

**Bestimmung der elektrischen Eigenschaften
an der Verbrennungskraftmaschine
SH-500 Liebherr
des Herstellers Sommer energy GmbH
in Kirchdorf an der Iller / Deutschland
nach FGW TR 3, Rev. 24**

Bericht

2020-11-02

NV16012N3B1

**Bestimmung der elektrischen Eigenschaften
an der Verbrennungskraftmaschine
SH-500 Liebherr
des Herstellers Sommer energy GmbH
in Kirchdorf an der Iller / Deutschland
nach FGW TR 3, Rev. 24**

Bericht NV16012N3B1

Standort:	Kirchdorf an der Iller / Deutschland
------------------	--------------------------------------

Auftraggeber:	Sommer energy GmbH Unterer Koppenhagen 52 37355 Niederorschel OT Deuna
----------------------	--

Auftragnehmer:	windtest grevenbroich gmbh Frimmersdorfer Str. 73 a D-41517 Grevenbroich
-----------------------	--

Datum der Auftragserteilung:	2017-01-01	Auftragsnummer:	17 0020 09
-------------------------------------	------------	------------------------	------------

Geprüft von:

Bearbeitet von:

Dipl.-Ing. Achilleas Xonikis
(Projektmanager)

M. Sc. Annemarie Slonina
(Projektmanager)

Grevenbroich, 2020-11-02

Dieser Bericht darf nur in Auszügen mit schriftlicher Zustimmung der windtest grevenbroich gmbh kopiert werden.



1	AUFGABENSTELLUNG	5
2	ALLGEMEINE INFORMATIONEN	6
	2.1 Darstellung der Diagramme und Tabellen	6
	2.2 Erzeugungseinheit	7
	2.3 Standort	9
	2.4 Netzdaten	9
3	MESSSYSTEM	10
	3.1 Signale und Wandler	10
	3.2 Datenlogger	12
	3.3 Software	13
	3.4 LVRT-Prüfeinrichtung	13
	3.5 Abgriff der Signale	16
	3.5.1 Niederspannung (Spannungs- und Strommessung)	16
	3.5.2 Mittelspannung (Spannungs- und Strommessung)	17
	3.5.3 Sollwert- und Anlagensignale	17
4	MESSUNG UND AUSWERTUNG	24
	4.1 Wirkleistungsabgabe	24
	4.1.1 Gemessene Daten	24
	4.1.2 Wirkleistungsspitzen	25
	4.1.3 Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber	27
	4.1.3.1 Einstellgenauigkeit	27
	4.1.3.2 Einschwingzeit	29
	4.1.4 Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung	31
	4.1.5 Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit	35
	4.2 Blindleistungsbereitstellung	37
	4.2.1 Gemessene Daten	37
	4.2.2 Blindleistungsverhalten bei $Q = 0$	38
	4.2.3 PQ-Diagramm	40
	4.2.4 Blindleistung nach Sollwertvorgabe	42
	4.2.4.1 Einstellgenauigkeit	42
	4.2.4.2 Einschwingzeit	49
	4.2.5 Q(U) Regelung	58
	4.3 Netzzrückwirkungen	67
	4.3.1 Gemessene Daten	67
	4.3.2 Testbedingungen	68
	4.3.3 Fiktives Verbundnetz zur Bestimmung der Flickerbeiwerte	69
	4.3.4 Flicker	70
	4.3.5 Schalthandlungen	71
	4.3.5.1 Allgemeine Informationen	71
	4.3.5.2 Ergebnisse	73
	4.3.6 Oberschwingungen	77
	4.3.6.1 Harmonische Ströme	77



4.3.6.2	Harmonische Spannungen.....	80
4.3.6.3	Zwischenharmonische Ströme.....	83
4.3.6.4	Höher frequente Ströme	84
4.3.7	Unsymmetrie.....	86
4.4	Trennung der EZE vom Netz.....	88
4.4.1	Durchführung der Messung	88
4.4.2	Prüfung der Gesamtwirkungskette	88
4.5	Nachweis der Zuschaltbedingungen	90
4.6	Verhalten bei Störungen im Netz (LVRT).....	91
4.6.1	Messdaten	91
4.6.2	Verwendete Impedanzen, Kurzschlussleistung während der Tests	92
4.6.3	Test Nr. 1.1.0 Leerversuch	93
4.6.4	Test Nr. 1.1.1	95
4.6.5	Test Nr. 1.1.2	104
4.6.6	Test Nr. 1.2.0 Leerversuch	113
4.6.7	Test Nr. 1.2.1	115
4.6.8	Test Nr. 1.2.2	124
4.6.9	Test Nr. 2.1.0 Leerversuch	133
4.6.10	Test Nr. 2.1.1	135
4.6.11	Test Nr. 2.1.2	144
4.6.12	Test Nr. 2.2.0 Leerversuch	153
4.6.13	Test Nr. 2.2.1	155
4.6.14	Test Nr. 2.2.2	164
4.6.15	Test Nr. 3.1.0 Leerversuch	173
4.6.16	Test Nr. 3.1.1	175
4.6.17	Test Nr. 3.1.2.a	184
4.6.18	Test Nr. 3.1.2.b	193
4.6.19	Test Nr. 3.1.2.c	202
4.6.20	Test Nr. 3.2.0 Leerversuch	211
4.6.21	Test Nr. 3.2.1	213
4.6.22	Test Nr. 3.2.2	222
5	ABWEICHUNGEN ZUR NORM	231
6	UNSICHERHEITSBERECHNUNG.....	232
6.1	Unsicherheitsberechnung der Niederspannungsebene	232
6.2	Unsicherheitsberechnung der Mittelspannungsebene.....	234
6.2.1	Messpunkt: Mittelspannung, EZE-seitig.....	234
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	235
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	238
9	ANHANG.....	239



1 Aufgabenstellung

Die windtest grevenbroich gmbh (wtg) wurde von der Firma Sommer energy GmbH beauftragt, an der Verbrennungskraftmaschine (VKM) des Typs SH-500 Liebherr, Messungen gemäß der „Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten, Teil 3: Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz“ (TR 3) Revision 24 /1/, zur Erlangung des Einheitenzertifikats gemäß der BDEW Mittelspannungsrichtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ /2/ durchzuführen.

Die Messungen wurden im Zeitraum von 2016-08-23 bis 2016-08-30 in Kirchdorf an der Iller / Deutschland durchgeführt.

Gemäß /1/ wurden Messungen und Auswertungen zu den folgenden Bereichen durchgeführt:

- Wirkleistungsabgabe
- Blindleistungsbereitstellung
- Netzurückwirkungen
- Trennung vom Netz: Prüfung der Gesamtwirkungskette
- Verhalten bei Störungen im Netz (LVRT)



2 Allgemeine Informationen

2.1 Darstellung der Diagramme und Tabellen

Alle in diesem Bericht aufgeführten Diagramme sind im Erzeugerzählpeilsystem dargestellt, d. h. erzeugte Wirkleistung und kapazitive Blindleistung (übererregter Betrieb des Generators) sind positiv dargestellt, benötigte Wirkleistung und induktive Blindleistung (untererregter Betrieb des Generators) sind negativ dargestellt. Der Hersteller gibt folgende Daten für die Erzeugungseinheit (EZE) an:

- Nennwirkleistung: $P_n = 500 \text{ kW}$
- Nennspannung: $U_n = 400 \text{ V}$
- Nennstrom: $I_n = 721,7 \text{ A}$
(berechnet bei P_n , U_n und $\cos(\varphi) = 1$)



2.2 Erzeugungseinheit

Die zu überprüfende EZE war eine Verbrennungskraftmaschine des Typs SH-500 Liebherr mit folgenden technischen Daten:

Tab. 1: Technische Daten

EZE	
Hersteller	Sommer energy GmbH
Betriebsweise	wärmegeführt
Anlagenbezeichnung, Seriennummer	SH-500 Liebherr, 2014 06 05
Nennleistung	500 kW
Nennspannung	400 V
Beitrag zum Kurzschlussstrom	8 x I _n kA
Verbrennungskraftmaschine	
Hersteller	Liebherr
Typenbezeichnung, Seriennummer	G9512
Art	VKM
Brennstoff	Erdgas
Nennleistung	515 kW
Nenndrehzahl	1.500 rpm
Generator	
Hersteller	Leroy somer
Typenbezeichnung, Seriennummer	LSA 49.1 M6 C 6S/4, SN: 311382/1
Art	synchron
Nennleistung	580 kW
Nennscheinleistung	725 kVA
Bereich Leistungsfaktor	+/-0,95 ¹
Nennspannung	400 V
Frequenz	50 Hz
Nenndrehzahl	1.500 rpm
Betriebsführung / Regelung	
Art der Leistungsregelung	PID
Hersteller der Betriebsführung / Regelung	Sommer energy GmbH
Typenbezeichnung	PLC ET200S

¹ Der Generator verfügt laut Typenschild von Leroy Somer über einen Power Factor von 0,8. Der Hersteller für die EZE gibt für seine Anlage den Power Factor von +/-0,95 an.



Der Transformator hat die folgenden technischen Daten.

Tab. 2: Technische Daten des Transformators

Hersteller	Starkstrom Gerätebau GmbH Regensburg	
Typ, Seriennummer	DTTHBL 630/20 , 272283	
Schaltgruppe	Dyn5	
Nennscheinleistung	S_n	630 kVA
Nennspannung (Oberspannungsseite)	U_{1n}	20 kV
Nennspannung (Unterspannungsseite)	U_{2n}	400 V
Kurzschlussspannung	u_k	6 %
Einstellung Stufenschalter	Stufe 3 (20.000/400)	

Abb. 1 zeigt die Seitenansicht der EZE.



Abb. 1: Seitenansicht der EZE



2.3 Standort

Die EZE befindet sich auf dem Firmengelände der Liebherr GmbH in Kirchdorf an der Iller / Deutschland.

2.4 Netzdaten

Die Angaben an der Übergabestation Liebherr Sprinkler betragen laut Netzbetreiber:

Tab. 3: Netzdaten (Netzbetreiber)

Maximale Kurzschlussleistung	S_{kmax}	160 MVA
Minimale Kurzschlussleistung	S_{kmin}	138 MVA
Nennspannung	U_n	20 kV
Netzimpedanzwinkel (S_{kmin})	ψ_k	-72,6°



3 Messsystem

Das Messsystem beinhaltet die folgenden Komponenten:

- Signalwandler
- Isolierter Verstärker
- Antialiasing-Filter
- A/D Wandler
- Computer System

3.1 Signale und Wandler

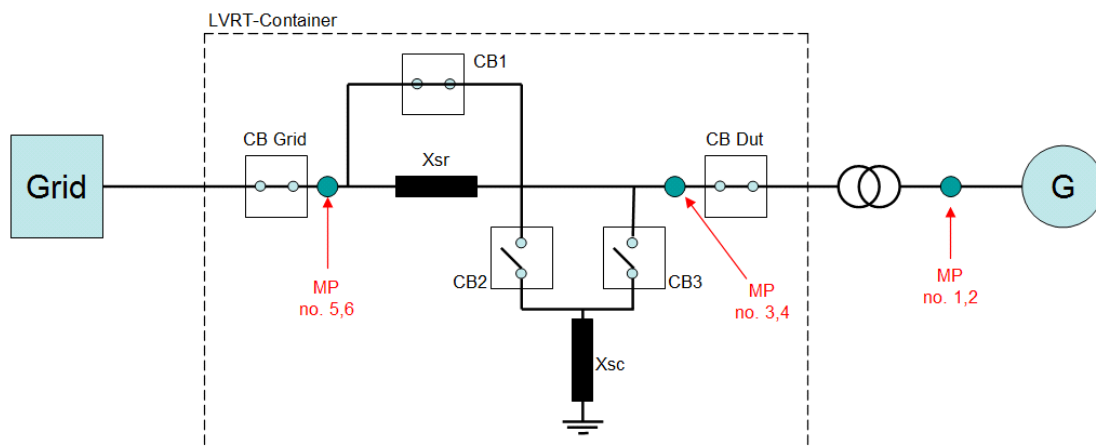


Abb. 2: Einphasiges Diagramm mit markierten Messpunkten

Für die Messung wurden folgende Signale und Wandler genutzt:

Tab. 4: Wandler „Messung: elektrische Eigenschaften“

Messpunkt	Gemessenes Signal	Signalgeber	Serien-Nr.	Genauigkeit des Wandlers
1	3 x Strom 400 V EZE-Seite	Flexibel Stromwandler ("Rogowski" Spulen)	I1: 124629 JCV I2: 124630 JCV I3: 124639 JCV	Klasse 1,0 ²
2	3 x Spannung 400 V EZE-Seite	direkter Abgriff	--	--

² Die Angabe der Genauigkeitsklasse der Stromwandler bezieht sich auf die Herstellerangabe des Wandlers vor der Werkskalibrierung durch windtest grevenbroich gmbh.



Tab. 5: Wandler „Messung: LVRT“

Messpunkt	Gemessenes Signal	Signalgeber	Serien-Nr.	Genauigkeit des Wandlers
1	3 x Strom 400 V NS-EZE-Seite	Flexible Stromwandler ("Rogowski" Spulen)	I1: 131602 NGV I2: 122152 JCV I3: 174818 HKV	Klasse 1,0
2	3 x Spannung 400 V NS-EZE-Seite	direkter Abgriff	--	--
3	3 x Strom 20 kV MS-EZE-Seite	Flexible Stromwandler ("Rogowski" Spulen)	I1: 140291 JFV I2: 140289 JFV I3: 167767 HJV	Klasse 1,0
4	3 x Spannung 20 kV MS-EZE-Seite	Spannungswandler	U1: 10/30719096 und 07/50067204 U2: 10/30719097 und 07/50085363 U3: 10/30719098 und 07/50067203	Klasse 0,2
5	3 x Strom 20 kV MS-GRID-Seite	Durchsteck-Stromwandler	I1: 2013.3025.01/001 I2: 2013.3025.01/002 I3: 2013.3025.01/003	Klasse 0,2
6	3 x Spannung 20 kV MS-GRID-Seite	Spannungswandler	U1: 10/30719093 und 07/50085362 U2: 10/30719094 und 07/50067205 U3: 10/30719095 und 07/50085364	Klasse 0,2



3.2 Datenlogger

Folgendes Messsystem wurde genutzt:

Tab. 6: Datenlogger

System	A/D Wandler	Filter	QM-Nummer
IMC Cronos CRFX-2000G	16 bit	-	Ser.-Nr.: 190290
HV Karte CRFX/HV-2U2I	16 bit	Automatic antialiasing	WTG0312005
HV Karte CRFX/HV-2U2I	16 bit	Automatic antialiasing	WTG0316062
HV Karte CRFX/HV-4U	16 bit	Automatic antialiasing	WTG0314009
ISO Karte CRFX/ISO2-8	16 bit	Automatic antialiasing	WTG0315025
ISO Karte CRFX/ISO2-8	16 bit	Automatic antialiasing	WTG0313007
ISO Karte CRFX/ISO2-8	16 bit	Automatic antialiasing	WTG031604
HRENC-4 Karte	16 bit	-	WTG0316050

Die windtest grevenbroich gmbh kann auf Anfrage weitere Informationen über die verwendete Messtechnik zur Verfügung stellen.



3.3 Software

Für Messung und Auswertung wurde die in Tab. 7 aufgeführte Software genutzt:

Tab. 7: Hardware und Software

Name	Hersteller	Version	Nutzen
IMC Devices	imc Test & Measurement GmbH	2.8R5 SP8	Datenerfassung
Online-Famos	imc Test & Measurement GmbH	2.8R5 SP8	Datenerfassung
Famos	imc Test & Measurement GmbH GmbH	6.0 Rev 8	Datenanalyse
WTG Technik	windtest grevenbroich gmbh	05.12.2014 15:54:28 01.08.2019 12:09:11	Datenanalyse

3.4 LVRT-Prüfeinrichtung

Die LVRT-Prüfeinrichtung wurde von der FGH Test Systems GmbH entwickelt und mittelspannungsseitig zwischen Mittelspannungsnetz und VKM geschaltet. Abb. 3 zeigt das einphasige Ersatzschaltbild der LVRT-Prüfeinrichtung.

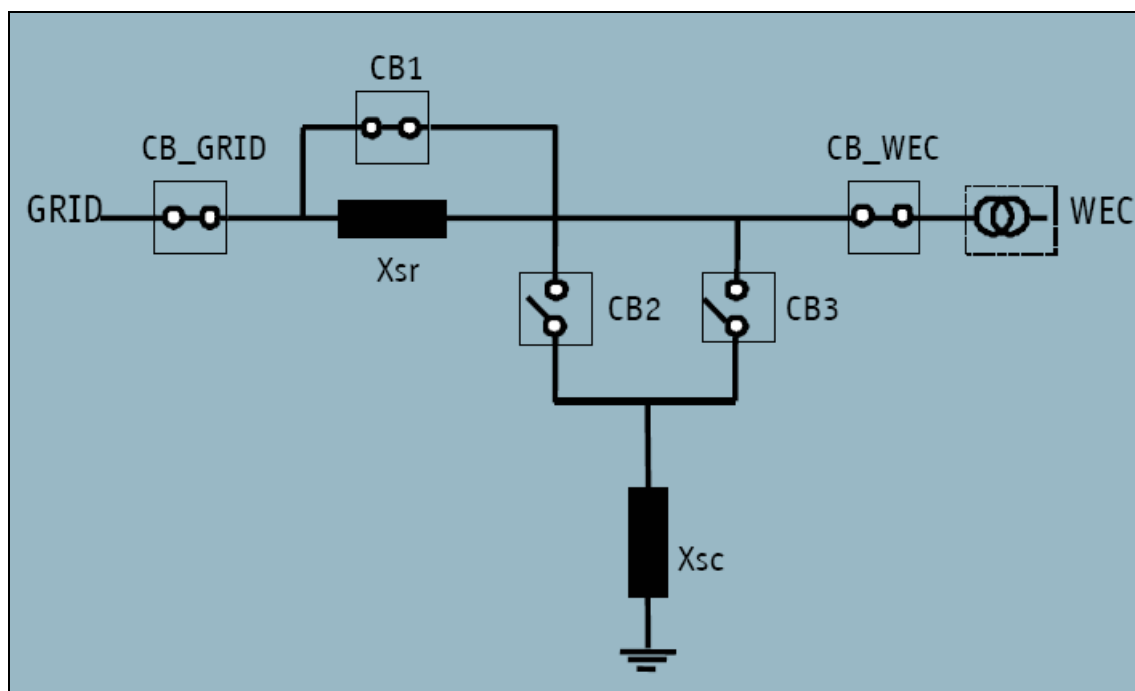


Abb. 3: Einphasiges Ersatzschaltbild der LVRT-Prüfeinrichtung



In Tab. 8 sind die einzelnen Schalter und Impedanzen beschrieben.

Tab. 8: Schalter und Impedanzen

Bauteil	Beschreibung
CB_GRID	Leistungsschalter: Zuschaltung der Netzseite
CB-WEC	Leistungsschalter: Zuschaltung der VKM-Seite
CB1	Leistungsschalter: Zuschaltung Serienimpedanz
CB2	Leistungsschalter: Kurzschlusschalter 1
CB3	Leistungsschalter: Kurzschlusschalter 2
Xsr	Serienimpedanz
Xsc	Kurzschlussimpedanz

Abb. 4 zeigt das dreiphasige Ersatzschaltbild der LVRT-Prüfeinrichtung. windtest grevenbroich gmbh kann auf Anfrage weitere Informationen über die verwendete LVRT-Prüfeinrichtung zur Verfügung stellen.

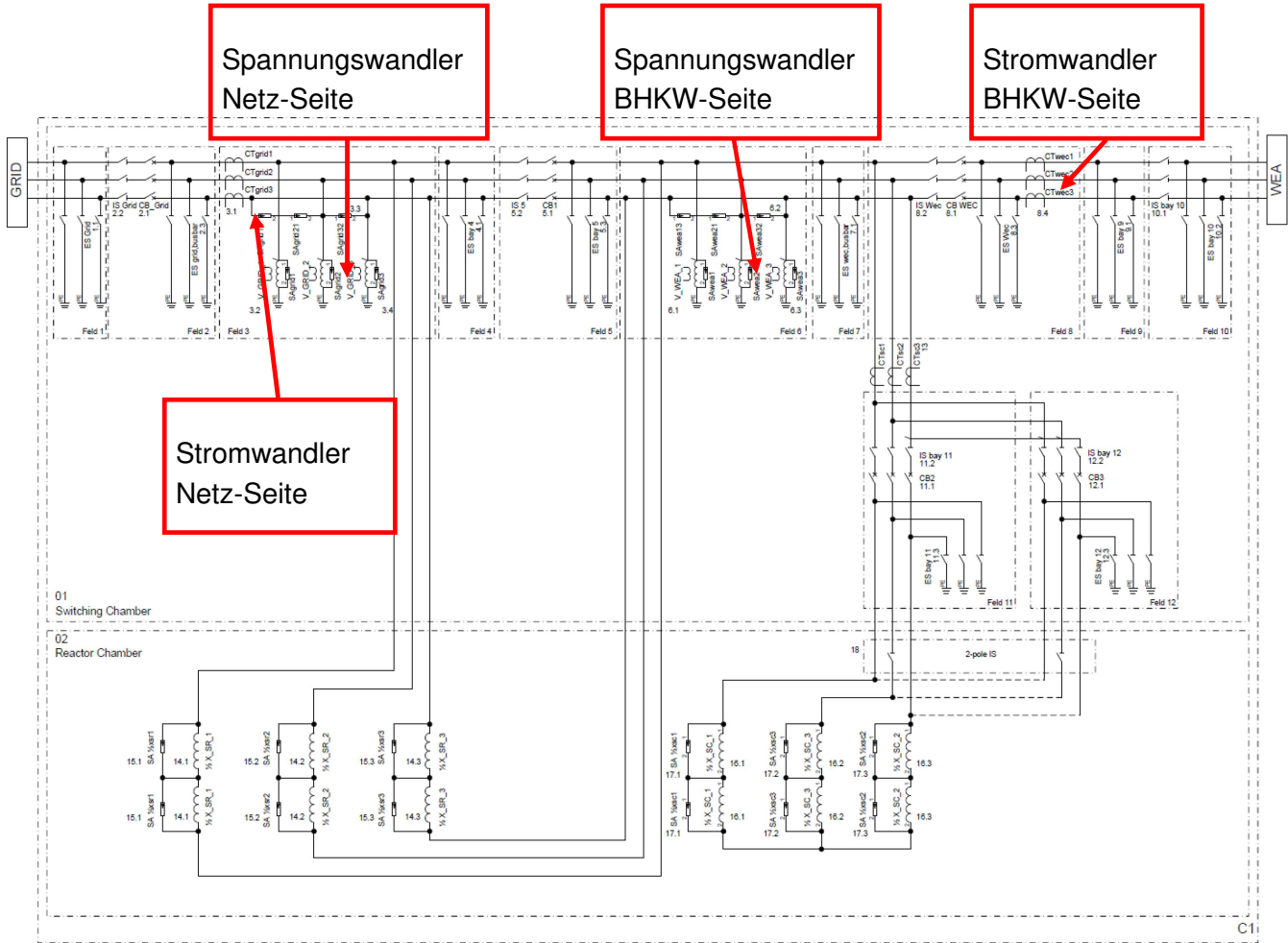


Abb. 4: Dreiphasiges Ersatzschaltbild der LVRT-Prüfeinrichtung





3.5 Abgriff der Signale

3.5.1 Niederspannung (Spannungs- und Strommessung)

Die Spannungen der Niederspannungsseite wurden direkt im Schaltschrank der EZE abgegriffen.



Abb. 5: Direkter Spannungsabgriff an der EZE

Die Ströme wurden mittels flexiblen Stromwandlern (Rogowski-Spulen) an den Leistungskabeln des Generators gemessen.

