0,15 P 4.08 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	0,36	-28,22%	79,14%	24,29%	0,51%	15,78%	2,804	-5,52%	33,01%	-75,41%	-75,41%	-0,43%	-24,87%	2,284	0,41%
Urest = 0,10 P4.09 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	0,36	-30,42%	80,84%	25,98%	0,49%	16,31%	2,657	-10,43%	36,11%	-73,63%	-73,63%	-0,42%	-26,57%	2,039	-1,37%
Urest = 0,10 P4.09a 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	0,36	-30,42%	80,85%	25,99%	0,49%	16,32%	2,657	-10,42%	36,12%	37,83%	37,83%	-22,79%	13,65%	1,047	-37,17%
Urest = 0,05 P4.10 2ph / Uvor= 105 % 0,5Pn/ k=3 /max.ind	0,36	-32,52%	82,60%	27,74%	0,47%	16,84%	2,540	-14,95%	38,53%	-71,80%	-71,80%	-0,37%	-27,64%	1,864	-3,20%
Urest = 0,95 P5.01 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	60,00	-3,00%	0,90%	32,88%	90,00%	34,90%	0,301	0,90%	1,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000	0,00%
Urest = 0,90 P 5.02 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	60,00	-5,98%	1,86%	33,84%	90,02%	34,91%	0,311	1,86%	3,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000	0,00%



Plausibilitätsprüfung FGW TR4, Kap. 5.5.2 Tbl. 5-5	Mitsystem								Gegensystem							
	t _{ein} in s	ΔU _{pos} /U _n in %	ΔI _{bpos} /I _n in %	I _{bpos} /I _n in %	P/P _n in %	Q _{b, max ind} /P _n in %	Betrag K-Ist	Abw. I _{bsoll} / I _n in %	ΔU _{pos} /U _n in %	ΔI _{bpos} /I _n in %	I _{bpos} /I _n in %	P/P _n in %	Q _{b, max ind} /P _n in %	Betrag K-Ist	Abw. I _{bsoll} /I _n in %	
Urest = 0,85 P5.03 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	30,00	-8,93%	2,86%	34,83%	90,02%	34,91%	0,320	2,86%	4,93%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000	0,00%	
Urest = 0,80 P5.04 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	30,00	-11,85%	3,90%	35,88%	90,01%	34,91%	0,329	3,90%	6,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000	0,00%	
Urest = 0,75 P5.05 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	30,00	-15,19%	11,05%	43,02%	55,87%	40,57%	0,727	-28,45%	7,83%	-2,02%	-2,02%	-0,24%	-0,12%	0,258	-5,92%	
Urest = 0,35 P5.06 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	1,00	-38,02%	28,10%	65,75%	0,53%	44,71%	0,739	1,53%	24,60%	19,69%	19,69%	-6,85%	4,84%	-0,801	-7,31%	
Urest = 0,30 P5.07 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	0,76	-44,49%	26,26%	66,09%	0,50%	42,65%	0,590	-0,71%	27,10%	17,12%	17,12%	-7,65%	4,63%	-0,632	-9,88%	
Urest = 0,15 P5.08 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	0,36	-59,14%	25,44%	65,27%	0,39%	32,57%	0,430	-10,56%	31,25%	9,80%	9,80%	-10,22%	3,06%	-0,314	-19,20%	
Urest = 0,10 P5.09 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	0,36	-68,73%	23,58%	63,41%	0,31%	25,56%	0,343	-13,42%	33,61%	-0,79%	-0,79%	-11,99%	-0,26%	0,023	-27,79%	
Urest = 0,10 P5.09a 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	0,36	-68,73%	23,58%	63,41%	0,31%	25,56%	0,343	-13,42%	33,62%	-30,51%	-30,51%	6,23%	-10,25%	0,908	-57,51%	
Urest = 0,05 P5.10 2pE / Uvor= 100 % 0,9Pn/ k=10 /max. kap	0,36	-72,20%	22,65%	62,47%	0,29%	23,02%	0,314	-14,35%	34,55%	-8,97%	-8,97%	-12,09%	-3,10%	0,260	-35,97%	
Bemerkungen: - Nach /H1/ beträgt der Effektivwert des Kurzschlussstroms (Alle Phasen → N → PE, über 100 ms) 44,4 A (≈ 1,14 p.u.). Somit kann der Wechselrichter während eines Kurzschluss ses fache seines Bemessungsstroms einspeisen. Der Sollwert des eingespeisten Blindstroms wurde unter berücksichtigung dieses Werts berechnet. - Bei Plausibilitätsprüfungen P2.01 bis P2.04 und P5.01 bis P5.04 liegt die Fehlerspannung oberhalb von 0,9 U _n . Somit wechselt der Wechselrichter nicht im FRT-Modus. - Bei Plausibilitätsprüfungen P2.05 bis P2.10 und P5.05 bis P5.10 speist der Wechselrichter während des Fehlers mit seinem maximalen Blindstrom. So kann der eingespeiste Blindstrom nicht nach k-Faktor weiter erhöht werden.																