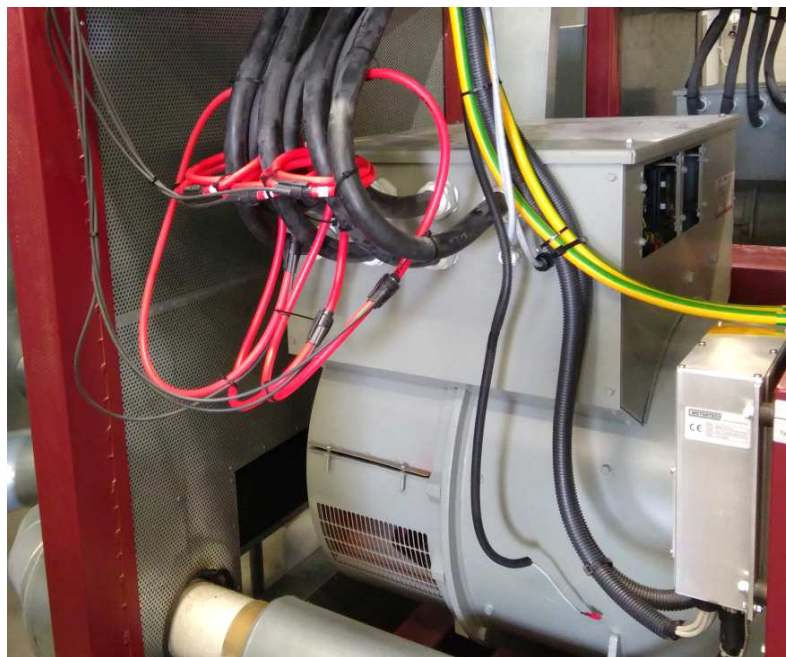


Abb. 6 Stromabgriff mittels Stromwandler an den Leistungskabel



3.5.2 Mittelspannung (Spannungs- und Strommessung)

Die Spannungen der Mittelspannungsseite wurden mittels Spannungswandler im Prüfcontainer abgegriffen.

Die Ströme der Mittelspannungsseite wurden mittels Stromwandlern (Rogowski-Spulen an EZE – Seite und Durchsteckstromwandler (Netz- Seite)) im Prüfcontainer abgegriffen.

Die Eigenschaften der Wandler sind in Kap 3.1 beschrieben.

3.5.3 Sollwert- und Anlagensignale

Es wurden diverse Sollwertsignale aus dem Schaltschrank abgegriffen. Die Signale wurden entsprechend skaliert.

Tab. 9: Sollwert- und Anlagensignale

Messung/ (Signal)	Kapitel	Abgriff	Signal ausgang	Skalierung
Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber/ (Wirkleistungssollwertsignal)	4.1.3	Messtrennklemmen 1 und 2	0...10 V	0...500 kW
Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung/ (Frequenzsollwertsignal)	4.1.4	Messtrennklemmen 3 und 4	0...10 V	50...52 Hz
PQ-Diagramm, Blindleistungssollwertvorgabe/ (Blindleistungssollwertsignal)	4.2.3/ 4.2.4	Messtrennklemmen 5 und 6	0...10 V	0,95 untererregt... 0,95 übererregt Bei 100% P _n : - 320...+320 kvar Bei 60% P _n : - 195...+195 kvar
Q(U) Regelung/ (Spannungssollwertsignal)	4.2.5	Messtrennklemmen 7 und 8	1...9 V	0,96...1,04 U/U _n
Trennung der EZE vom Netz (Netzschutzauslösesignal)	4.4	Ziehl: UFR 1001 E	0...24 V	--



In den folgenden Abbildungen sind detaillierte Beschreibungen und Funktionsweisen zu den Sollwert- und Anlagensignalen dargestellt.


Sommer energy Hauptstrasse 52 D-37355 Deuna Tel. +49(0)36076/410249 Fax +49(0)36076/418139 www.sommer-energy.de				Blockheizkraftwerke Notstromaggregate Automation Prozessvisualisierung Energiemanagement															
Kunde : Liebherr Anlagenbezeichnung : 500kW-Erdgas Zeichnungsnummer : E0044 rev.2 Kommission : 2014019																			
Hersteller (Firma) : Sommer energy																			
Projektname : Liebherr 1 Fabrikat : Sommer energy Typ : SH-500 Liebherr Installationsort : Oberopfingen Projektverantwortlicher : Klaus Sommer Teilebesonderheit : Erdgas																			
Erstellt am : 16.07.2014 Bearbeitet am : 16.04.2015		von		Anzahl der Seiten : 46															
<table border="1"> <tr> <td>Reviz.</td> <td>Datum</td> <td>Nr.</td> <td>Ursache</td> <td>Erstellt durch</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Reviz.	Datum	Nr.	Ursache	Erstellt durch						500kW Liebherr Oberopfingen 1 Sommer energy Decid/Lut		<table border="1"> <tr> <td>Blatt</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>		Blatt		1	2
Reviz.	Datum	Nr.	Ursache	Erstellt durch															
Blatt																			
1	2																		

Abb. 7: Auszug des Schaltplans zur Klemmenbezeichnung

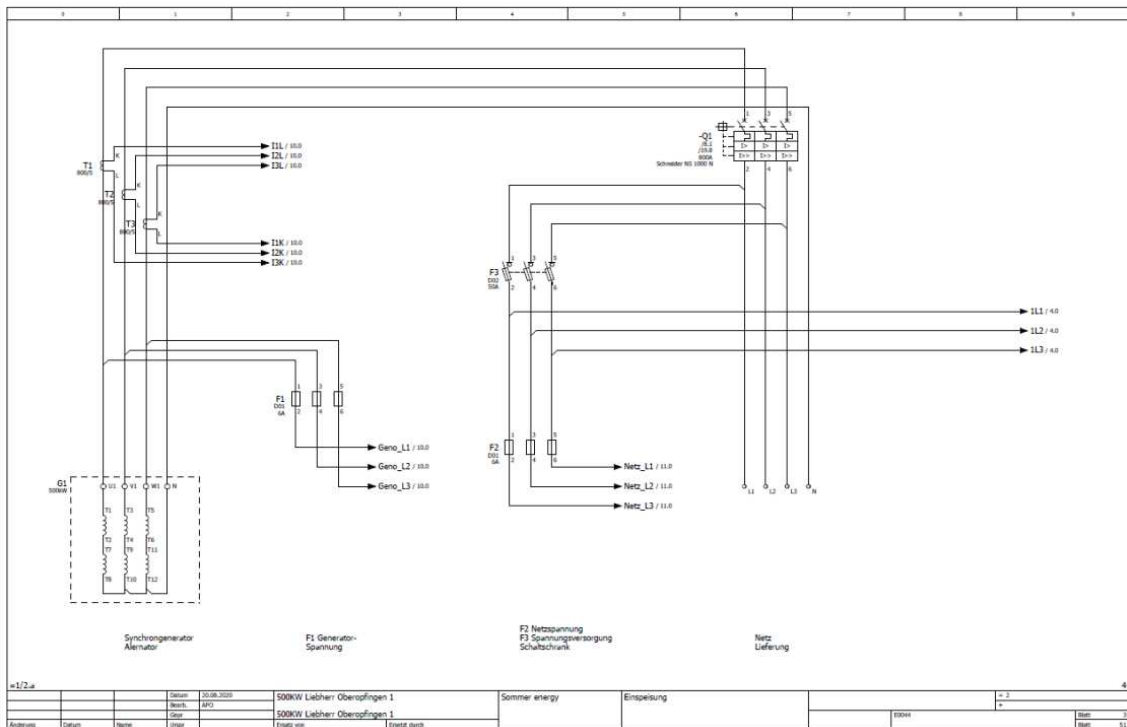


Abb. 8: Schaltplan zur Einspeisung

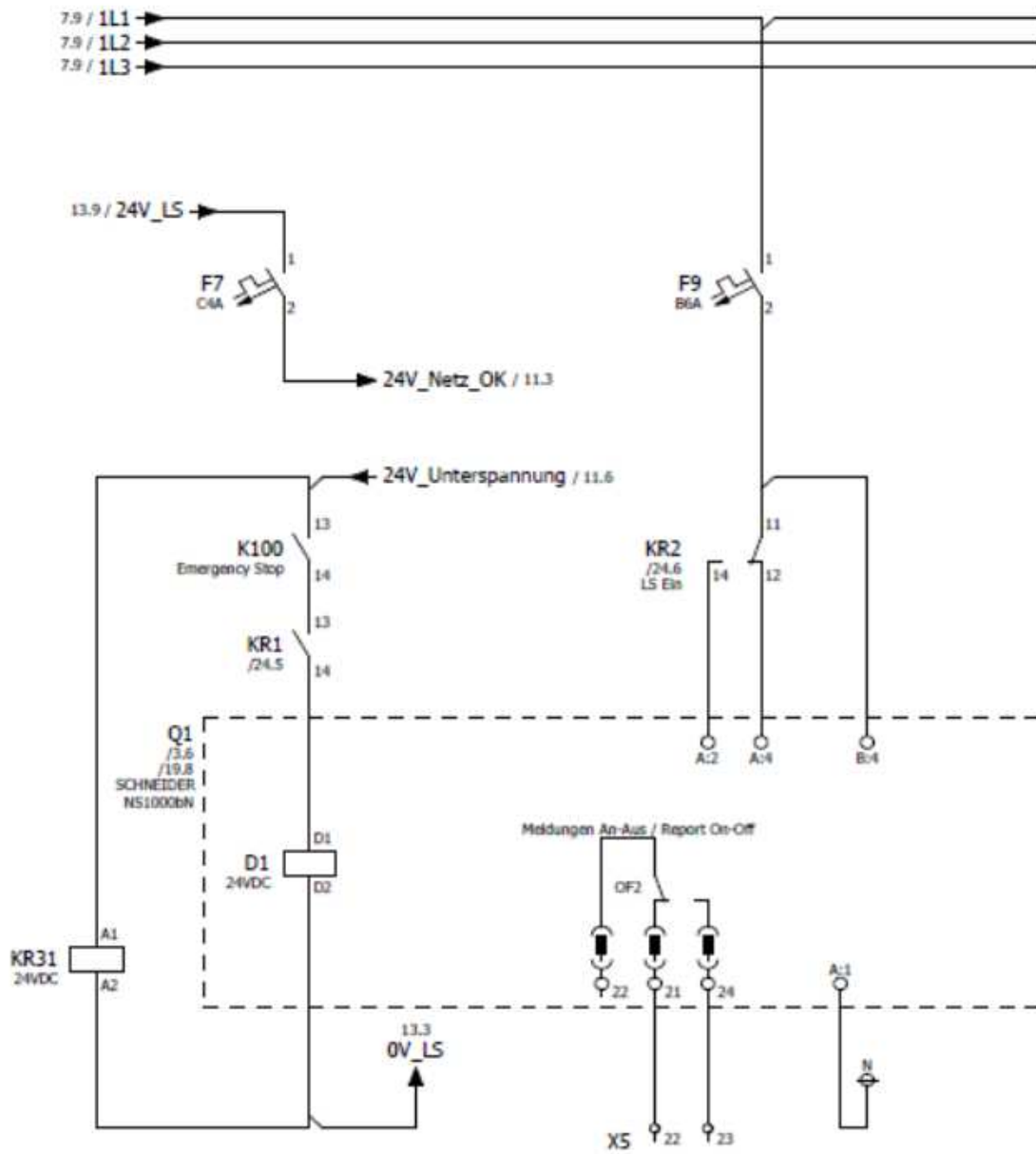


Abb. 9: Schaltplan zum Abgriff Rückmeldung Leistungsschalter

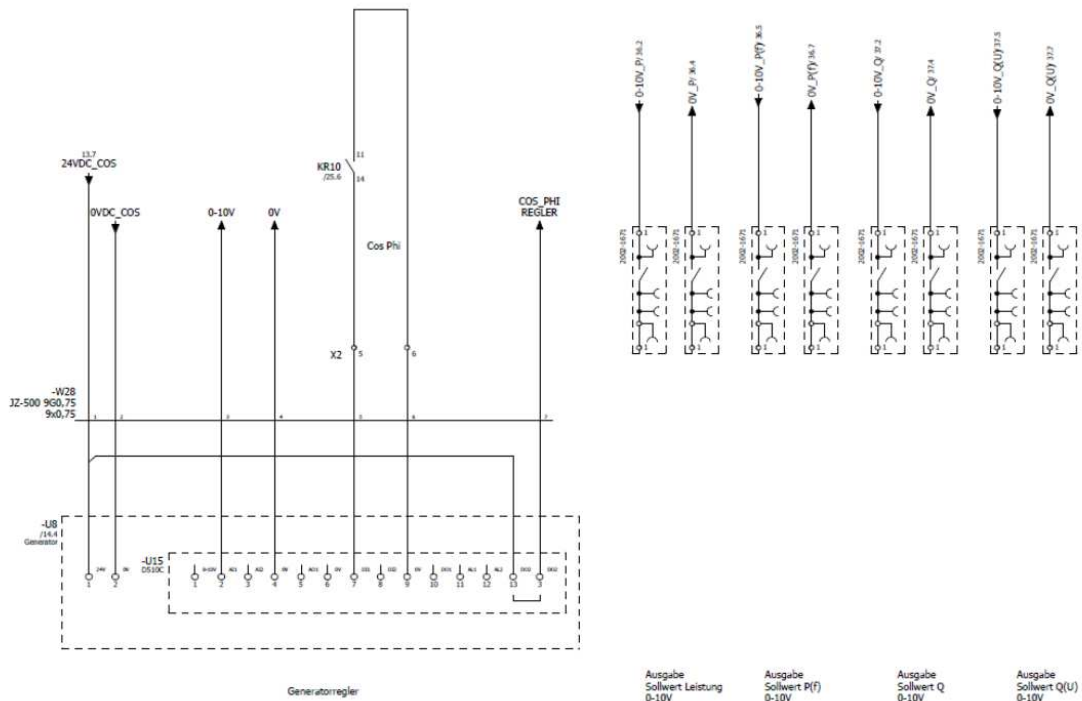


Abb. 10: Schaltplan zu den Messtrennklemmen bei der Vermessung

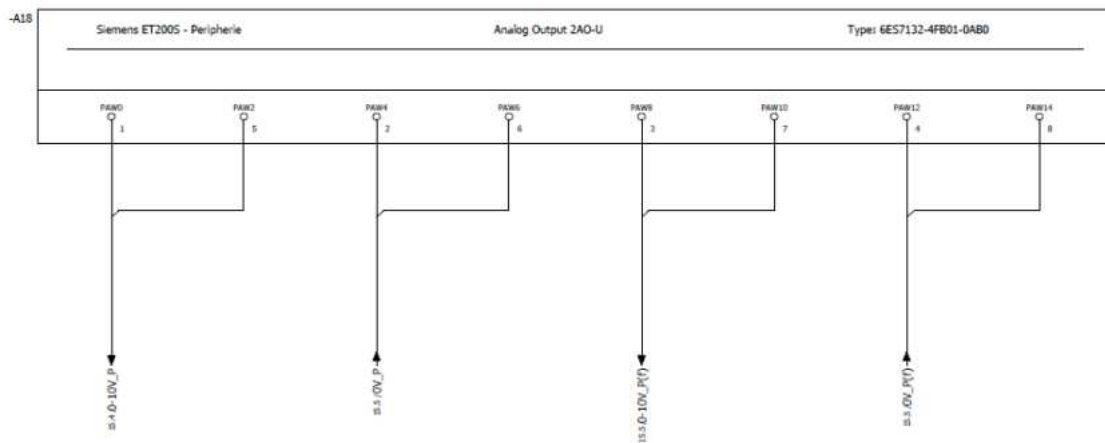


Abb. 11: Schaltplan zu den Anschlusstrennklemmen an der SPS

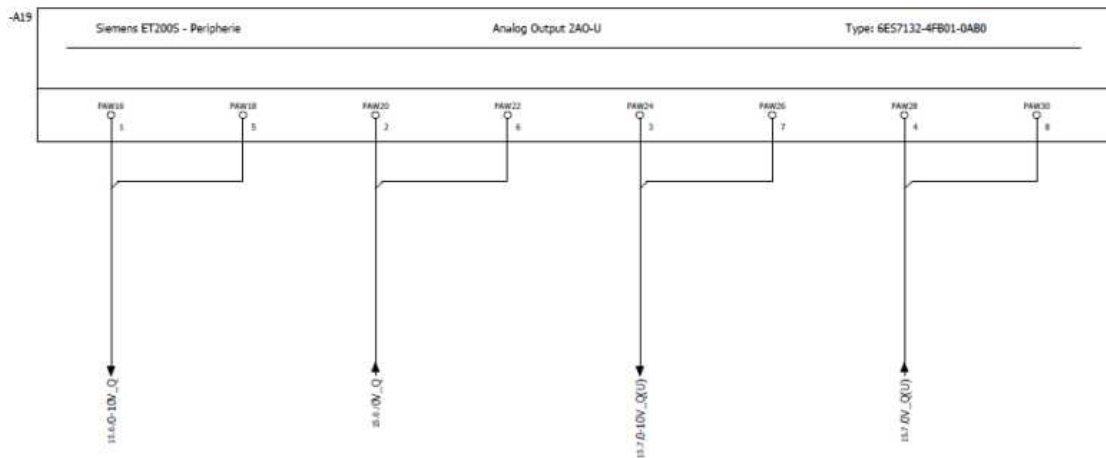


Abb. 12: Schaltplan des Anschlusses der SPS an den Trennklemmen

Der Meldekontakt des Leistungsschalters ist der Kontakt X5: 22/23 (NO) (Prüfung der Gesamtwirkungskette).

Für die Messung der „Wirkleistungsabgabe“ ist die Funktionsweise der Signale wie folgt:

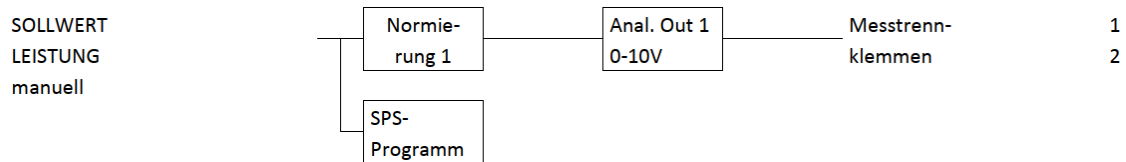


Abb. 13: Signalkette „Wirkleistungsabgabe“

Für die Messung der „Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung“ ist die Funktionsweise der Signale wie folgt:

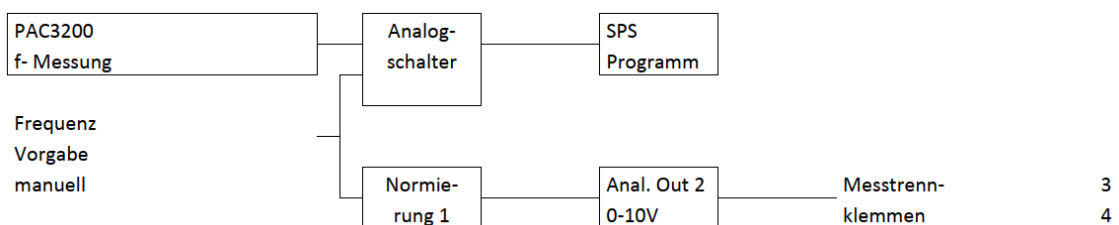


Abb. 14: Signalkette „Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung“



Für die Messung der „Blindleistungsbereitstellung“ ist die Funktionsweise der Signale wie folgt:

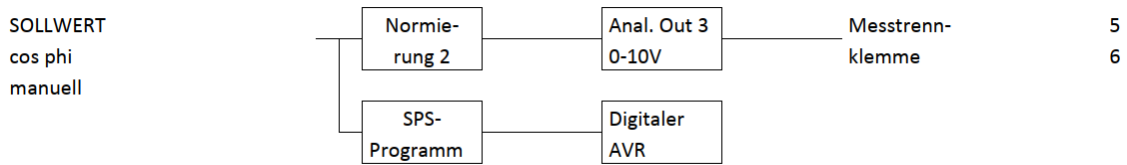


Abb. 15: Signalkette "Blindleistungsbereitstellung"

Für die Messung der „Q(U)-Regelung“ ist die Funktionsweise der Signale wie folgt:

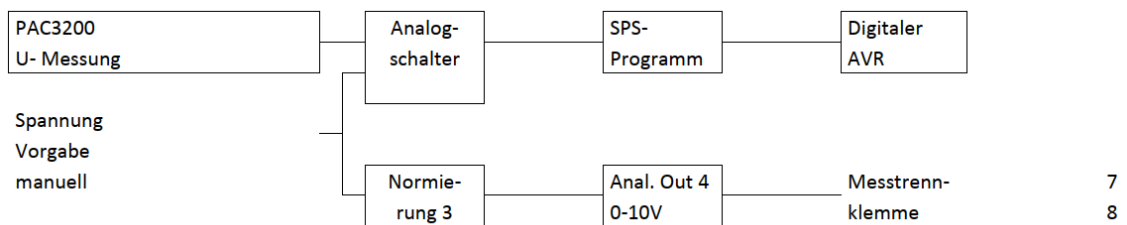


Abb. 16: Signalkette "Q(U)-Regelung"

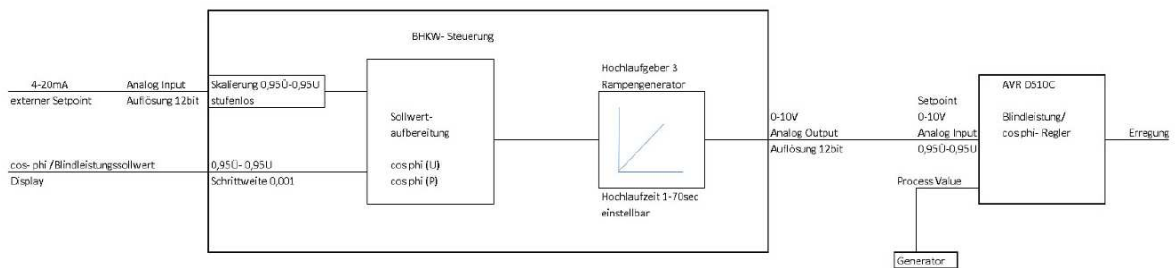


Abb. 17: Skalierung für Q(U)-Regelung bzw. Wirkweise des Hochlaufgebers 3

Ein Schaltplan zu den Messtrennklemmen aus den Abb. 13 bis Abb. 16 sind der Abb. 10 zu entnehmen.



4 Messung und Auswertung

4.1 Wirkleistungsabgabe

4.1.1 Gemessene Daten

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der gemessenen Daten:

Tab. 10: Anzahl der Datensätze für die verschiedenen Messungen

Messung	Daten	Anzahl der Datensätze	Länge der Datensätze	Abtastfrequenz
Wirkleistungsspitzen	2016-08-25 13-56-45 14-13-44	2	600 s	2 kHz
Sollwertvorgabe	2016-08-25 16-56-37 17-16-20	2	unterschiedlich	20 kHz
Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung	2016-08-26 11-17-23	1	755 s	20 kHz
Wirkleistungsgradient	2016-08-26 13-53-01	1	1.022 s	20 kHz



4.1.2 Wirkleistungsspitzen

Die Vermessung der Wirkleistungsspitzen wurde gemäß /1/ durchgeführt. Die Werte für den $P_{0,2}$ und P_{60} wurden aus dem Datensatz 2016-08-25 13-56-45 ermittelt. Der Wirkleistungswert für die 600 s Mittelung (P_{600}) wurde aus dem Datensatz 2016-08-25 14-13-44 entnommen. Die Messung erfolgte unter der Einstellung $Q = 0$ und im normalen Betriebsmodus.

Die Tab. 11 zeigt die ermittelten Werte.

Tab. 11: Ergebnistabelle Wirkleistungsspitzen

Wirkleistungsspitzen [kW]		Normierte Wirkleistungsspitzen [-]		Anzahl der verwendeten 10-Minuten-Datensätze
$P_{0,2}$	515,48	$p_{0,2}$	1,03	2
P_{60}	502,53	p_{60}	1,01	2
P_{600}	502,25	p_{600}	1,00	2

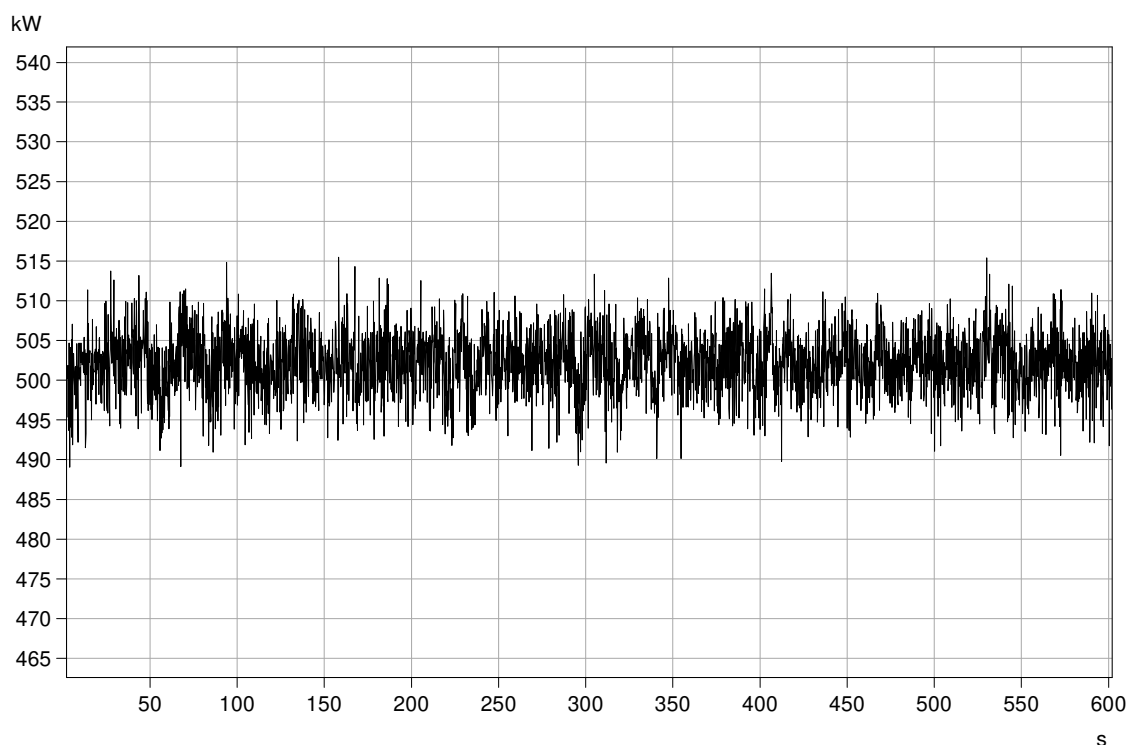


Abb. 18: 200 ms-Mittelwerte der Wirkleistung (Datensatz: 2016-08-25 13-56-45)

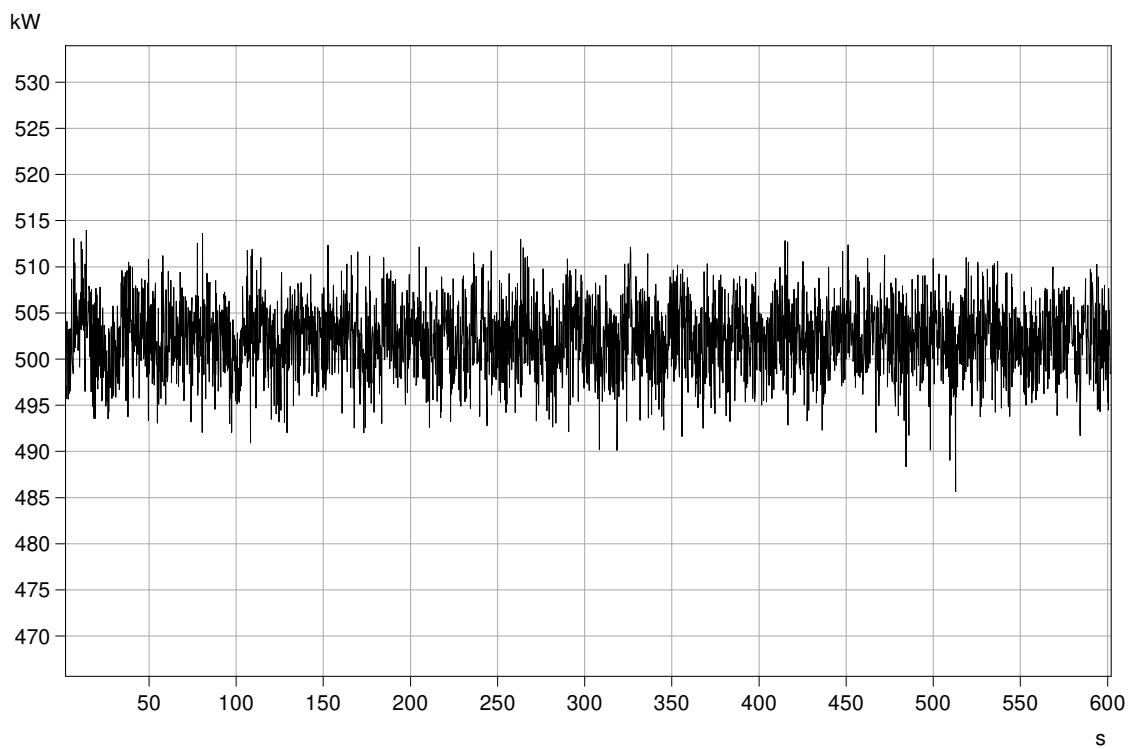


Abb. 19: 200 ms-Mittelwerte der Wirkleistung (Datensatz: 2016-08-25 14-13-44)



4.1.3 Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber

Wirkleistungsregelung / Beschreibung der Umsetzung der Sollwertvorgabe

Die Sollwertvorgabe der Messung "Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber - Einstellgenauigkeit / Einschwingzeit" erfolgte durch eine manuelle Eingabe in der Steuerung der Anlage.

Das Wirkleistungssollwertsignal wurde als 0 bis 10 V Signal aus der Anlagensteuerung entnommen. Das Analogsignal wurde zu 0...500 kW skaliert (siehe auch Sollwertsignale in Kap.0/ Tab. 9). Das Wirkleistungssollwertsignal beinhaltet die Information des Wirkleistungssollwerts, welchen die EZE anfährt.

Der Einstellwert während der Messung für die Steigerung und Reduzierung der Wirkleistung betrug 5,88 kW/s (entspricht 1,17 % P_n/s).

4.1.3.1 Einstellgenauigkeit

Durchführung der Messung

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Zu Beginn der Messung wurde eine Leistung von ca. 502 kW gemessen. Das entspricht einer Leistung von ca. 100,4 % der Nennleistung (P_n).

Die Wirkleistung der EZE wurde in 10 % Schritten mittels Eingabe über ein an der Anlage angeschlossenes Notebook von 100 % P_n bis auf 50 % P_n reduziert. Die minimale Wirkleistung der Anlage beträgt 235 kW, dies entspricht einem Wert von ca. 47 % der Nennleistung (P_n).

Nach jedem Sollwertsprung wurde der EZE eine Minute Zeit gegeben, sich einzuschwingen, danach wurde der 1-Min-Mittelwert der Wirkleistung und des Sollwertsignals berechnet.

Ergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Wirkleistung als 200 ms-Mittelwerte zusammen mit dem Sollwertsignal.

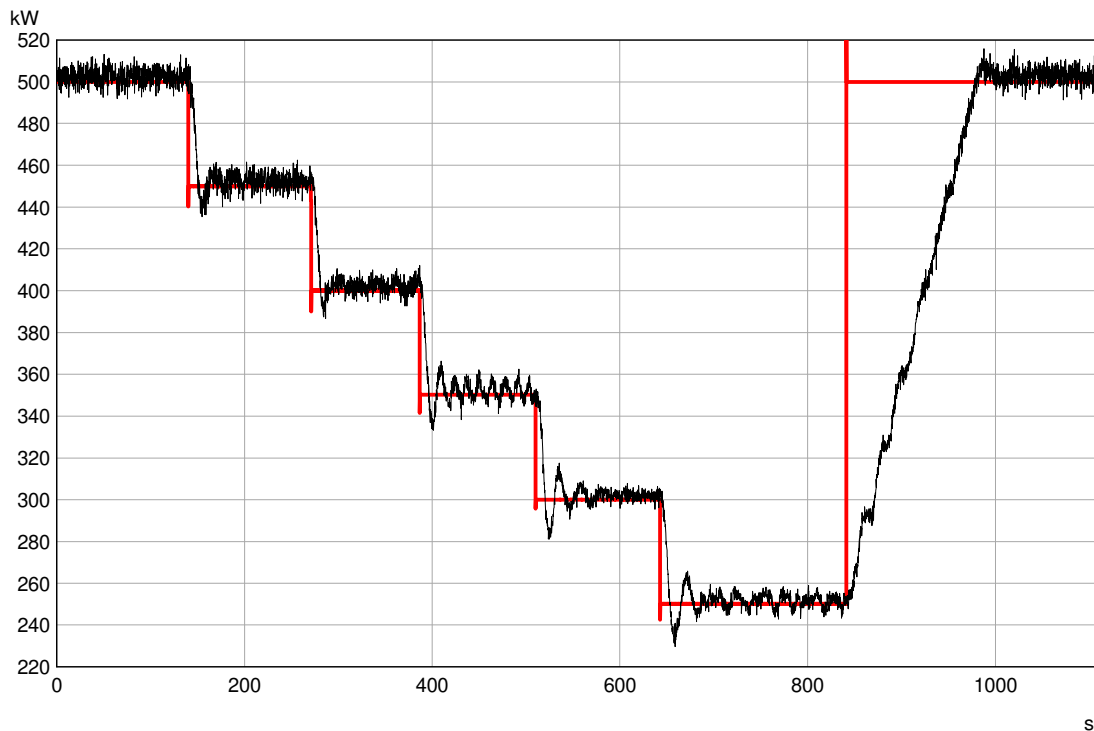


Abb. 20: 200 ms-Mittelwerte der Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot)

Tab.12 zeigt die Sollwerte, Istwerte und Abweichungen für jede einzelne Wirkleistungsstufe.

Tab. 12: Ermittlung der Einstellgenauigkeit

Wirkleistungsstufe [%/P _{max}]	Sollwert		Istwert		Abweichung	
	[kW]	[%/P _n]	[kW]	[%/P _n]	[kW]	[%/P _n]
100	500,10	100,02	502,82	100,56	-2,71	0,54
90	450,11	90,02	452,73	90,55	-2,62	0,52
80	400,10	80,02	402,37	80,47	-2,27	0,45
70	350,11	70,02	352,27	70,45	-2,16	0,43
60	300,03	60,01	302,07	60,41	-2,04	0,41
50	250,04	50,01	251,36	50,27	-1,32	0,26

Tab. 13 zeigt die maximalen Über- und Unterschreitungen der 1-Min-Mittelwerte der erzeugten Wirkleistung vom 1-Min-Mittelwert des Sollwerts.



Tab. 13: Maximale Abweichungen von der Sollwertvorgabe zur erzeugten Wirkleistung

Maximale Wirkleistungsüberschreitung (1-Min-Mittelwert)	2,71 kW bei Sollwertvorgabe 100 % P_n
Maximale Wirkleistungsunterschreitung (1-Min-Mittelwert)	--
Netztrennung bei <50 % P_n	nein

4.1.3.2 Einschwingzeit

Durchführung der Messung

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Zu Beginn der Messung lag die produzierte Wirkleistung bei ca. 504 kW. Das entspricht einer Leistung von 100,8 % der Nennleistung.

Die Wirkleistung der EZE wurde mittels Eingabe über ein an der Anlage angeschlossenes Notebook von 100 % P_n auf 50 % P_n reduziert.

Ergebnisse

Abb. 21 zeigt den Verlauf der Wirkleistung zusammen mit dem Sollwertsignal und dem dazugehörigen Toleranzband von $\pm 5\%$ von P_n .

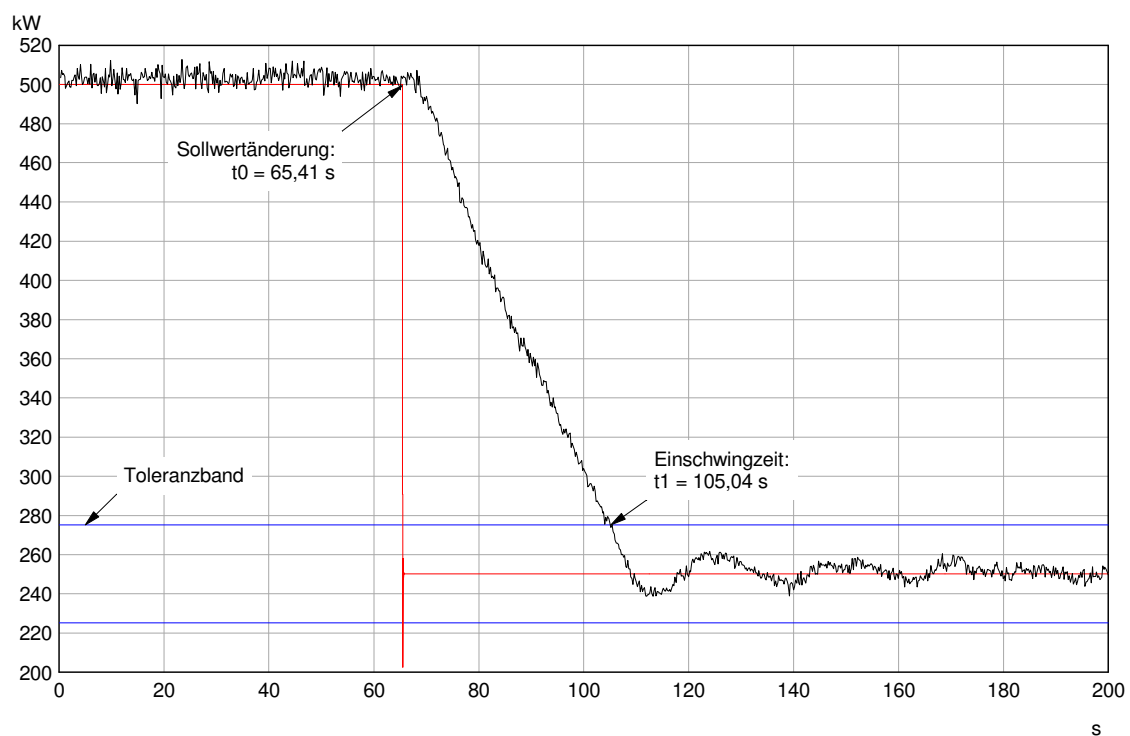


Abb. 21: Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot), Toleranzband (blau)



Die Einschwingzeit ist definiert als die Zeit ab Beginn der Sollwertänderung bis letztmaligem Eintritt in das Toleranzband von $\pm 5\%$ der Nennwirkleistung.

Gemäß der „Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz – Ausgabe Juni 2008“ /2/, muss im Falle von Wirkleistungssollwertänderungen (Reduktion und/ oder Erhöhung) folgender Gradient beachtet werden:

- $P_n \leq 2 \text{ MW}$: mindestens 66% $P_{E_{\max}}$ pro Minute (äquivalent zu $\geq 1,11\%$ $P_{E_{\max}}$ pro Sekunde).

In Tab. 14 werden An-/ Einschwingzeit dargestellt.

Tab. 14: An-/Einschwingzeit

Zeitpunkt der Sollwertänderung	t_0	65,41 s
Zeitpunkt bei letztmaligen Eintritt in den Toleranzbereich	t_1	105,04 s
An-/Einschwingzeit	$\Delta t = t_1 - t_0$	39,63 s

Aus der dargestellten Einschwingzeit berechnet sich ein Gradient von $69,05\%P_n/\text{Min}$ (entspricht $1,15\%P_n/\text{s}$).

Die Tab. 15 zeigt die maximalen Abweichungen der Sollwertvorgabe zur erzeugten Wirkleistung.

Tab. 15: Maximale Abweichungen von der Sollwertvorgabe zur erzeugten Wirkleistung

Maximale Wirkleistungsüberschreitung (1-Min-Mittelwert)	3,13 kW bei Sollwertvorgabe $100\% P_n$
Maximale Wirkleistungsunterschreitung (1-Min-Mittelwert)	--



4.1.4 Leistungsbegrenzung bei Netzfrequenzerhöhung

Die Überprüfung des Verhaltens der EZE bei Überfrequenz wurde gemäß /1/ nach Kap. 4.1.3.1 (a) durchgeführt. Die Frequenzerhöhung wurde mittels Eingabe über ein Notebook, welches an der Anlage am Multifunktions-Messgerät Siemens SENTRON PAC3200 angeschlossen wurde, realisiert. Dadurch wurde der Anlage eine erhöhte Netzfrequenz simuliert. Die Anlage wurde netzparallel gestartet und die Leistung auf 85 % P_n gesteigert ($\cos\varphi = 1$). Danach wurde im laufenden Betrieb der Anlage parallel die Netzfrequenz über das oben erwähnte Multifunktions-Messgerät verändert. Die in Tab. 16 beschriebenen Frequenzen wurden vorgegeben.

Jede eingestellte Frequenz wurde für eine Dauer von ca. 120 s gehalten. Die ersten 60 s je Intervall dienen dem Einschwingen der VKM auf die zu erwartende reduzierte Leistung. Die Ermittlung der tatsächlichen reduzierten Leistung P_{red} wurde auf Mittelwertbasis der letzten 10 s des Intervalls berechnet. Die Toleranzen für die eingestellte Wirkleistung betragen laut /3/ $\pm 10\%$ P_n .

Bei der EZE kann der frequenzabhängige Wirkleistungsgradient $dP(f)$ durch den Hersteller geändert werden. Bei der Messung wurde ein Gradient von $40\%P_M/Hz$ eingestellt.

Wirkleistungsregelung / Beschreibung der Umsetzung der Sollwertvorgabe

Die simulierte Frequenzänderung erfolgt durch eine Parameteränderung der Ist-Frequenz im Multifunktions-Messgerät Siemens SENTRON PAC3200. Das Signal wird als Analogsignal an den Klemmen der Schnittstelle des Siemens SENTRON PAC3200 abgegriffen und für eine bessere Abgriffsmöglichkeit während der Messung auf Reihenklemmen gelegt. Die Sollwertvorgabe erfolgte als 0...10 V-Signal. Das Analogsignal wurde zu 50...52 Hz skaliert (siehe auch Sollwertsignale in Kap.0 / Tab. 9).



Einstellwerte und Parameter

Es wurden die folgenden Punkte angefahren:

Tab. 16: Geänderte Ist-Frequenz

Nr.	Simulierte Frequenz [Hz]	Eingegebener Wert [Hz]	Erwartete Leistungsreduktion [% P _M]
1	50,00	50,00	Keine Leistungsänderung
2	50,30	50,30	4
3	50,70	50,70	20
4	51,20	51,20	40
5	50,08	50,08	Keine Leistungsänderung
6	50,00	50,00	Leistungssteigerung

Berechnungsgrundlagen

Die Berechnung des Wirkleistungsgradienten $dP(f)$ wurde wie folgt bestimmt:

Für das jeweilige Frequenzintervall wird ein 10 s Mittelwert der reduzierten Wirkleistung (P_{10}) bestimmt. Der Gradient berechnet sich aus der Wirkleistungsreduzierung bezogen auf die Frequenzänderung.

$$dP(f) = \frac{P_M - P_{10}}{f - 50,2\text{Hz}}$$

Die Berechnung des Wirkleistungsgradienten $dP(t)$ wurde wie folgt bestimmt:

Ab Beginn der Leistungssteigerung (t_1) wird in Intervallen von 60 s die mittlere Leistung bestimmt. Der Gradient berechnet sich aus der Differenz aus zwei aufeinander folgenden 1 min Mittelwerten.

$$dP(t) = \frac{\Delta p}{1\text{min}} = \frac{P_{t=t_1+1\text{min}} - P_{t=t_1}}{1\text{min}}$$

Durchführung der Messung

Zu Beginn der Messung wurde die Wirkleistung auf 85 % P_n eingestellt. Die hierfür ermittelte Wirkleistung liegt zu Beginn der Messung bei ca. 426 kW. Das entspricht einer Leistung von ca. 85,2 % der Nennleistung (P_n).

Es wurden die Frequenzstufen nach Tab. 16 angefahren und für jeweils 2 Minuten gehalten.



Ergebnisse

Bei der Frequenzüberschreitung von 50,2 Hz betrug die Momentanleistung der EZE:

$$P_M = 430,93 \text{ kW}$$

In Abb. 22 ist die Wirkleistung über der Frequenz dargestellt, Abb. 23 zeigt den zeitlichen Verlauf der Wirkleistung und der Frequenzvorgabe.

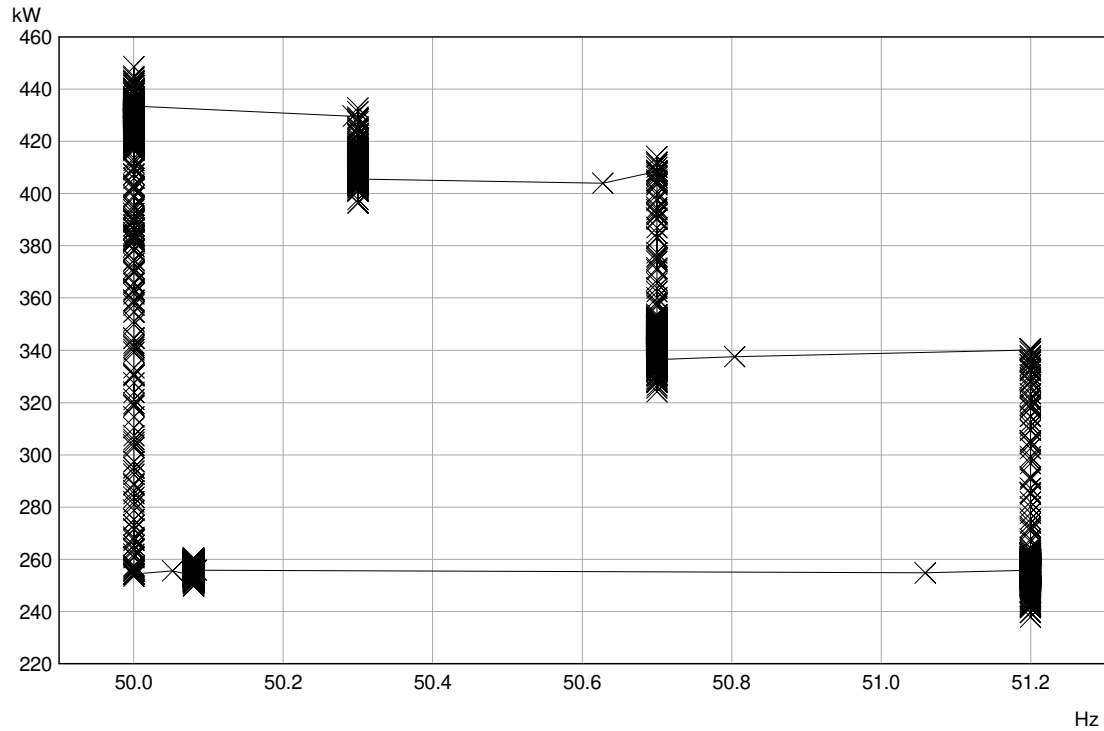


Abb. 22: Wirkleistung über Frequenzerhöhung

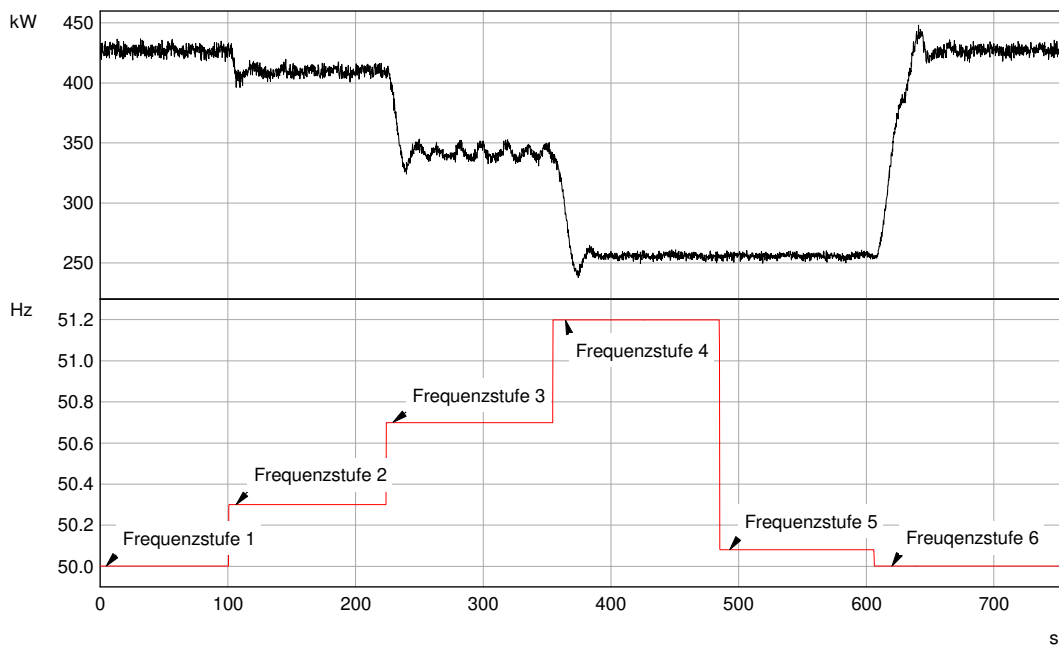


Abb. 23: Wirkleistung (schwarz) und Frequenz (rot)



In Tab. 17 sind die 10 s-Mittelwerte der Frequenz und Wirkleistung sowie der ermittelte Wirkleistungsgradient $P(f)$ dargestellt.

Tab. 17: Wirkleistungsgradient $P(f)$

Frequenzstufe	Simulierte Netzfrequenz	Gemessene Netzfrequenz [Hz]	Normierte Wirkleistung $[P/P_n]$	Wirkleistungsgradient $P(f)$ [% P_M /Hz]
1	Nennfrequenz $\pm 0,01$ Hz	50,000	0,855	-
Referenzfrequenz	Wechsel von Stufe 1 zu Stufe 2	50,200	0,862	-
2	Nennfrequenz + 0,2 Hz bis + 0,3 Hz	50,300	0,821	-
3	Nennfrequenz + 0,65 Hz bis + 0,75 Hz	50,700	0,687	40,48
4	Nennfrequenz + 1,1 Hz bis + 1,2 Hz	51,200	0,510	40,85
5	Nennfrequenz + 0,06 Hz bis + 0,08 Hz	50,080	0,514	-
6	Nennfrequenz $\pm 0,01$ Hz	50,000	0,854	-

Tab. 18 zeigt den arithmetischen Mittelwert der ermittelten Wirkleistungsgradienten $dP(f)$ während der Frequenzerhöhung.

Tab. 18: Mittlerer Wirkleistungsgradient $P(f)$ während der Frequenzerhöhung

Mittlerer Wirkleistungsgradient $dP(f)$ während der Frequenzerhöhung	40,67 % P_M /Hz
--	-------------------



4.1.5 Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit

Einstelldynamik

Die Einstelldynamik der Wirkleistungsregelung der EZE ist nur durch den Hersteller parametrierbar. Der Standardwert der EZE ist 9,5 % P_n/Min. Dieser Wert war während der Messung aktiv.

Berechnungsgrundlagen

Ab Beginn der Leistungssteigerung (t₁) wird in Intervallen von 60 s die mittlere Leistung bestimmt. Der Gradient berechnet sich aus der Differenz aus zwei aufeinander folgenden 1 min Mittelwerten.

$$\frac{\Delta p}{1 \text{ min}} = \frac{P_{t=t_1+1 \text{ min}} - P_{t=t_1}}{1 \text{ min}}$$

Durchführung der Messung

Die Wirkleistungssteigerung nach Wiedereinschaltung erfolgte nach Leerlaufbetrieb der EZE. Die Leistungssteigerung der EZE wurde manuell gestartet und der Sollwert von 100 % P_n wurde angefahren.

Ergebnisse

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den maximalen und mittleren Wirkleistungsgradienten nach Spannungslosigkeit.

Tab. 19: Maximaler, mittlerer und eingestellter Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit

Maximaler Gradient der Wirkleistung	9,73 % P _n /Min
Mittlerer Gradient der Wirkleistung	8,84 % P _n /Min
Eingestellter Gradient dP/dt	9,5 % P _n /Min



Abb. 24 zeigt den Verlauf der 200-ms-Mittelwerte der Spannung und der Wirkleistung.

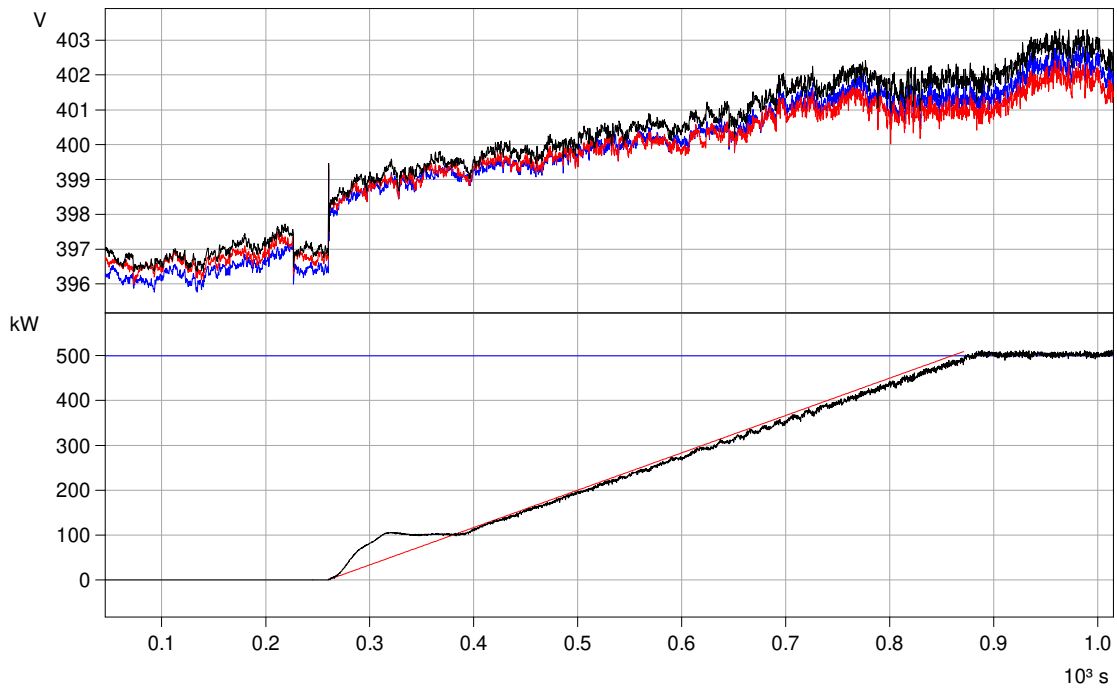


Abb. 24: Oben: 200 ms-Mittelwerte der Spannungen (U12: schwarz, U23: rot; U31: blau)
Unten: 200 ms-Mittelwerte der Wirkleistung (schwarz), Referenzkurve mit 10%Pn/Min (rot) und der verfügbaren Leistung (blau)

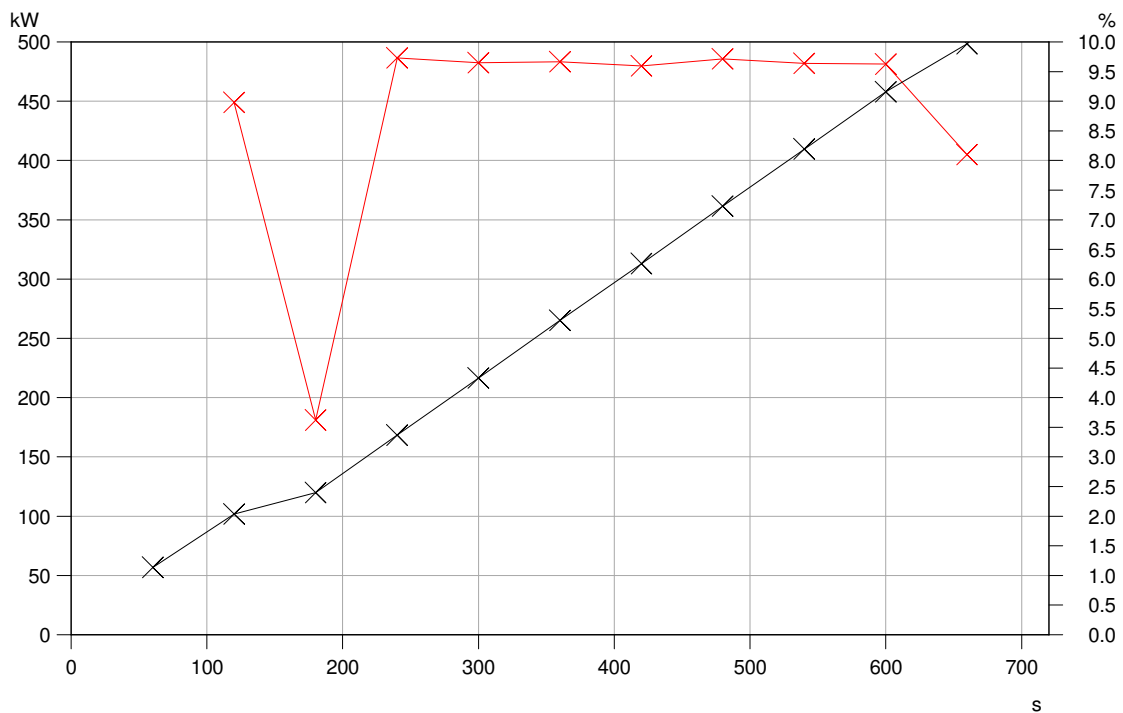


Abb. 25: 60 s-Mittelwert der Wirkleistung (schwarz), Wirkleistungsgradient (rot)



4.2 Blindleistungsbereitstellung

4.2.1 Gemessene Daten

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der gemessenen Daten.

Tab. 20: Anzahl der Datensätze

Messung	Daten	Anzahl der Datensätze	Länge der Datensätze	Abtastfrequenz
Blindleistungsverhalten bei $Q = 0^3$	2016-08-25 13-56-45 14-13-44 14-31-32 14-43-37 14-56-00 15-06-42 15-18-18	7	600 s	2 kHz
PQ-Diagramm	2016-08-30 09-33-46 09-42-46 09-50-18 09-58-02 10-06-08 10-15-09	6	unterschiedlich	2 kHz
Blindleistung nach Sollwertvorgabe	2016-08-29 13-30-46 16-53-52 12-47-30 16-34-51	2	unterschiedlich	2 kHz
Q(U)-Regelung	2016-08-29 15-17-04 15-39-10	2	unterschiedlich	2 kHz

Für die Auswertungen des Blindleistungsverhalten bei $Q = 0$ und des PQ-Diagramms wurden die Datensätze in Wirkleistungsklassen (10 %-Wirkleistungsbins) eingruppiert. Dabei geht z. B. Wirkleistungsbins 80 von 75 % bis < 85 % der Nennwirkleistung.

³ Für die Auswertung des Blindleistungsvermögens bei $Q = 0$ wurden die aufgenommenen Messdaten der Netzrückwirkungen (Flicker und Oberschwingungen) herangezogen.



4.2.2 Blindleistungsverhalten bei $Q = 0$

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Die Messdaten werden in 10 % Wirkleistungsbins klassiert. Aus den gemessenen 10-Min-Datensätzen wurde die Wirk- und Blindleistung sowie Verschiebungsfaktor und Spannung im Mitsystem berechnet. Die Messergebnisse sind als 1 min Mittelwerte pro Leistungsklasse (Leistungsbins) in der folgenden Tabelle (Tab. 21) angegeben.

Tab. 21: Klassierte Werte bei Einstellung $Q = 0$ kvar

P_n [%]	P [kW]	Q [kvar]	$\cos \varphi$ [-]	U_{pos} [V]	Anzahl Datensätze
50	252,81	9,39	0,999	401,22	10
60	302,98	5,97	1,000	400,98	10
70	352,72	1,96	1,000	401,14	10
80	402,62	-0,91	1,000	400,91	10
90	452,45	-3,25	1,000	401,05	10
100	502,14	-5,93	1,000	400,43	20

Im Folgenden werden die 1 min Mittelwerte als $P(Q)$ -Diagramm in Abb. 26 sowie als $\cos\varphi(P)$ Diagramm in Abb. 27 dargestellt.

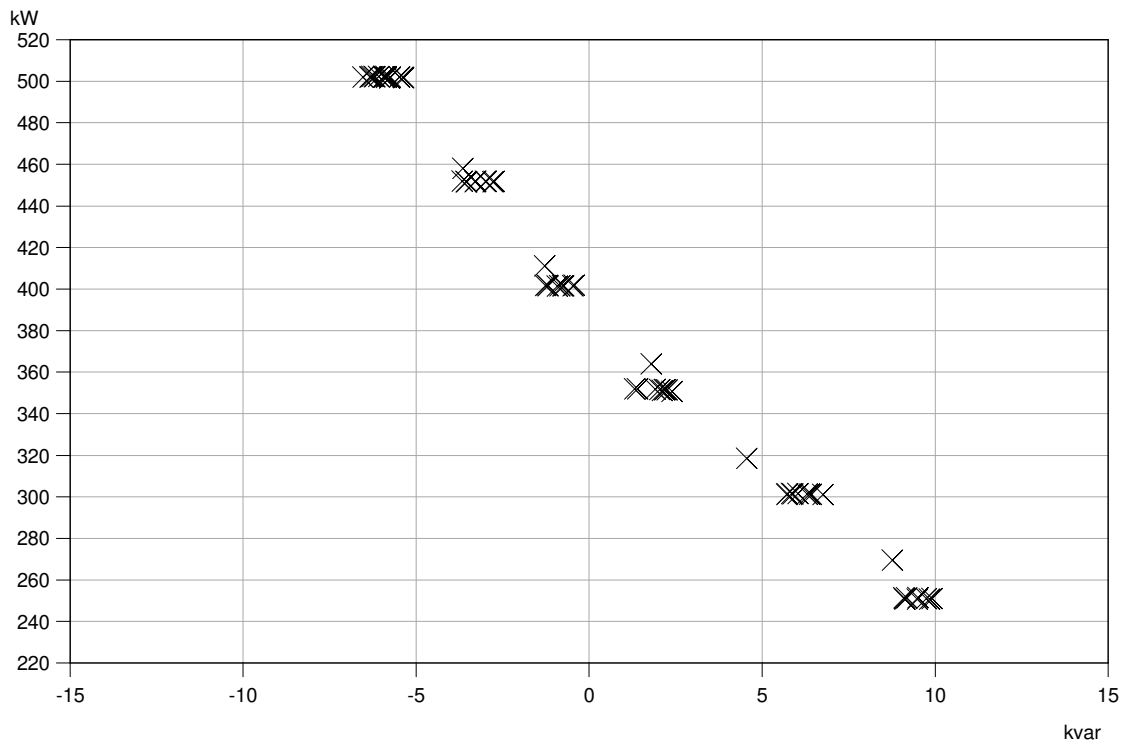


Abb. 26: P(Q)-Diagramm bei Einstellung Q = 0 kvar

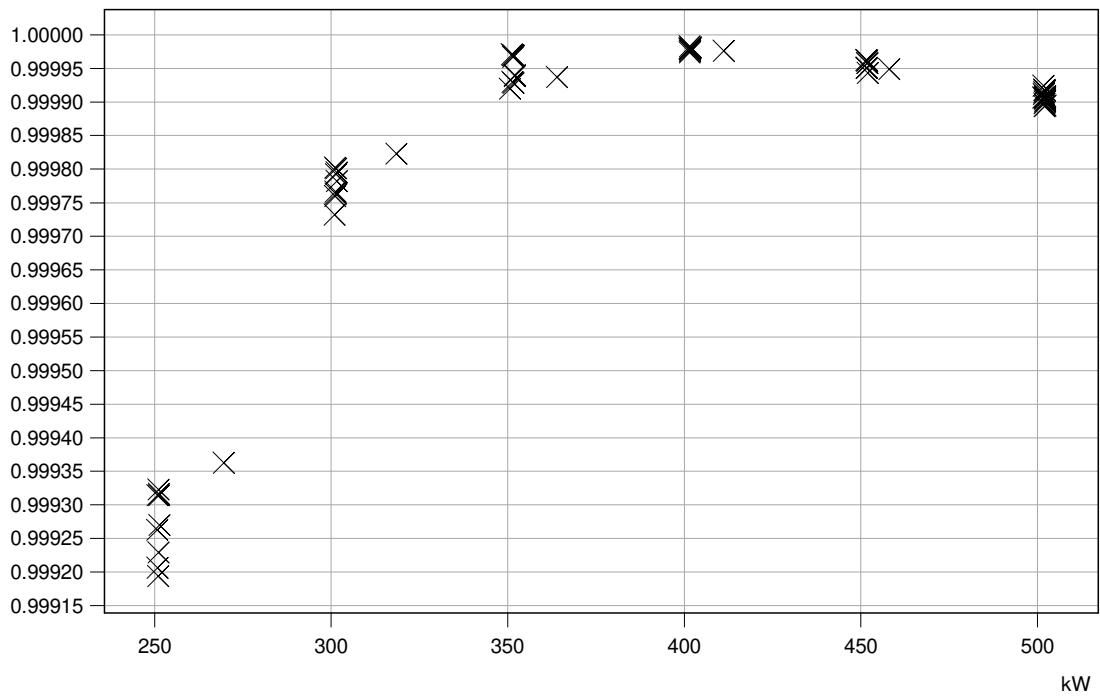


Abb. 27: cosφ(P)-Diagramm bei Einstellung Q = 0 kvar



4.2.3 PQ-Diagramm

Durchführung der Messung

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Bei der Messung des PQ-Diagramms wurden die Wirkleistungsstufen 100 % P_n , sowie 90, 80, 70, 60 und 50 % der Nennleistung P_n , angefahren. Es wurde ein Datensatz für alle Leistungsstufen aufgenommen.

Einstellwerte und Parameter

Für die Prüfungen wurde ein $\cos\phi$ -Sollwert für alle Leistungsstufen festgelegt (untererregt: $\cos\phi$ 0,95 / übererregt: $\cos\phi$ 0,95). Tab. 22 zeigt die Sollwertvorgaben der angefahrenen Stufen pro Leistungsstufe.

Tab. 22: $\cos\phi$ -Sollwertvorgaben

Stufe	$\cos\phi$
Q_0	1
Q_{max}	0,95 übererregt
$-Q_{max}$	0,95 untererregt

Ergebnisse

In Tab. 23 und Tab. 24 sind die 1-Min-Mittelwerte der Wirkleistung, der Blindleistung, des Leistungsfaktors sowie der Spannung im Mitsystem pro Leistungsklasse dargestellt.

In Abb. 28 ist das PQ-Diagramm mit den 1-Min-Mittelwerten der Wirk- und Blindleistung dargestellt, Abb. 29 zeigt die 1-Min-Mittelwerte des Leistungsfaktors über der Wirkleistung.

Tab. 23: Ergebnis-Tabelle PQ-Diagramm untererregt

P_n [%]	Untererregt				
	P [kW]	Q [kvar]	$\cos\phi$	U_{pos} [V]	Anzahl Datensätze
50	251,43	-79,36	0,952	233,82	1
60	301,53	-96,60	0,951	233,72	1
70	351,73	-112,45	0,951	233,30	1
80	402,15	-129,05	0,951	232,54	1
90	452,25	-144,76	0,951	232,23	1
100	502,69	-160,32	0,952	232,10	1

Tab. 24: Ergebnis-Tabelle PQ-Diagramm übererregt



P _n [%]	Übererregt				
	P [kW]	Q [kvar]	cosφ	U _{pos} [V]	Anzahl Datensätze
50	249,62	80,57	0,949	238,14	1
60	299,57	96,91	0,950	238,79	1
70	349,54	113,40	0,950	239,48	1
80	399,68	131,19	0,949	239,77	1
90	449,81	145,96	0,951	239,91	1
100	499,90	164,35	0,949	240,78	1

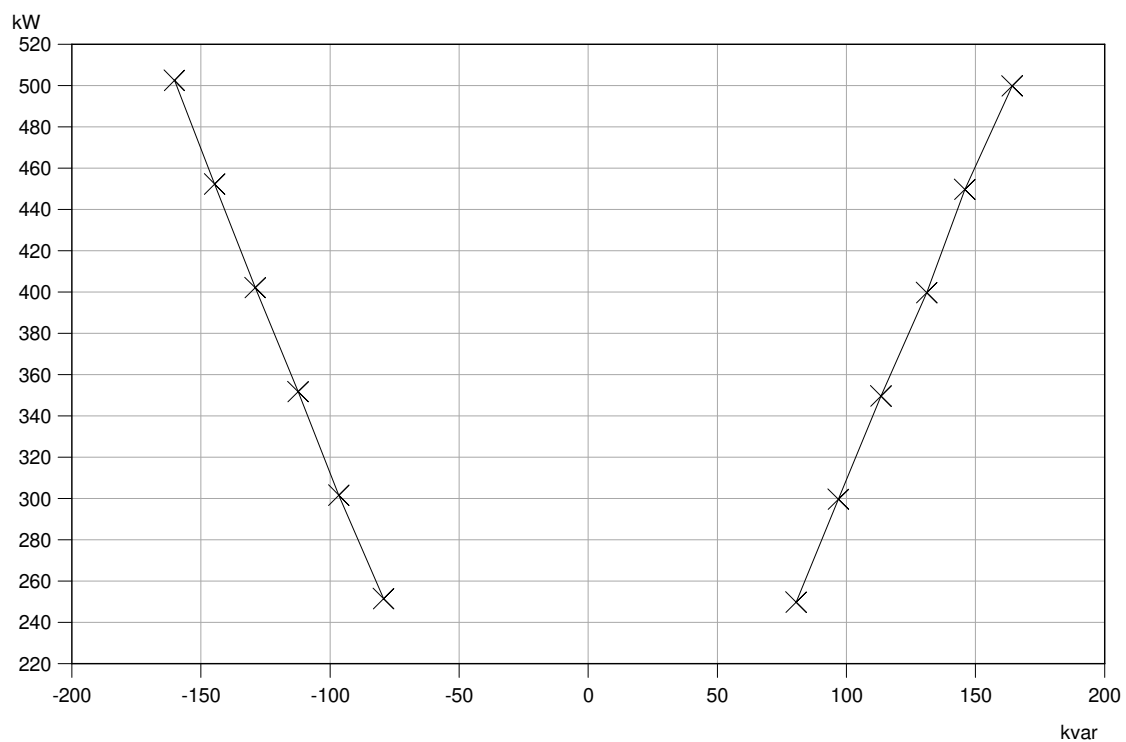


Abb. 28: P(Q)-Diagramm – 1-Min-Mittelwerte

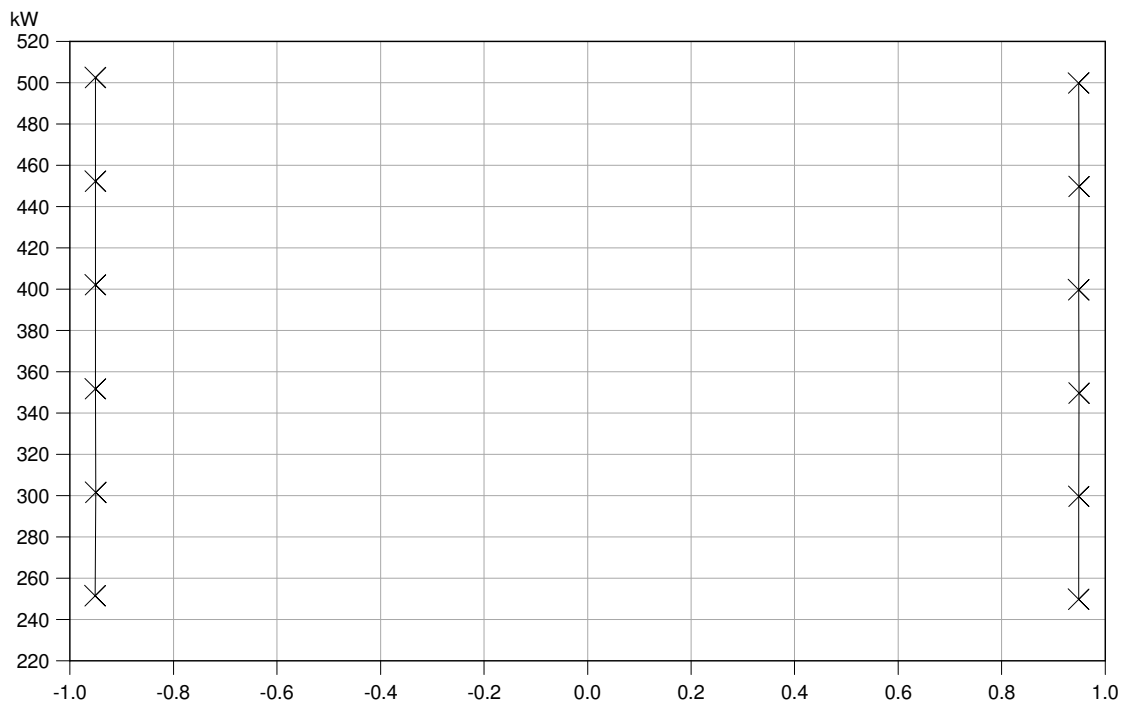


Abb. 29: $P(\cos\phi)$ -Diagramm – 1-Min-Mittelwerte

4.2.4 Blindleistung nach Sollwertvorgabe

Blindleistungsregelung / Beschreibung der Umsetzung der Sollwertvorgabe

Der EZE wird durch Vorgabe einer $\cos\phi$ - Sollwerteingabe in der Steuerung der EZE auf eine Blindleistungsbereitstellung/-bezug geregelt. Die Steuerung berechnet durch die $\cos\phi$ -Sollwerteingabe einen Blindleistungssollwert.

Einstelldynamik

Die Einstelldynamik der Blindleistungsregelung ist durch den Hersteller parametrierbar. Die Änderungsgeschwindigkeit bei der Blindleistungssollwertvorgabe von max. untererregt auf max. übererregt mit der Einstellungen kürzestmöglichst und 60s waren jeweils als unverzögert eingestellt.

4.2.4.1 Einstellgenauigkeit

Durchführung der Messung

Die Messung wurde im Teil-Last-Bereich (60 % P_n) durchgeführt. Da die maximale Blindleistungsspanne im Volllastbereich (100 % P_n) liegt, muss der Test in diesem Wirkleistungsbereich wiederholt werden. Dabei wurde die Blindleistung auf die drei Stufen Q_0 , $+0,5 Q_{\max}$ und $-0,5 Q_{\max}$ für je 2 Minuten gestellt.



Einstellwerte und Parameter

Das Sollwertsignal wurde mit einem Einheitssignal 0...10 V bereitgestellt. Das Sollwertsignal 0...10 V entsprach dabei einer Skalierung zwischen 0,95 untererregt bis 0,95 übererregt. Das Signal war linear. Dies entspricht bei 500 kW Nennleistung einer Blindleistung von +/- 164,3 kvar.

Das Sollwertsignal wurde als $\cos\phi$ Faktor vorgegeben. Umsetzung der Blindleistungsvorgabe in der Steuerung ist in Abb. 15 abgebildet.

Das Sollwertsignal wird unverzögert eingelesen und an den digitalen Spannungsregler weitergeleitet. Dieser reagiert entsprechend der Vorgabe mit den eingestellten PID Parametern auf den Sollwert.

Die maximale Blindleistungsspanne liegt bei 100 % P_n . Der maximale Blindleistungswert wurde daher unter den Bedingungen für $P = P_n$ und $\cos\phi = 0,95$ auf einen Wert von $Q_{\max} = 164,34$ kvar bestimmt.

Für die Messungen der Einstellgenauigkeit wird die Blindleistung auf $0,5 Q_{\max} = 82,17$ kvar (bzw. $-0,5 Q_{\max} = -82,17$ kvar) gestellt.

Auf Basis des festgelegten maximalen Blindleistungs-Sollwerts ($0,5 Q_{\max}$) wird für die Messung bei 100 % P_n ein $\cos\phi$ - Sollwert von $\cos\phi = 0,98676$ händisch berechnet. Dieser $\cos\phi$ - Sollwert ($\cos\phi = 0,98676$) wird auch für die Leistungsstufe bei 60 % P_n angewendet. Bei dieser Stufe (60 % P_n und $\cos\phi = 0,98676$) wird ein Blindleistungswert von 49,30 kvar händisch ermittelt.

Während der Messung werden die folgenden Sollwerteingaben via $\cos\phi$ -Einstellwerte in der Steuerung hinterlegt:

Tab. 25: Eingestellte Wirkleistungs- und $\cos\phi$ -Sollwertvorgaben

Leistungsstufe P/P_n	P_{Soll} [kW]	$\cos\phi$ (übererregt)	$\cos\phi$ (untererregt)
60	300,00	0,987	0,987
100	500,00	0,987	0,987



Tab. 26 zeigt die Sollwertvorgaben und Toleranzbänder der angefahrenen Stufen pro Leistungsstufe.

Tab. 26: Blindleistungs-Sollwertvorgaben und Toleranzen

Q-Vorgabe	Q_{Soll} [kvar]	Toleranzband [kvar]	Bemerkung
Q₀	0	-25,00...25,00	--
0,5 Q_{max}	49,30	24,30...74,30	entspricht cosφ:0,98676 bei 60 % P _n
-0,5 Q_{max}	-49,30	-74,30...-24,30	entspricht cosφ:0,98676 bei 60 % P _n
0,5 Q_{max}	82,17	57,17...107,17	entspricht cosφ:0,98676 bei 100 % P _n
-0,5 Q_{max}	-82,17	-107,17...-57,17	entspricht cosφ:0,98676 bei 100 % P _n

**Ergebnisse (Messung bei 60 % P_n)**

Tab. 27 zeigt die 1-Minuten-Mittelwerte der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

Tab. 27: Ergebnisse Blindleistung nach Sollwertvorgabe (1-Minuten-Mittelwerte)

Stufe	Sollwert	Istwert	Differenz	$\cos \varphi$	Netzspannung	Gemessene Wirkleistung
	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[-]	[V]	[kW]
Q_0	0,000	2,500	-2,500	0,997	235,59	300,86
+0,5 Q_{\max}	49,300	45,766	3,534	0,989	237,04	300,99
-0,5 Q_{\max}	-49,300	-48,599	-0,701	0,987	234,46	301,82

Tab. 28 zeigt die ermittelte maximale Abweichung der Blindleistung auf Basis der 1-Minuten-Mittelwerte der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

Tab. 28: Maximale Abweichung der Sollwertvorgabe

Maximale Abweichung der Sollwertvorgabe	3,534 kvar
--	------------

Abb. 30 zeigt die Verläufe der Wirkleistung und Blindleistung im Mitsystem, Sollwertvorgabe, Leistungsfaktor sowie die Mitsystemspannung der Messung bei 60 % P_n "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

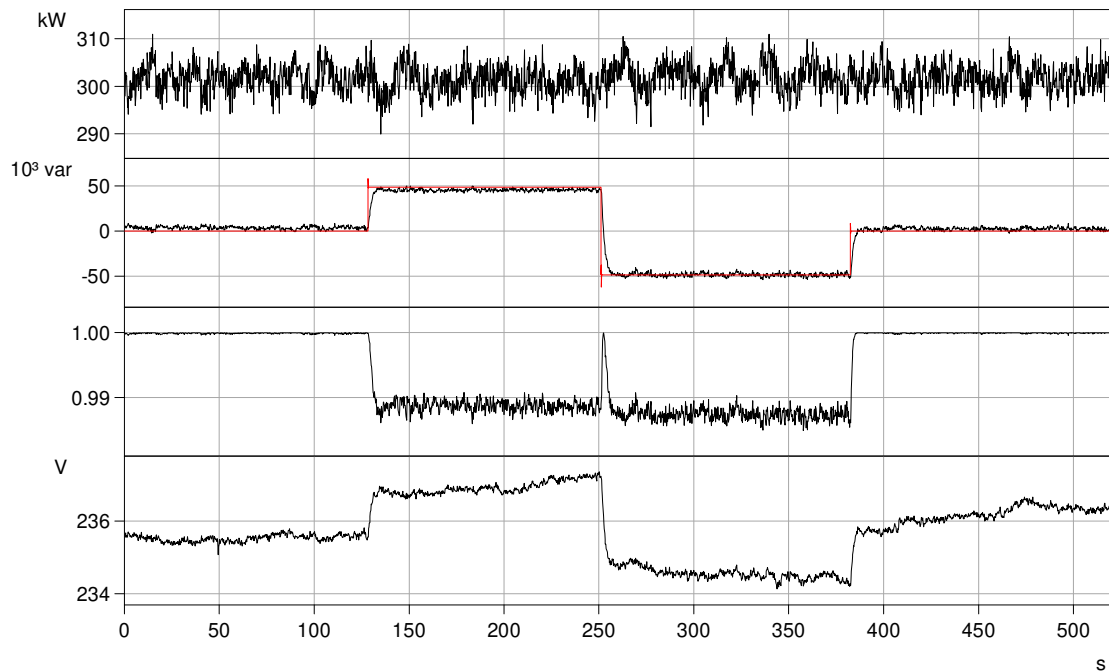


Abb. 30: 200 ms-Werte der Messung: Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit
Von oben nach unten: Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot), Blindleistung (schwarz),
Leistungsfaktor $\cos\varphi$ (schwarz), Spannung (schwarz)

**Ergebnisse (Messung bei 100 % P_n)**

Tab. 29 zeigt die 1-Minuten-Mittelwerte der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

Tab. 29: Ergebnisse Blindleistung nach Sollwertvorgabe (1-Minuten-Mittelwerte)

Stufe	Sollwert	Istwert	Differenz	$\cos \varphi$	Netzspannung	Gemessene Wirkleistung
	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[-]	[V]	[kW]
Q_0	0,000	-9,630	9,630	1,000	237,93	502,73
+0,5 Q_{\max}	82,170	80,492	1,678	0,987	240,30	502,08
-0,5 Q_{\max}	-82,170	-79,217	-2,953	0,988	236,05	503,22

Tab. 30 zeigt die ermittelte maximale Abweichung der Blindleistung auf Basis der 1-Minuten-Mittelwerte der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

Tab. 30: Maximale Abweichung der Sollwertvorgabe

Maximale Abweichung der Sollwertvorgabe	9,630 kvar
--	------------



Abb. 31 zeigt die Verläufe der Wirkleistung und Blindleistung im Mitsystem, Sollwertvorgabe, Leistungsfaktor sowie die Mitsystemspannung der Messung bei 100 % P_n "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit".

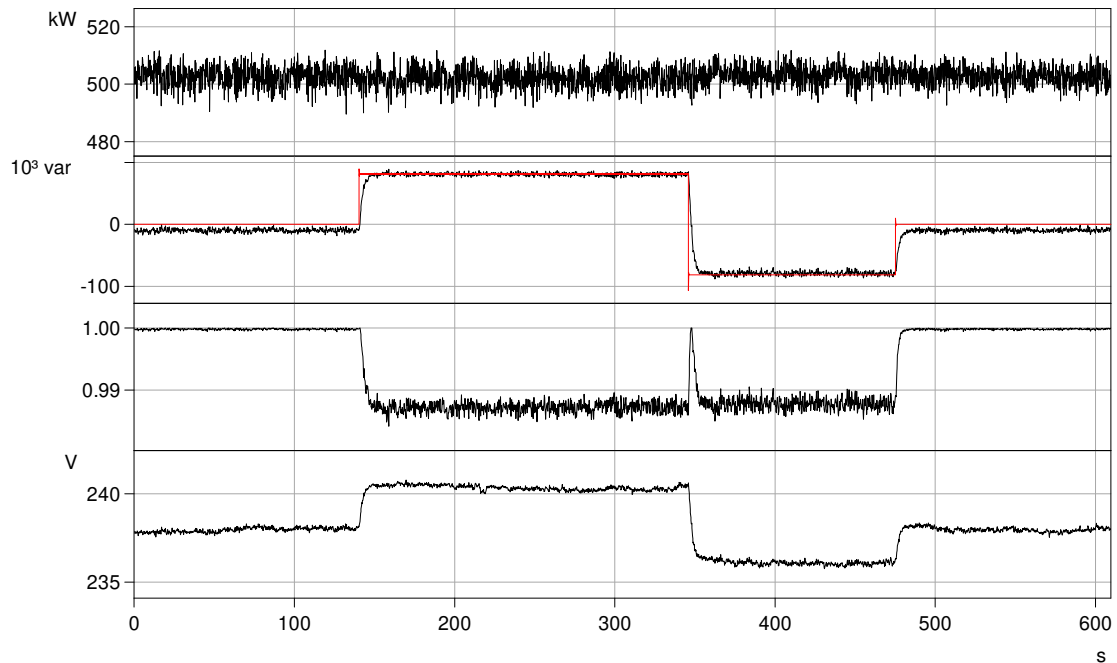


Abb. 31: 200 ms-Werte der Messung: Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit
Von oben nach unten: Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot), Blindleistung (schwarz),
Leistungsfaktor $\cos\phi$ (schwarz), Spannung (schwarz)



4.2.4.2 Einschwingzeit

Durchführung der Messung

Die Messung wurde im Teil-Last-Bereich (60 % P_n) durchgeführt. Da die maximale Blindleistungsspanne im Volllastbereich (100 % P_n) liegt, muss der Test in diesem Wirkleistungsbereich wiederholt werden. Dabei wurde die Blindleistung auf die Stufen $\cos\phi = 1$, $\cos\phi = 0,95$ übererregt (Q_{max}) und $\cos\phi = 0,95$ untererregt ($-Q_{max}$) für je 2 Minuten gestellt.

Einstellwerte und Parameter

Die maximale Blindleistungsspanne liegt bei 100 % P_n . Der maximale Blindleistungswert wurde daher unter den Bedingungen für $P = P_n$ und $\cos\phi = 0,95$ auf einen Wert von $Q_{max} = 164,34$ kvar bestimmt.

Der $\cos\phi$ - Sollwert ($\cos\phi = 0,95$) wird für beide Leistungsstufen (60 und 100 % P_n) genutzt. Bei der Stufe 60 % P_n wird somit ein Blindleistungswert von 98,61 kvar händisch ermittelt.

Tab. 31: Eingestellte Wirkleistungs- und $\cos\phi$ -Sollwertvorgaben

Leistungsstufe P/P_n	P_{Soll} [kW]	$\cos\phi$ (übererregt)	$\cos\phi$ (untererregt)
60	300,00	0,950	0,950
100	500,00	0,950	0,950

Tab. 32 zeigt die Sollwertvorgaben und Toleranzbänder der angefahrenen Stufen pro Leistungsstufe.

Tab. 32: Blindleistungs-Sollwertvorgaben und Toleranzen

Q-Vorgabe	Q_{Soll} [kvar]	Toleranzband [kvar]	Bemerkung
Q_0	0	-25,00...25,00	--
Q_{max}	98,61	73,61...123,61	entspricht $\cos\phi:0,95$ bei 60 % P_n
$-Q_{max}$	-98,61	-123,61...-73,61	entspricht $\cos\phi:0,95$ bei 60 % P_n
Q_{max}	164,34	139,34...189,34	entspricht $\cos\phi:0,95$ bei 100 % P_n
$-Q_{max}$	-164,34	-189,34...-139,34	entspricht $\cos\phi:0,95$ bei 100 % P_n



Ergebnisse (Messung bei 60 % P_n)

Tab. 33 zeigt die ermittelten Einschwingzeiten der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einschwingzeit".

Tab. 33: Ergebnisse Blindleistung nach Sollwertvorgabe (1-Minuten-Mittelwerte)

Blindleistungssprung			Zeitpunkt Sollwertänderung	Zeitpunkt Einschwingen	Zeitdifferenz
			[s]	[s]	[s]
Q ₀	→	Q _{max}	463,732	466,677	2,945
Q _{max}	→	-Q _{max}	576,440	579,777	3,337
-Q _{max}	→	Q ₀	710,368	712,404	2,036

Tab. 34 zeigt die ermittelte maximale Einschwingzeit der Blindleistung.

Tab. 34: Längste gemessene Einschwingzeit

Längste gemessene Einschwingzeit	3,337 s
---	---------

Abb. 32 zeigt die Verläufe der Wirkleistung und Blindleistung im Mitsystem, Sollwertvorgabe, Leistungsfaktor sowie die Mitsystemspannung der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einschwingzeit".

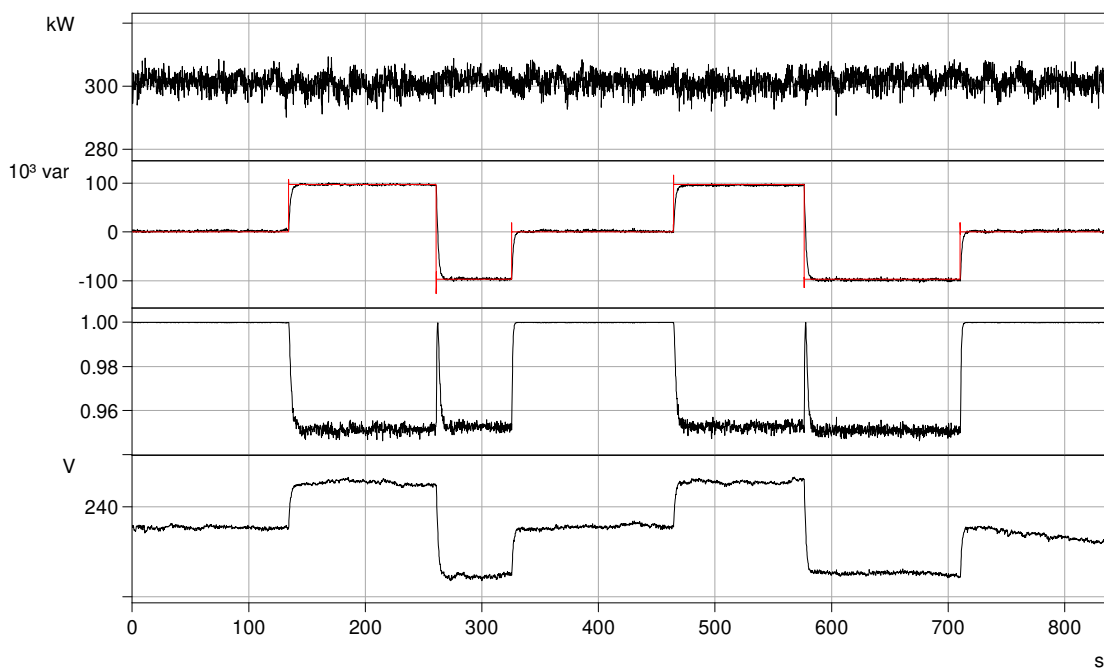


Abb. 32: 200 ms-Werte der Messung: Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit
Von oben nach unten: Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot), Blindleistung (schwarz),
Leistungsfaktor $\cos\phi$ (schwarz), Spannung (schwarz)



Abb. 33 zeigen die Sollwertsprünge der Blindleistung inkl. Toleranzband mit Angabe der Zeitpunkte der Sollwertänderung sowie An-/Einschwingzeit.

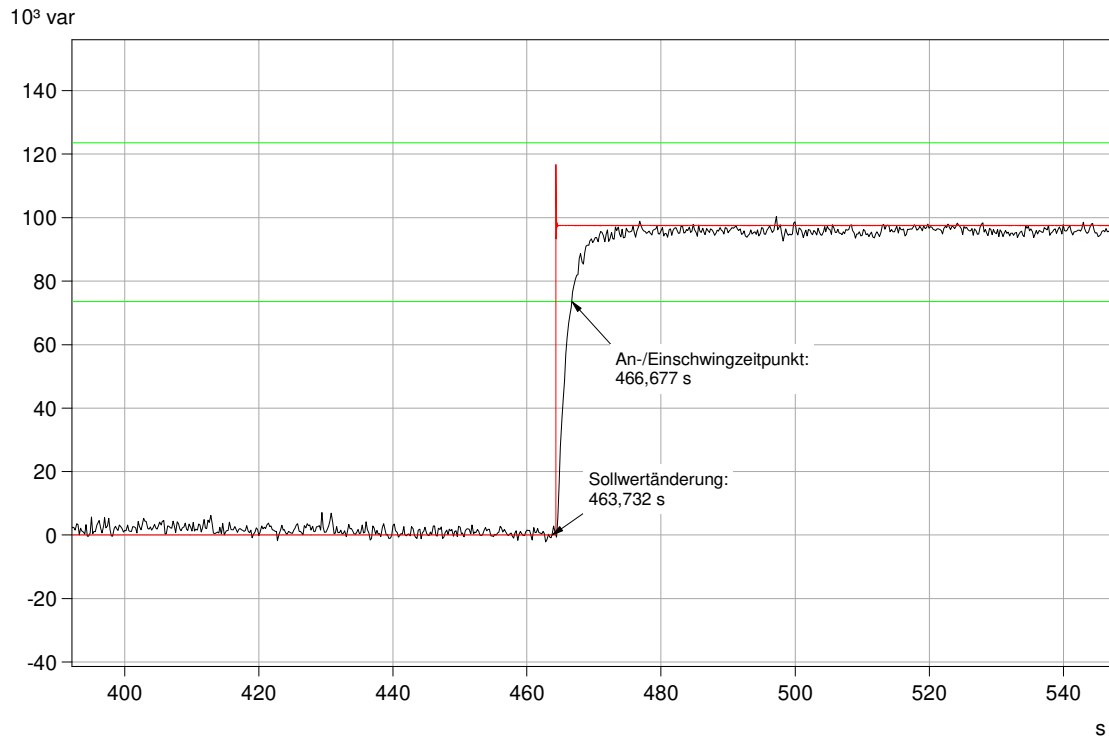


Abb. 33: Sollwertsprung von Q_0 auf Q_{max} : 200 ms-Werte der Blindleistung (schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)

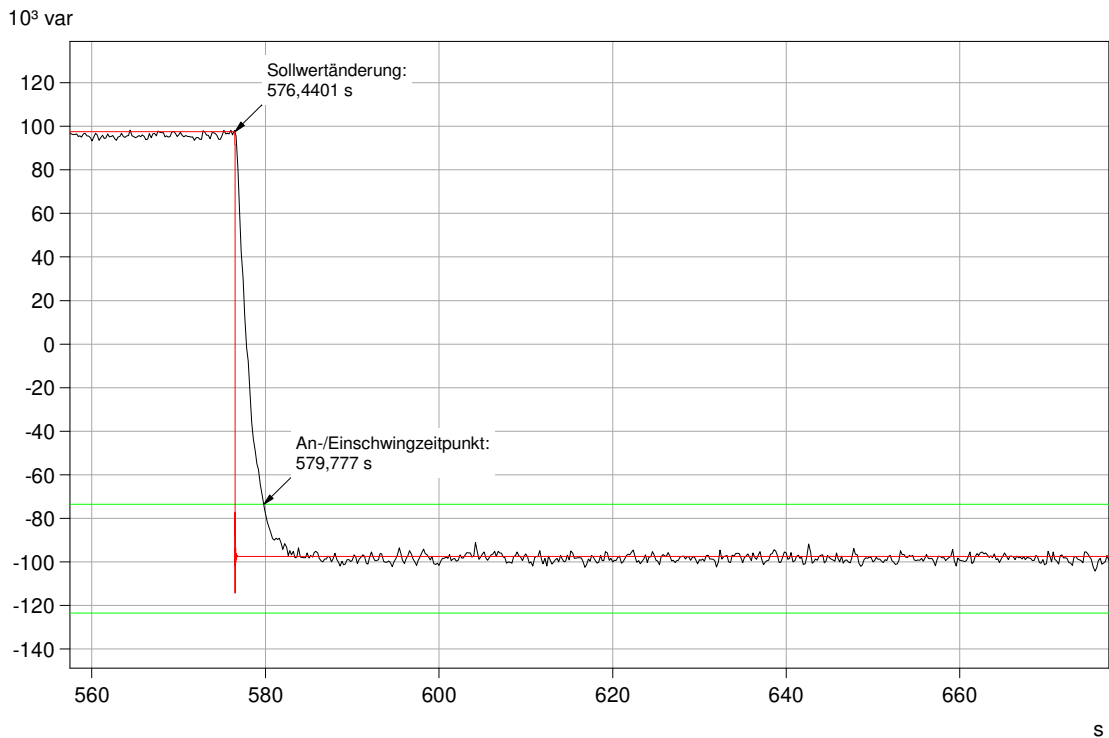


Abb. 34: Sollwertsprung von Q_{max} auf $-Q_{max}$: 200 ms-Werte der Blindleistung (schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)

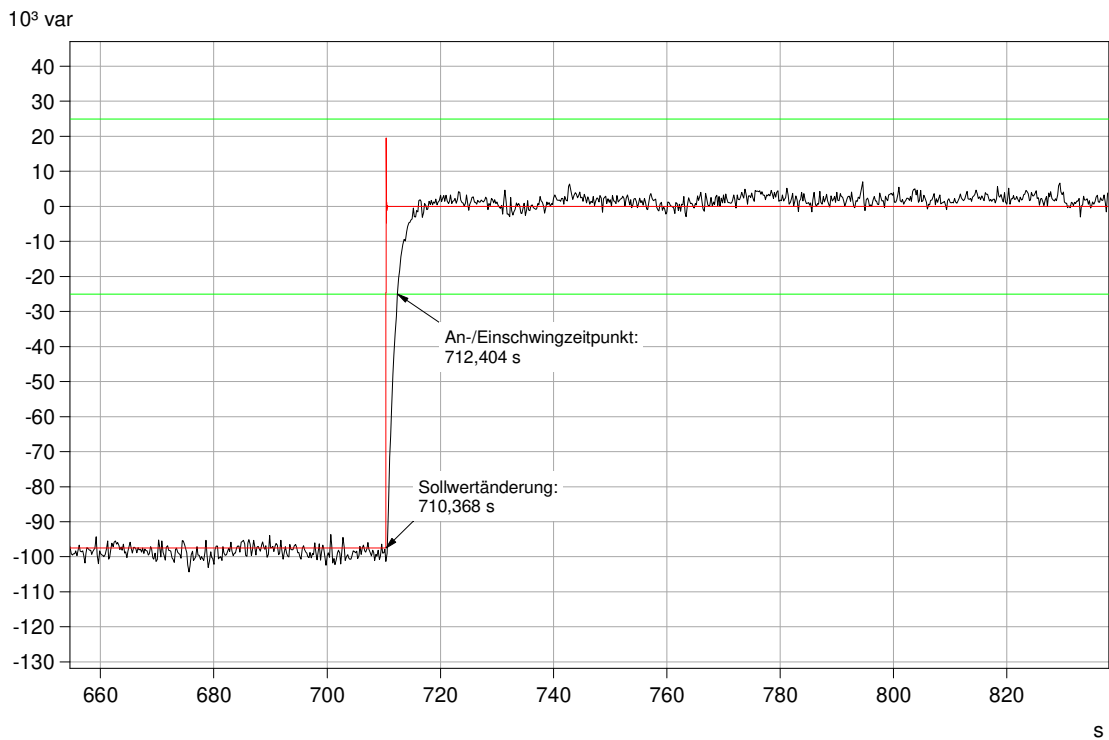


Abb. 35: Sollwertsprung von $-Q_{max}$ auf Q_0 : 200 ms-Werte der Blindleistung (Schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)



Ergebnisse (Messung bei 100 % P_n)

Tab. 35 zeigt die ermittelten Einschwingzeiten der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einschwingzeit".

Tab. 35: Ergebnisse Blindleistung nach Sollwertvorgabe (1-Minuten-Mittelwerte)

Blindleistungssprung			Zeitpunkt Sollwertänderung	Zeitpunkt Einschwingen	Zeitdifferenz
			[s]	[s]	[s]
Q ₀	→	Q _{max}	128,189	133,071	4,882
Q _{max}	→	-Q _{max}	252,348	257,659	5,311
-Q _{max}	→	Q ₀	403,808	408,010	4,202

Tab. 34 zeigt die ermittelte maximale Einschwingzeit der Blindleistung.

Tab. 36: Längste gemessene Einschwingzeit

Längste gemessene Einschwingzeit	5,311 s
---	---------

Abb. 36 zeigt die Verläufe der Wirkleistung und Blindleistung im Mitsystem, Sollwertvorgabe, Leistungsfaktor sowie die Mitsystemspannung der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einschwingzeit".

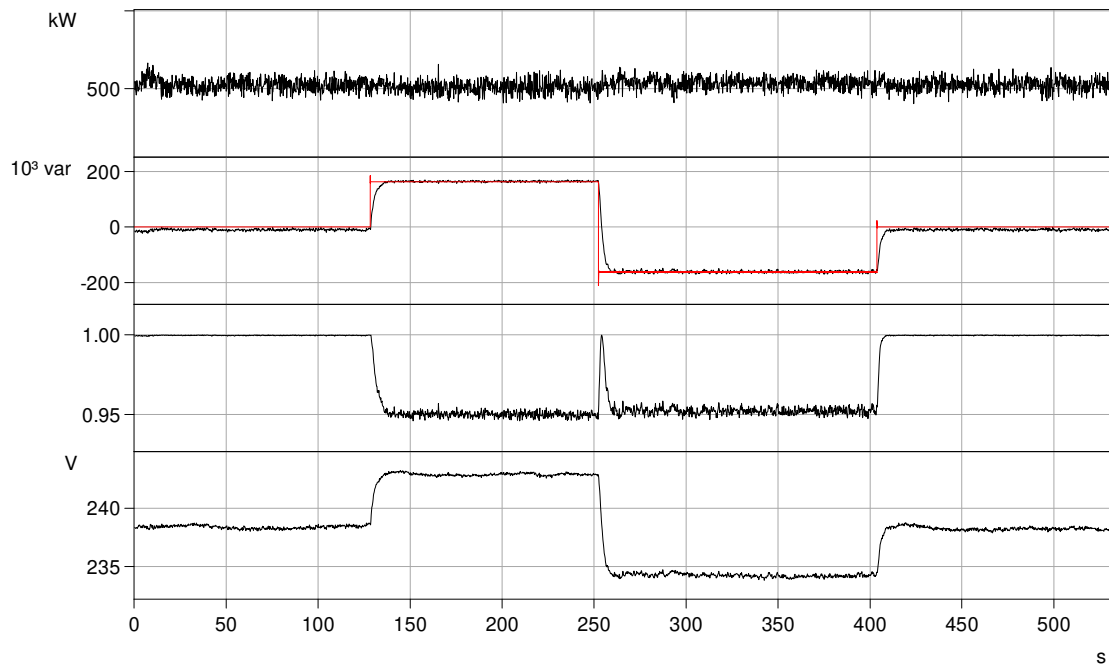


Abb. 36: 200 ms-Werte der Messung: Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellgenauigkeit
Von oben nach unten: Wirkleistung (schwarz), Sollwertsignal (rot), Blindleistung (schwarz),
Leistungsfaktor $\cos\phi$ (schwarz), Spannung (schwarz)



Abb. 37 bis Abb. 39 zeigen die Sollwertsprünge der Blindleistung inkl. Toleranzband mit Angabe der Zeitpunkte der Sollwertänderung sowie An-/ Einschwingzeit.

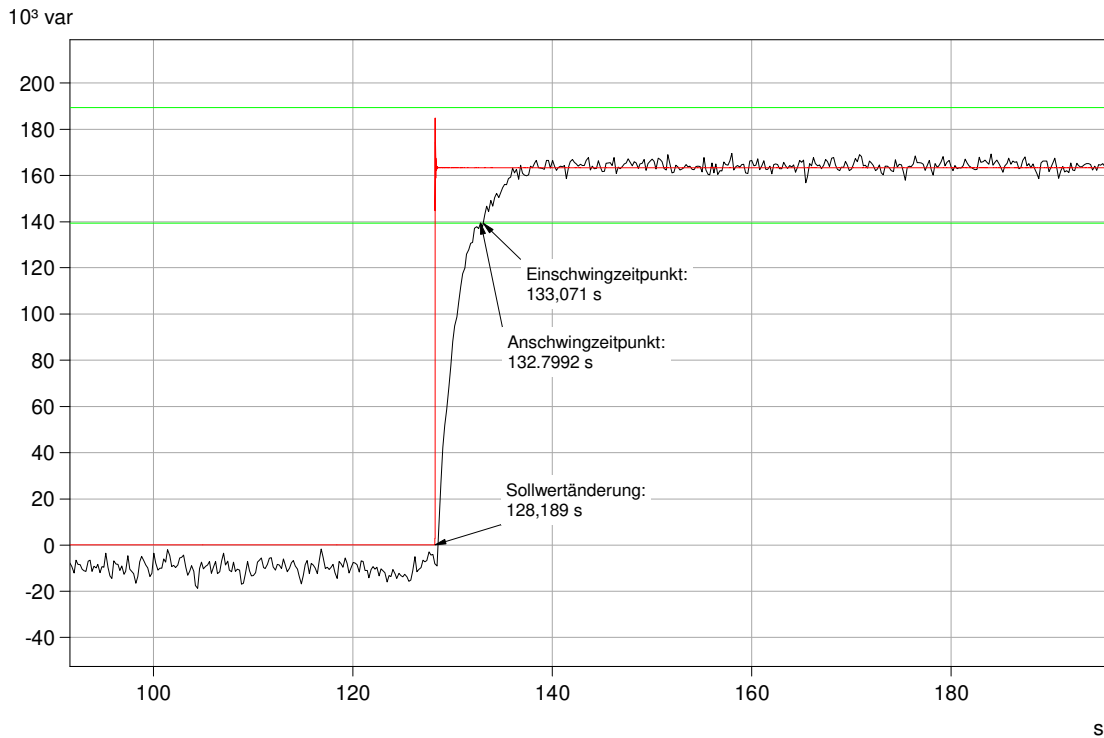


Abb. 37: Sollwertsprung von Q_0 auf Q_{max} : 200 ms-Werte der Blindleistung (Schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)

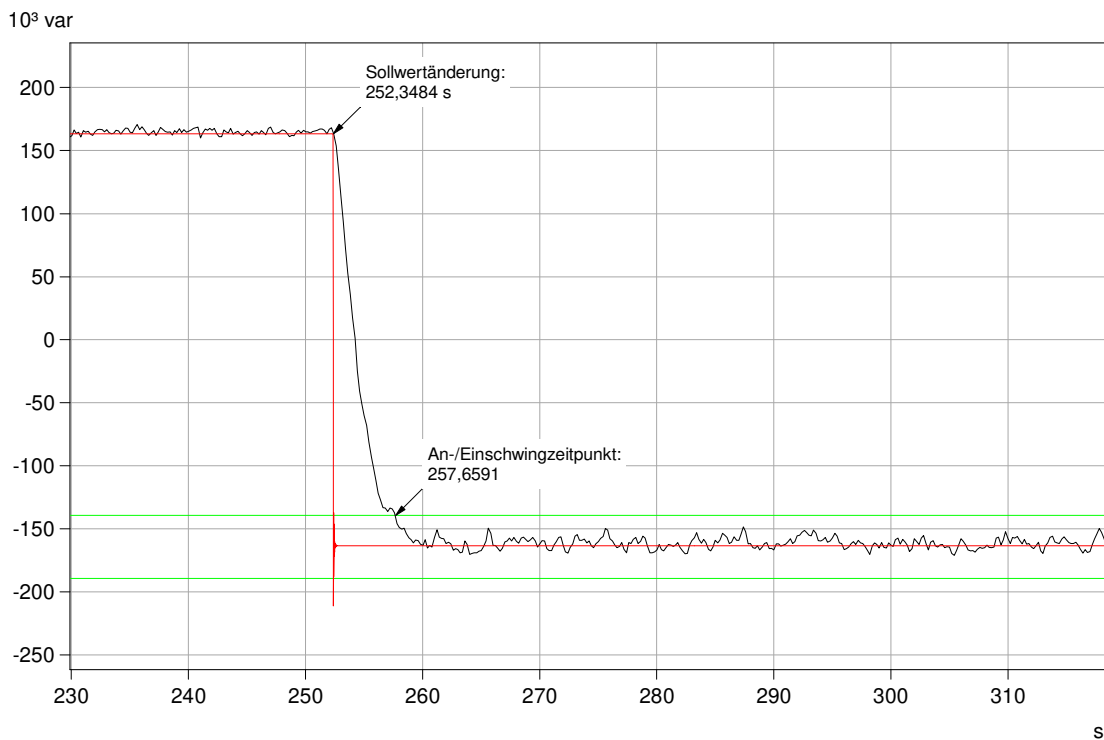


Abb. 38: Sollwertsprung von Q_{max} auf $-Q_{max}$
200 ms-Werte der Blindleistung (Schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)

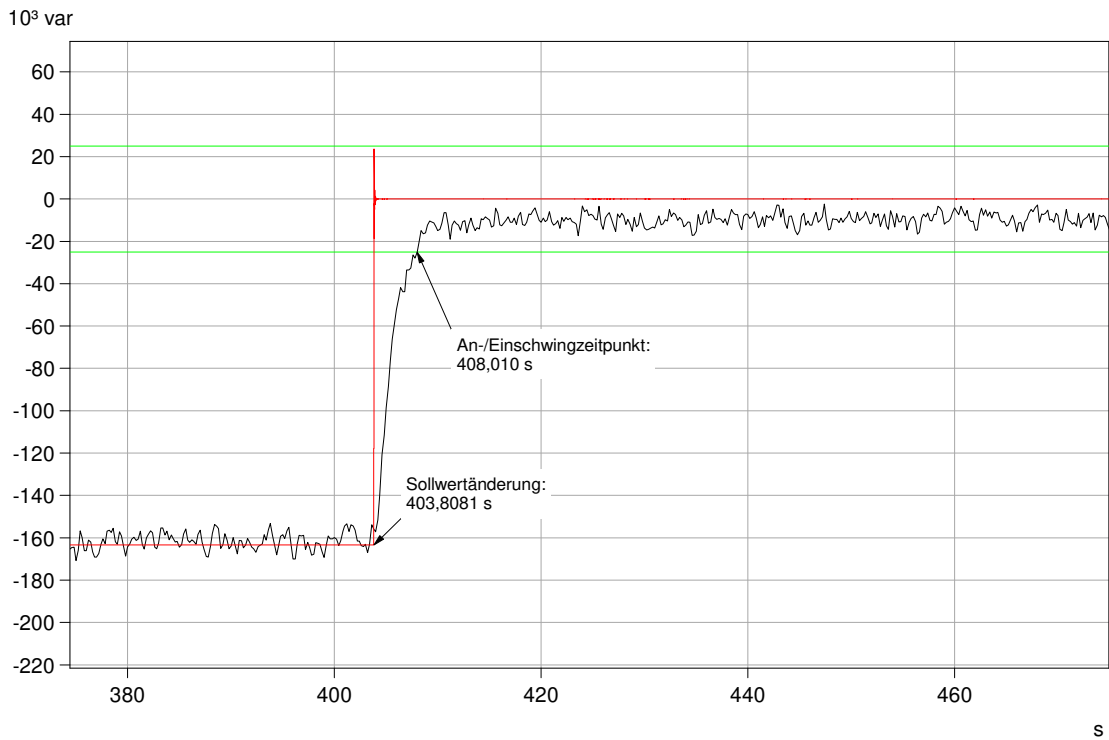


Abb. 39: Sollwertsprung von $-Q_{max}$ auf Q_0 : 200 ms-Werte der Blindleistung (Schwarz), Sollwert (rot) und Toleranzband (grün)

Blindleistungsspanne

Tab. 37 zeigt die ermittelte Blindleistungsspanne der Messung "Blindleistung nach Sollwertvorgabe - Einstellzeit".

Tab. 37: Ermittelte Blindleistungsspanne

Q-Spanne bei 60% P_n	194,51 kvar
Q-Spanne bei 100% P_n	326,42 kvar
Maximale Q-Spanne	326,42 kvar



4.2.5 Q(U) Regelung

Blindleistungsregelung / Beschreibung der Umsetzung der Sollwertvorgabe

Die EZE wird durch Vorgabe einer Spannungs-Sollwerteingabe in der Steuerung der EZE auf eine konstante Blindleistungsbereitstellung/-bezug geregelt. Die Steuerung berechnet durch die Q(U)-Kennlinie (vgl. Tab. 38) und des aktuellen Wirkleistungswerts einen Blindleistungssollwert.

Einstelldynamik

Die Einstelldynamik der Blindleistungsregelung ist durch den Hersteller parametrierbar und wird projektspezifisch an die Anlage bzw. das Umfeld der EZE angepasst. Die Änderungsgeschwindigkeit bei der Q(U)-Messung von max. untererregt auf max. übererregt während der Vermessung (für kürzestmögliche Messung) ist auf 10 s. Die Änderungsgeschwindigkeit bei der Q(U)-Messung von max. untererregt auf max. übererregt während der Vermessung (60 s) ist 50 s. Die Einstellung wurde im Hochlaufgeber 3 implementiert, siehe Kapitel 3.5.3, Abb. 17.

Einstellwerte und Parameter

Für die Prüfung wurde die in Tab. 38 beschriebene Kennlinie in der Steuerung hinterlegt.

Tab. 38: Q(U)-Kennlinie

U/U_n	0,96	1,00	1,04
$\cos\varphi_{\text{soll}}$	0,95 übererregt	1,00	0,95 untererregt

Durchführung der Messung

Der Test wurde bei einer Wirkleistung von 500 kW (100 % P_n) durchgeführt. Die Messung wurde abweichend zu /1/ durchgeführt (Vgl Kap.5). Die EZE wurde mit Spannungssprüngen den folgenden Spannungssprüngen beaufschlagt:

Tab. 39: Durchführung der Messung

Schritt	Kommentare
1	Anfang der Aufnahme
2	Sprung auf 0,96 U_n
3	Sprung auf 1,04 U_n
4	Sprung auf U_n
5	Aufnahme wird gestoppt



Ergebnisse

Abb. 40 und Abb. 41 zeigen die 200 ms-Werte der Wirk-/ Blindleistung, Spannung und Leistungsfaktor im Mitsystem sowie das Spannungs-Sollwertsignal.

Kürzest mögliche Einstellzeit

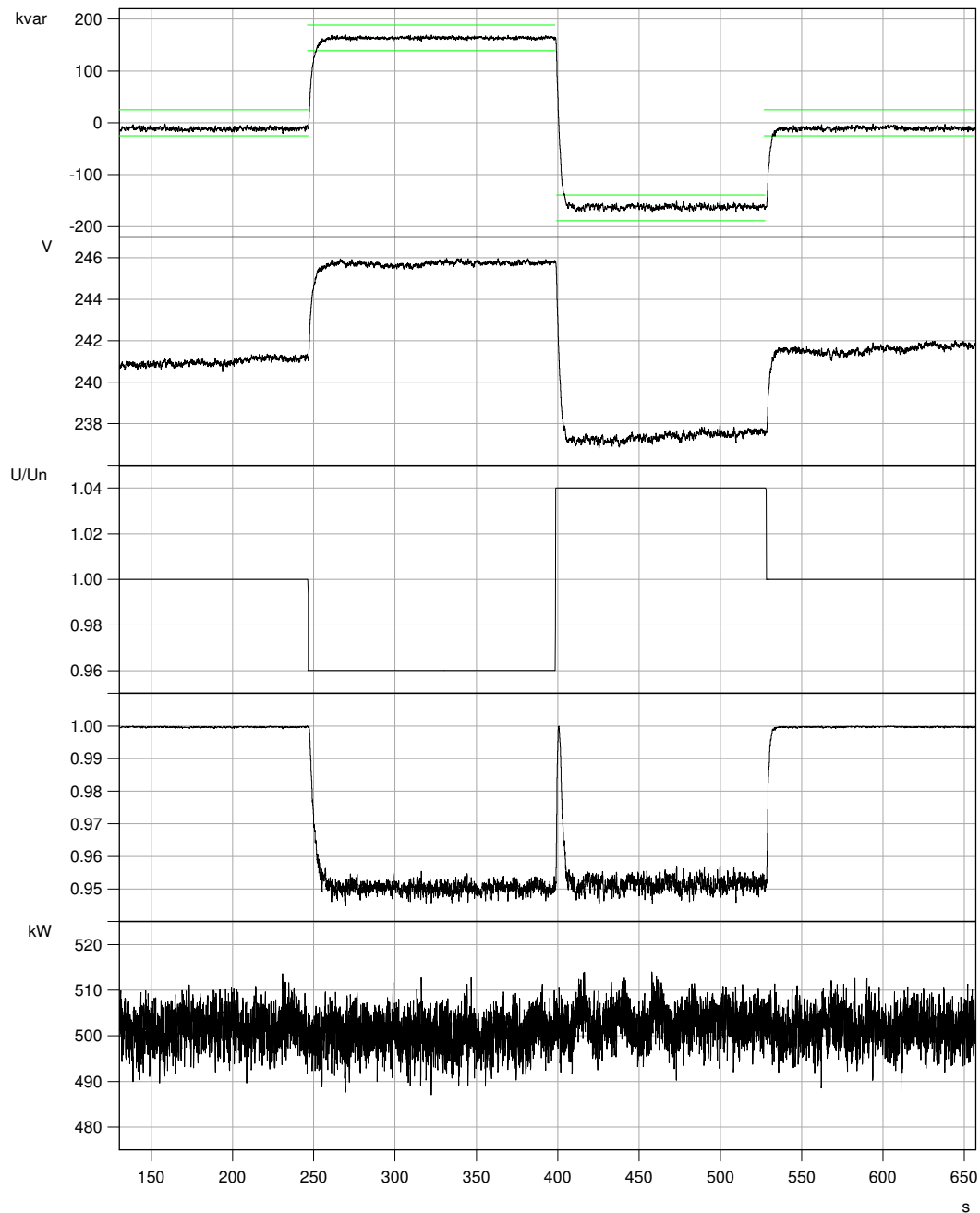
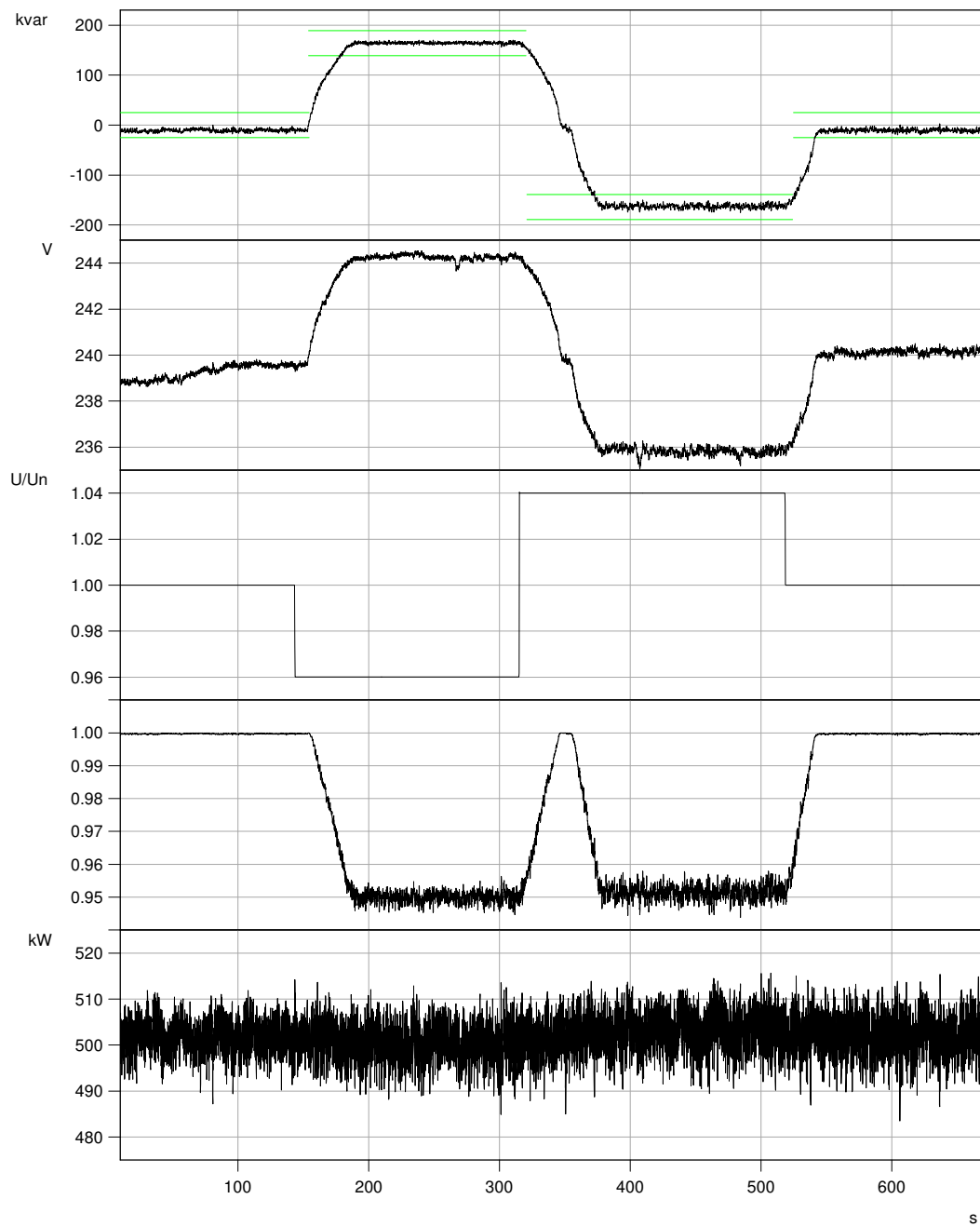


Abb. 40: Gesamtverlauf Q(U)-Messung (kürzest mögliche Einstellzeit)
Oben: Blindleistung im Mitsystem (schwarz) und Toleranzband (grün)
Mitte oben: Spannung im Mitsystem
Mitte: Spannungs-Sollwertsignal
Mitte unten: Leistungsfaktor
Unten: Wirkleistung im Mitsystem

*Einstellzeit von 60 s*

*Abb. 41: Gesamtverlauf Q(U)-Messung (Einstellzeit von 60 s)
Oben: Blindleistung im Mitsystem (schwarz) und Toleranzband (grün)
Mitte oben: Spannung im Mitsystem
Mitte: Spannungs-Sollwertsignal
Mitte unten: Leistungsfaktor
Unten: Wirkleistung im Mitsystem*



Sprung 1 (Sollwertvorgabesignal: 1,00 U_n auf 0,96 U_n)

Kürzest mögliche Einstellzeit

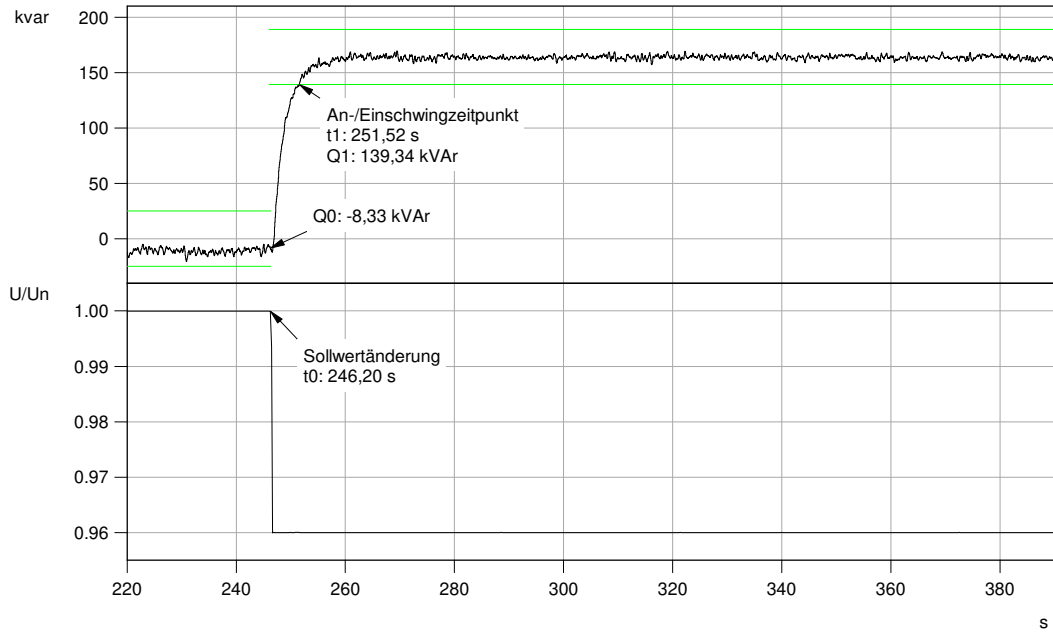


Abb. 42: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte (kürzest mögliche Einstellzeit)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe

Einstellzeit von 60 s

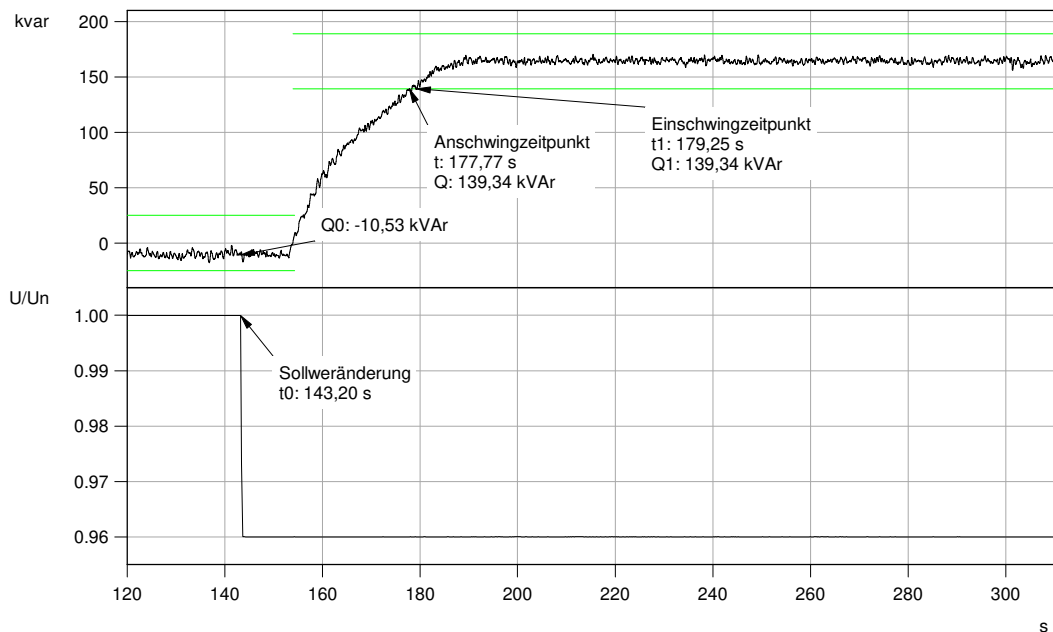


Abb. 43: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte (Einstellzeit von 60 s)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe



Aus Tab. 40 und Tab. 41 ergeben sich folgende Werte für die Einschwingzeit und die Blindleistungsänderung.

Tab. 40: Einschwingzeiten Q(U)-Regelung

Einschwingzeit	Zeitpunkt Sollwertänderung (t_0)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (t_1)	Zeitdifferenz ($t_1 - t_0$)
	[s]	[s]	[s]
Kürzest möglich	246,20	251,52	5,32
60 s	143,20	179,25	36,05

Tab. 41: Blindleistungsverhalten Q(U)-Regelung

Blindleistungs- änderung	Zeitpunkt Sollwertänderung (Q_0)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (Q_1)	Blindleistungs- änderung ($ Q_1 + Q_0 $)	Steigung der Blindleistung (dQ / dt)
	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[kvar/s]
Kürzest möglich	-8,33	139,34	147,67	27,76
60 s	-10,53	139,34	149,87	4,16



Sprung 2 (Sollwertvorgabesignal: 0,96 U_n auf 1,04 U_n)

Kürzest mögliche Einstellzeit

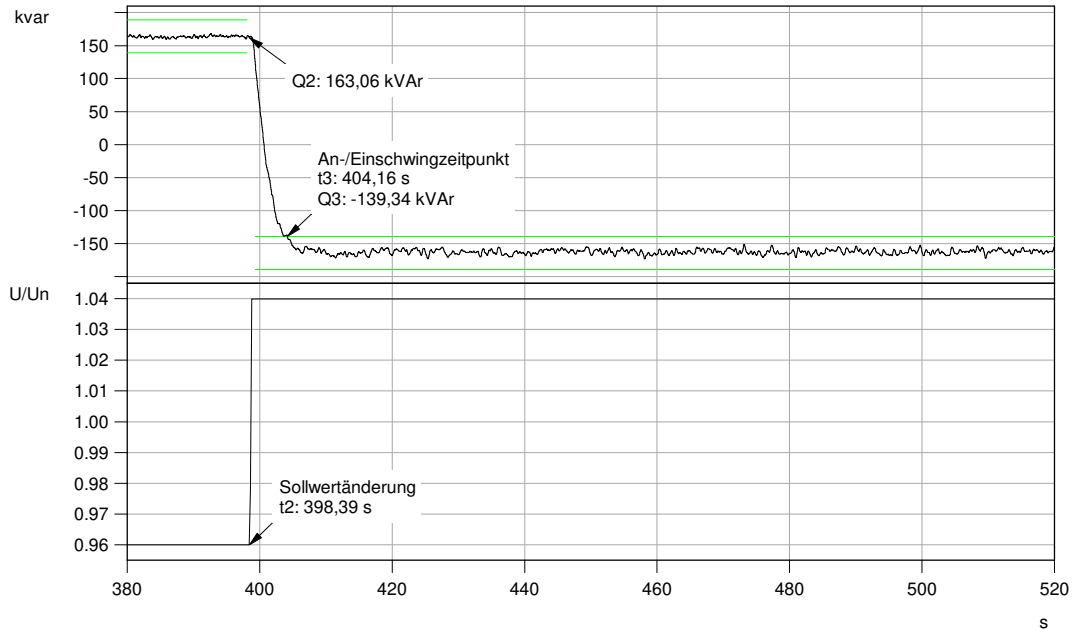


Abb. 44: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte.
(kürzest mögliche Einstellzeit)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe

Einstellzeit von 60 s

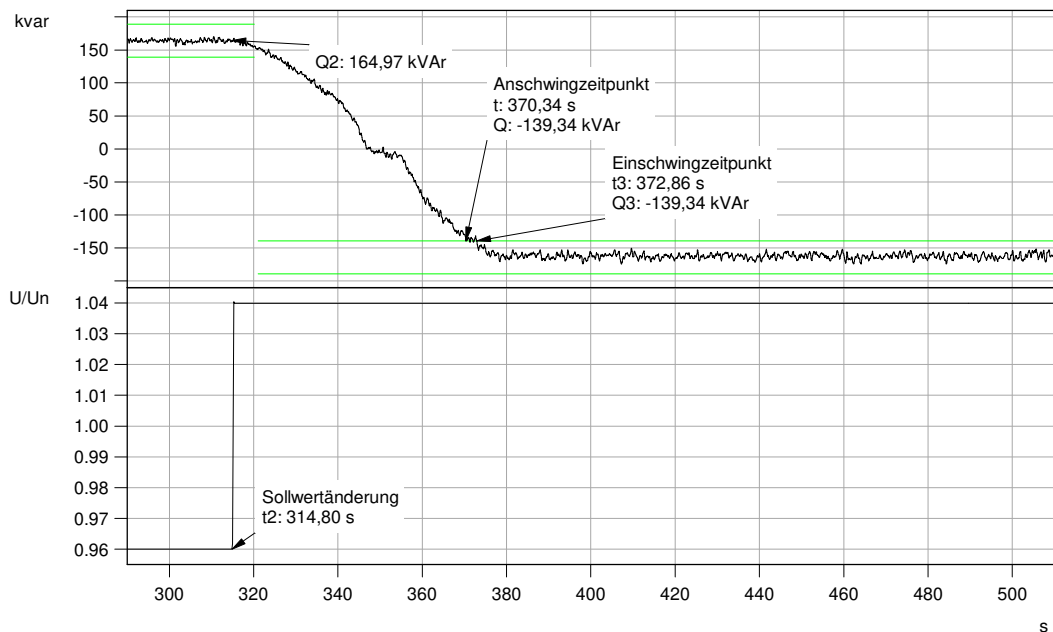


Abb. 45: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte.
(Einstellzeit von 60 s)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe



Aus Tab. 42 und Tab. 43 ergeben sich folgende Werte für die Einschwingzeit und die Blindleistungsänderung.

Tab. 42: Einschwingzeiten Q(U)-Regelung

Einschwingzeit	Zeitpunkt Sollwertänderung (t_2)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (t_3)	Zeitdifferenz ($t_3 - t_2$)
	[s]	[s]	[s]
Kürzest möglich	398,39	404,16	5,77
60 s	314,80	372,86	58,06

Tab. 43: Blindleistungsverhalten Q(U)-Regelung

Blindleistungs- änderung	Zeitpunkt Sollwertänderung (Q_2)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (Q_3)	Blindleistungs- änderung ($ Q_3 + Q_2 $)	Steigung der Blindleistung (dQ / dt)
	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[kvar/s]
Kürzest möglich	163,06	-139,34	302,40	52,41
60 s	164,97	-139,34	304,31	5,24



Sprung 3 Sollwertvorgabesignal: 1,04 U_n auf 1,00 U_n)

Kürzest mögliche Einstellzeit

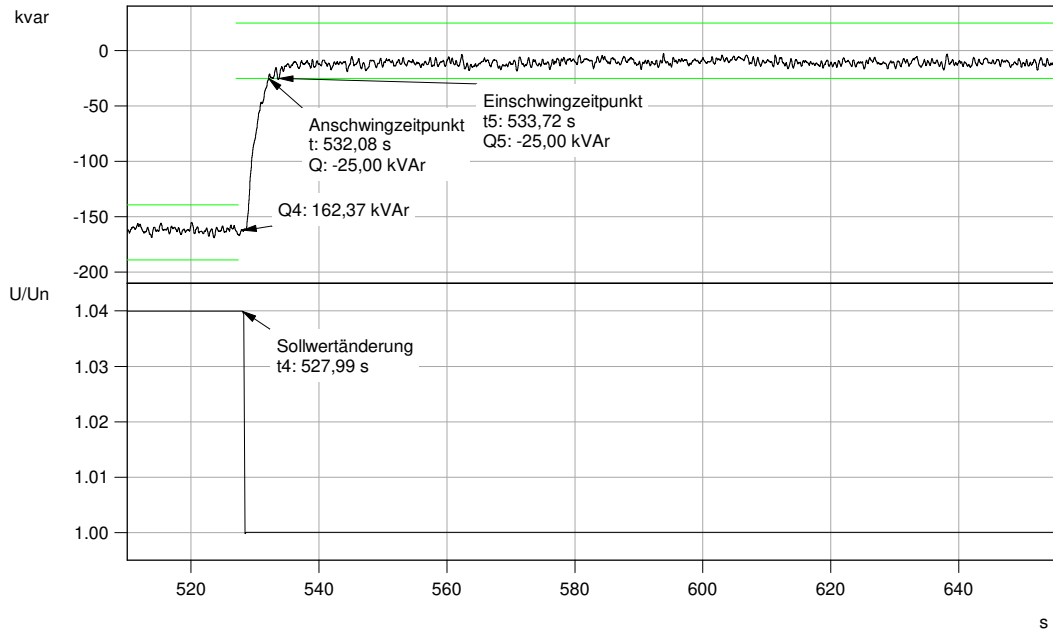


Abb. 46: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte.
(kürzest mögliche Einstellzeit)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe

Einstellzeit von 60 s

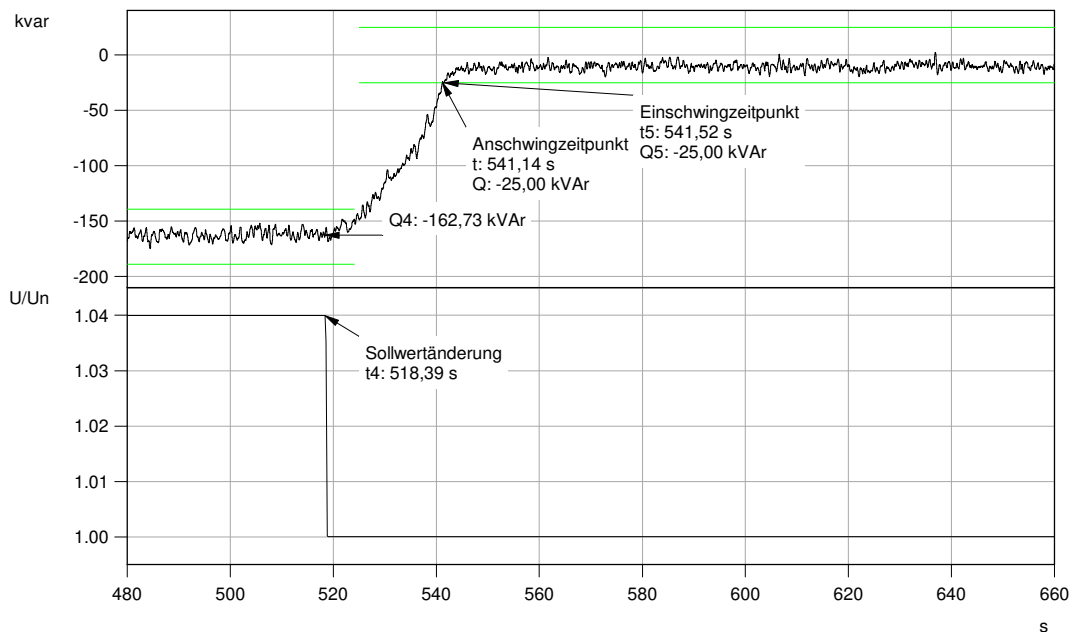


Abb. 47: Einschwingzeit und Steigung der Blindleistung, 200 ms-Werte.
(Einstellzeit von 60 s)
Oben: Blindleistung (schwarz) und Toleranzband (grün)
Unten: Spannungs-Sollwertvorgabe



Aus Tab. 44 und Tab. 45 ergeben sich folgende Werte für die Einschwingzeit und die Blindleistungsänderung.

Tab. 44: Einschwingzeiten Q(U)-Regelung

Einschwingzeit	Zeitpunkt Sollwertänderung (t_4)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (t_5)	Zeitdifferenz ($t_5 - t_4$)
	[s]	[s]	[s]
Kürzest möglich	527,99	533,72	5,73
60 s	518,39	541,52	23,13

Tab. 45: Blindleistungsverhalten Q(U)-Regelung

Blindleistungs-änderung	Zeitpunkt Sollwertänderung (Q_4)	Zeitpunkt Einschwingen Toleranzband (Q_5)	Blindleistungs-änderung ($ Q_4 - Q_5 $)	Steigung der Blindleistung (dQ / dt)
	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[kvar/s]
Kürzest möglich	-162,37	-25,00	137,37	23,97
60 s	-162,73	-25,00	137,73	5,95

Tab. 46 zeigt die ermittelte maximale Einschwingzeit der Blindleistung für die Einstellung der kürzest möglichen Einstellzeit und einer Einstellzeit von 60 s.

Tab. 46: Längste gemessene Einschwingzeit

Längste gemessene Einschwingzeit (kürzest möglich Einstellzeit)	5,77 s
Längste gemessene Einschwingzeit (Einstellzeit von 60 s)	58,06 s



4.3 Netzurückwirkungen

4.3.1 Gemessene Daten

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der gemessenen Daten:

Tab. 47: Anzahl der Datensätze

Messung	Daten	Anzahl der Datensätze	Länge der Datensätze	Abtastfrequenz
Flicker	2016-08-25 13-56-45 14-13-44 14-31-32 14-43-37 14-56-00 15-06-42 15-18-18	7	600 s	20 kHz
Oberschwingungen				
Unsymmetrie				
Schalthandlungen	2016-08-25 15-49-43 15-59-43 17-26-02 2016-08-26 14-40-29 14-47-33 15-16-07 15-23-21	7	unterschiedlich	20 kHz

Für die Auswertungen der Flicker und der Oberschwingungen wurden die Datensätze in Wirkleistungsklassen (10 %-Wirkleistungsbins) eingruppiert. Dabei geht z. B. Wirkleistungsbin 80 von 75 % bis < 85 % der Nennwirkleistung. Die Verteilung der Datensätze ist in der folgenden Tabelle dargestellt.



Tab. 48: Verteilung der Messdaten über die Wirkleistung

Leistungsbins	50	60	70	80	90	100
Anzahl Datensätze	1	1	1	1	1	2

4.3.2 Testbedingungen

Für die Ermittlung der Netzurückwirkungen wurden Datensätze mit einer Länge von 600 s aufgezeichnet. Die EZE befand sich während der Vermessung im Dauerbetrieb bei einer Einstellung von $Q = 0$. Alle Datensätze wurden auf folgende Kriterien nach /1/ überprüft:

- Die Oberschwingungs-Gesamtverzerrung der Spannung bei nicht zugeschalteter EZE muss unter 5 % sein. Die Analyse verschiedener Datensätze hat ergeben, dass die Oberschwingungs-Gesamtverzerrung des elektrischen Netzes unter 5 % liegt.
- Die Netzfrequenz (0,2 s-Mittelwert) muss innerhalb ± 1 % der Nennfrequenz von 50 Hz liegen. Die Änderung der Frequenz (0,2 s-Mittelwert) muss dabei unter 0,2 % pro 0,2 s liegen. Alle Datensätze liegen in diesem Bereich.
- Die Spannung muss innerhalb ± 10 % der Nennspannung von 400 V liegen. Alle Datensätze liegen in diesem Bereich.
- Der Spannungsunsymmetriefaktor muss kleiner als 2 % sein. Alle Datensätze liegen in diesem Bereich.
- Die Umweltbedingungen müssen den Anforderungen des Herstellers des Messsystems und der EZE entsprechen. Die Messkampagne wurde im August 2016 durchgeführt mit dementsprechenden, typischen Temperaturen und Umgebungsmerkmalen.



4.3.3 Fiktives Verbundnetz zur Bestimmung der Flickerbeiwerte

Um Prüfergebnisse erstellen zu können, die unabhängig von den Anschlussbedingungen am Prüfstandort sind, wird das Verfahren nach /4/ angewandt. Dabei wird die EZE in einem fiktiven Verbundnetz nachgebildet, bei dem es keine andere Quelle als die EZE gibt. Das fiktive Netz wird durch eine ideale Leiter-Erde-Spannung $u_0(t)$ und durch die fiktiven Netzimpedanzen R_{fic} und L_{fic} gebildet. Die EZE wird durch eine Stromquelle $i_m(t)$ dargestellt, die den gemessenen Phasenstrom ausgibt. Aus diesem vereinfachten Modell wird die fiktive Spannung $u_{fic}(t)$ berechnet:

$$u_{fic}(t) = u_0(t) + R_{fic} \cdot i_m(t) + L_{fic} \cdot \frac{di_m(t)}{dt}$$

Die Spannung $u_{fic}(t)$ wird danach in den Eingang des digitalen Flicker-Meters nach IEC 61000-4-15 /5/ gegeben. Als Ergebnis des digitalen Flicker-Meters erhält man den Kurzzeit-Flickerstörfaktor im fiktiven Verbundnetz ($P_{st, fic}$).

Dieser simulierte Kurzzeit-Flickerstörfaktor hängt von der Kurzschlussleistung $S_{k, fic}$ und dem Phasenwinkel ψ_k der Netzimpedanzen des fiktiven Netzes ab. Bei der Berechnung des fiktiven Netzes wurde eine Kurzschlussleistung von $S_{k, Fic} = 10$ MVA angenommen, dies entspricht einem Verhältnis zwischen Kurzschlussleistung des fiktiven Netzes und der Bemessungswirkleistung des Generators ($P_n = 500$ kW) von 20. Für die folgenden Berechnungen wurde die Bemessungsscheinleistung des Generators der elektr. Nennwirkleistung des Generators gleichgesetzt. Gemäß /4/ wird der Flickerbeiwert $c(\psi_k)$ wie nachfolgend beschrieben berechnet:

$$c(\psi_k) = P_{st, fic} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n}$$

Dabei ist S_n die Nennscheinleistung der EZE. Der Flickerbeiwert $c(\psi_k)$ wird für die vier Phasenwinkel $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ und 85° berechnet. Der Phasenwinkel ergibt sich dabei durch verschiedene Netzimpedanzen R_{fic} und L_{fic} .

Die fiktive Spannung $u_{fic}(t)$ wird für alle drei Phasenströme und für jeden Phasenwinkel ψ_k eines gemessenen Datensatzes berechnet. Danach wird für jede fiktive Spannung der Kurzzeit-Flickerstörfaktor P_{st} und der Flickerbeiwert $c(\psi_k)$ berechnet.



4.3.4 Flicker

Abb. 48 zeigt den Flickerbeiwert $c(\psi_k)$ in Abhängigkeit von Wirkleistung und Phasenwinkel des Netzes.

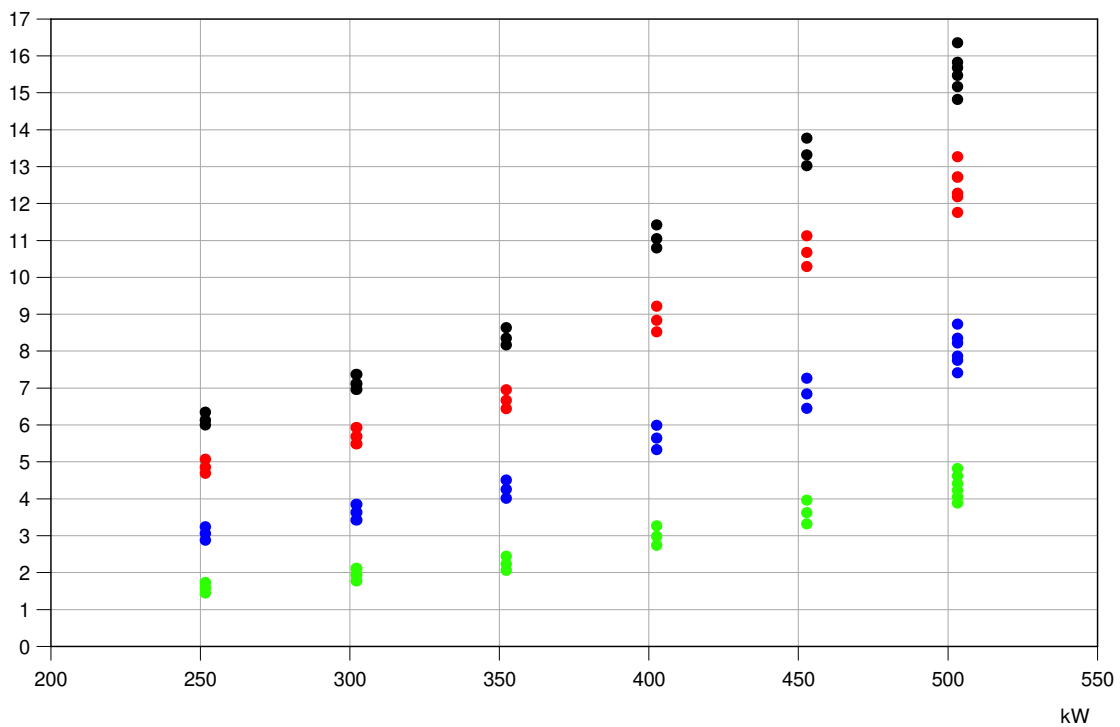


Abb. 48: Flickerbeiwert $c(\psi_k)$ in Abhängigkeit von der Wirkleistung und der Netzimpedanz (Phasenwinkel von $\psi_k = 30^\circ$ (schwarz), 50° (rot), 70° (blau) und 85° (grün))

Tab. 49 zeigt die ermittelten Flickerbeiwerte für die verschiedenen Phasenwinkel der Netzimpedanzen über den Leistungsklassen.

Tab. 49: Flickerbeiwerte (Mittelwert über die einzelnen Phasen)

Netzimpedanzwinkel ψ_k	30°	50°	70°	85°
Mittlere Nennleistung P_a / P_n [%]	Flickerbeiwert $c(\psi_k, P_a)$			
50	6,156	4,870	3,054	1,584
60	7,148	5,697	3,632	1,938
70	8,388	6,688	4,254	2,247
80	11,090	8,859	5,654	2,988
90	13,375	10,700	6,848	3,632
100	15,560	12,493	8,057	4,333



4.3.5 Schalthandlungen

4.3.5.1 Allgemeine Informationen

Für jede der nachfolgend aufgeführten Schalthandlungen wurden folgende Messungen durchgeführt:

- 3 x Einschalthandlungen
- 4 x Abschalthandlungen

Hierbei wurden bei jeder Schalthandlung für jede Phase der Spannungsänderungsfaktor $k_U(\psi_k)$, der Flickerformfaktor $k_f(\psi_k)$ und der maximale Schaltstromfaktor k_{imax} berechnet.

Spannungsänderungsfaktor $k_U(\psi_k)$

Der Spannungsänderungsfaktor ist ein normiertes Maß der Spannungsänderung aufgrund eines Schaltvorganges der EZE. Der Spannungsänderungsfaktor ist abhängig vom Phasenwinkel des Netzes und wird daher für vier Phasenwinkel des fiktiven Netzes berechnet:

$$\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ, 85^\circ$$

Die Berechnung des Spannungsänderungsfaktors erfolgt nach folgender Formel:

$$k_U(\psi_k) = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{fic,max} - U_{fic,min}}{U_n} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n}$$

Dabei bedeuten:

- $U_{fic,max}/U_{fic,min}$: Größter/kleinster Effektivwert der fiktiven Spannung während der Schalthandlung
- U_n : Nennspannung der EZE, niederspannungsseitig
- $S_{k, fic}$: Kurzschlussleistung des fiktiven Verbundnetzes
- S_n : Bemessungsscheinleistung der EZE

Das Verhältnis zwischen Kurzschlussleistung des fiktiven Netzes und Bemessungsscheinleistung der EZE wurde auf 20 gesetzt. Für die folgenden Berechnungen wurde die Bemessungsscheinleistung des Generators der elektr. Nennwirkleistung des Generators gleichgesetzt.

Die Berechnung wird für jede Schalthandlung und für jede Phase für die unterschiedlichen Phasenwinkel ψ_k durchgeführt. Anschließend wird der Mittelwert für alle Ergebnisse gebildet.

**Flickerformfaktor $k_f(\psi_k)$**

Der Flickerformfaktor ist ein normiertes Maß der Flickeremission aufgrund eines Schaltvorganges an einer EZE. Er wird nach folgender Formel bestimmt:

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \cdot \frac{S_{k, \text{fic}}}{S_n} \cdot P_{st, \text{fic}} \cdot T_p^{0,31}$$

Dabei sind:

- $S_{k, \text{fic}}$: Kurzschlussleistung des fiktiven Verbundnetzes
- S_n : Bemessungsscheinleistung der EZE
- $P_{st, \text{fic}}$: Flickeremission der EZE am fiktiven Verbundnetz
- $T_p^{0,31}$: Messdauer der Schalthandlung

Das Verhältnis zwischen Kurzschlussleistung des fiktiven Netzes und Bemessungsscheinleistung der EZE wurde auf 20 gesetzt. Für die folgenden Berechnungen wurde die Bemessungsscheinleistung des Generators der elektr. Nennwirkleistung des Generators gleichgesetzt.

Die Berechnung wurde für jede Schalthandlung und für jede Phase für die unterschiedlichen Phasenwinkel ψ_k durchgeführt. Anschließend wird der Mittelwert für alle Ergebnisse gebildet.

Maximaler Schaltstromfaktor $k_{i \max}$

Der maximale Schaltstromfaktor ist das Verhältnis zwischen maximal auftretendem/gemessenen Einperiodeneffektivwert der drei Leiterströme I_{\max} und dem Effektivwert des Stromes bei Nennscheinleistung und Nennspannung I_n .

$$k_{i \max} = \frac{I_{\max}}{I_n}$$

Die Berechnung wurde für jede Schalthandlung und für jede Phase durchgeführt. Das Ergebnis des maximalen Schaltstromfaktors ergibt sich aus dem größten errechneten Wert.



4.3.5.2 Ergebnisse

In Abb. 49 sind die Verläufe der Effektivwerte von Strom und Spannung während eines Einschaltvorganges dargestellt (Datensatz: 2016-08-25 15-49-43). Abb. 50 zeigt die zugehörigen Verläufe von Wirk-, Blind- und Scheinleistung.

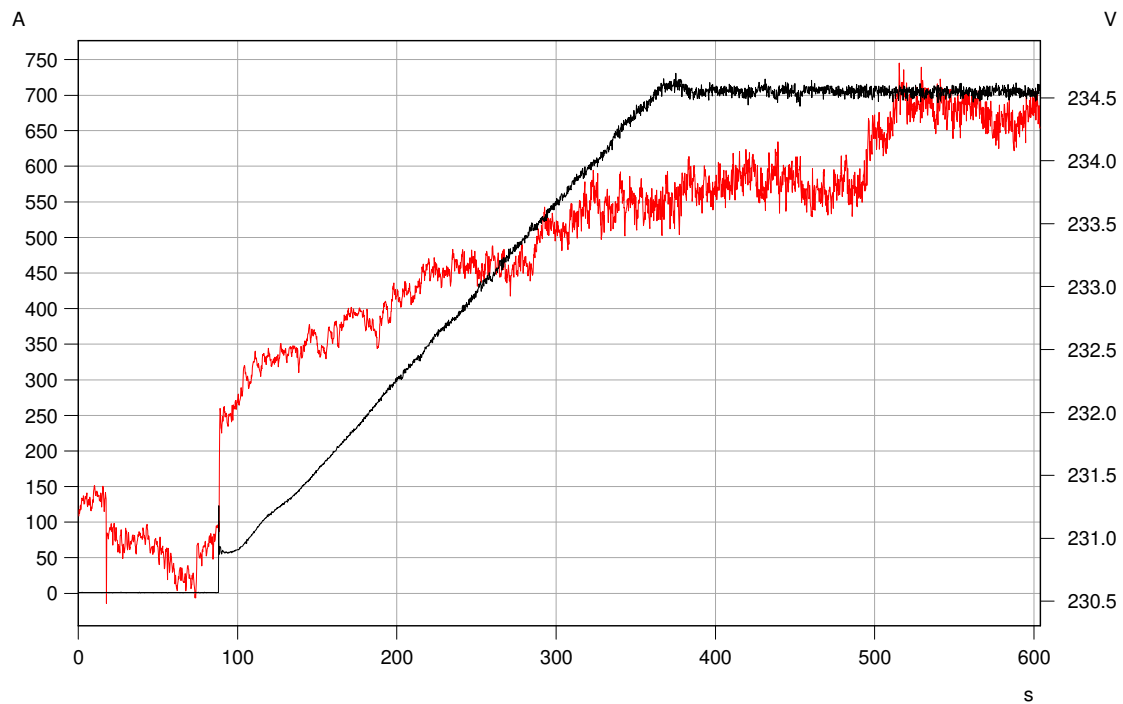


Abb. 49: Strom (schwarz) und Spannung (rot) – Phase 1

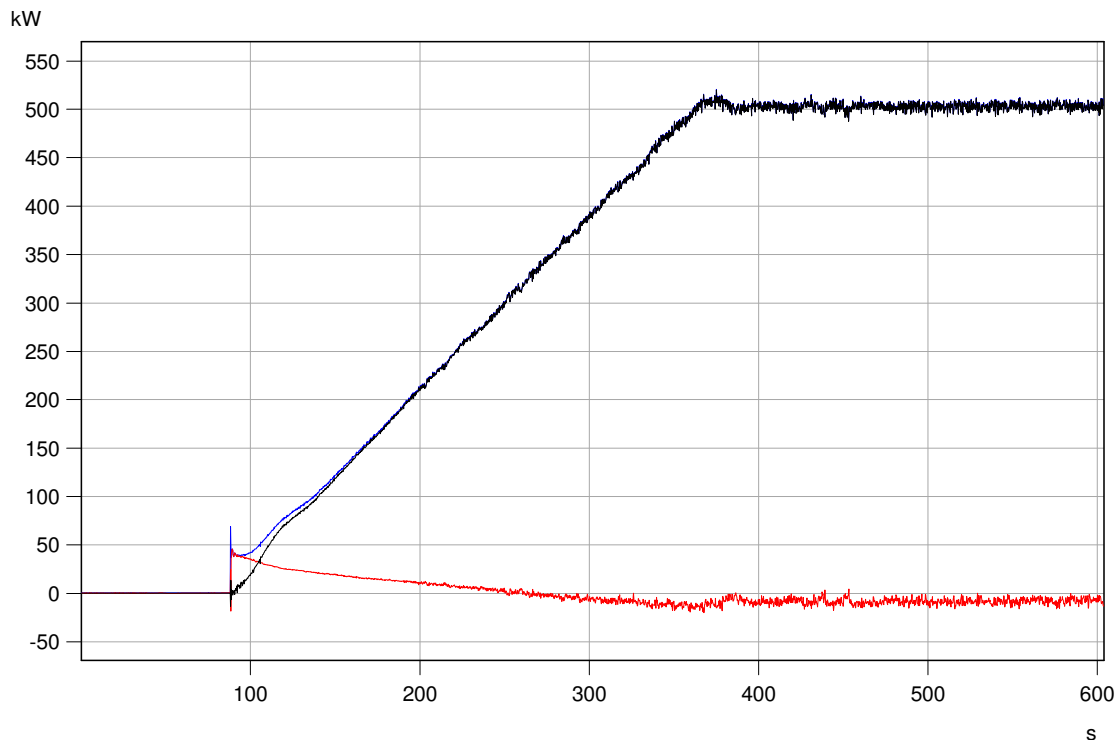


Abb. 50: Wirk- (schwarz), Blind- (rot) und Scheinleistung (blau)

Tab. 50 und Tab. 51 zeigen die Ergebnisse aus allen drei Einschalthandlungen:

Tab. 50: Einschalten bei $P_{\text{verfügbar}} - N_{10}, N_{120}, k_f, k_U$

Schaltvorgang	Einschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$			
	30	50	70	85
Max. Anzahl an Schalthandlungen N_{10}	2			
Max. Anzahl an Schalthandlungen N_{120}	5			
Netzimpedanzwinkel ψ_k [°]	30	50	70	85
Flickerformfaktor $k_f(\psi_k)$	0,667	0,532	0,340	0,184
Spannungsänderungsfaktor $k_U(\psi_k)$	0,890	0,650	0,346	0,086

Tab. 51: Einschalten bei $P_{\text{verfügbar}} - k_{i,max}$

Schaltvorgang	Einschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$		
	Datum	Uhrzeit	Schaltstromfaktor $k_{i,max}$
Schalthandlung 1	2016-08-26	15-16-07	1,091
Schalthandlung 2	2016-08-25	15-49-43	1,094
Schalthandlung 3	2016-08-26	14-40-29	1,102
Maximaler Schaltstromfaktor $k_{i,max}$	1,102		



In Abb. 51 sind die Verläufe der Effektivwerte von Strom und Spannung während des Abschaltvorganges dargestellt (Datensatz: 2016-08-25 15-59-47). Abb. 52 zeigt die zugehörigen Verläufe von Wirk-, Blind- und Scheinleistung.

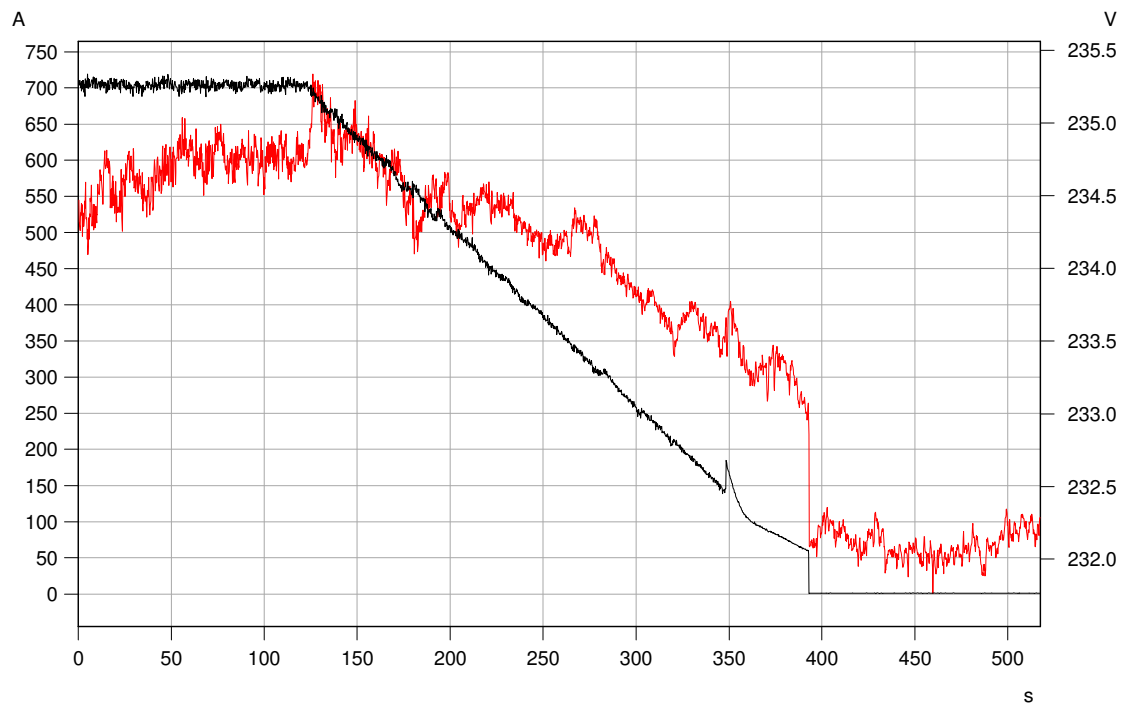


Abb. 51: Strom (schwarz) und Spannung (rot) – Phase 1

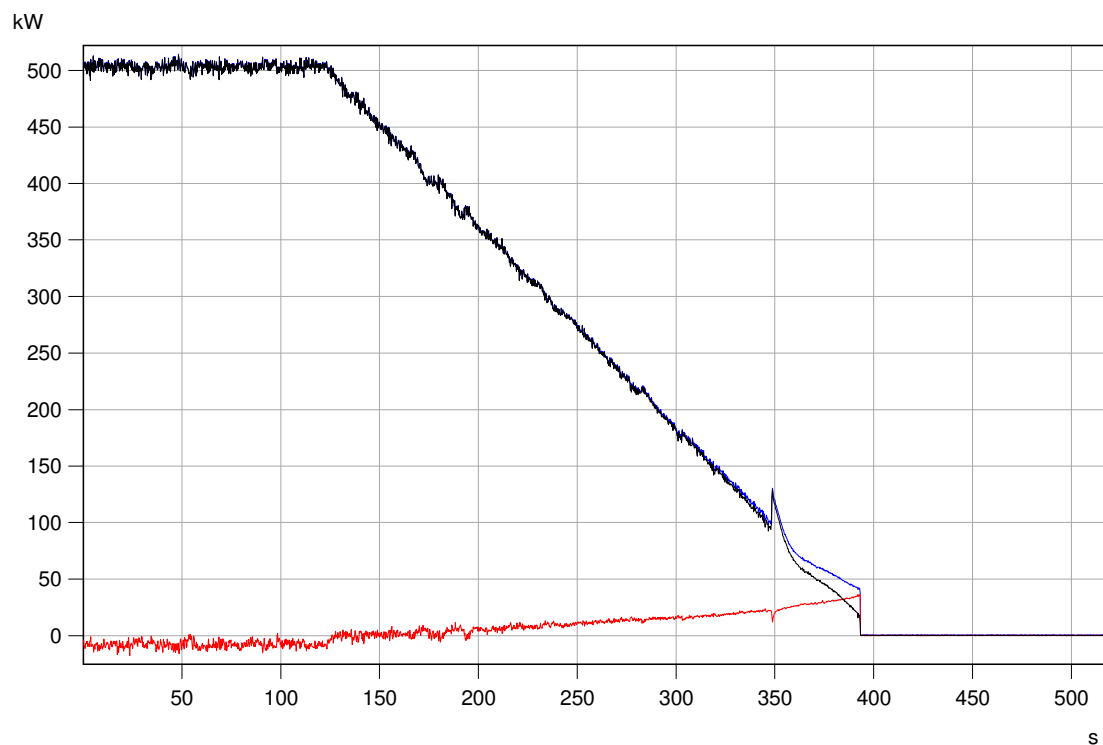


Abb. 52: Wirk- (schwarz), Blind- (rot) und Scheinleistung (blau)



Tab. 52 und Tab. 53 zeigen die Ergebnisse aus allen vier Abschalthandlungen:

Tab. 52: Abschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$ - N_{10} , N_{120} , k_f , k_U

Schaltvorgang	Abschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$			
Max. Anzahl an Schalthandlungen N_{10}	2			
Max. Anzahl an Schalthandlungen N_{120}	5			
Netzimpedanzwinkel ψ_k [°]	30	50	70	85
Flickerformfaktor $k_f(\psi_k)$	0,644	0,514	0,329	0,177
Spannungsänderungsfaktor $k_U(\psi_k)$	0,874	0,644	0,345	0,096

Tab. 53: Abschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$ - $k_{i,max}$

Schaltvorgang	Abschalten bei $P_{\text{verfügbar}}$		
	Datum	Uhrzeit	Schaltstromfaktor $k_{i,max}$
Schalthandlung 1	2016-08-25	15-59-47	1,088
Schalthandlung 2	2016-08-25	17-26-02	1,087
Schalthandlung 3	2016-08-26	14-47-33	1,107
Schalthandlung 4	2016-08-26	15-23-21	1,097
Maximaler Schaltstromfaktor $k_{i,max}$	1,107		

Tab. 54 zeigt den maximalen Schaltstromfaktor aus allen Schalthandlungen (Ein- und Abschaltvorgänge).

Tab. 54: Maximaler Schaltstromfaktor

Maximaler Schaltstromfaktor $k_{i,max}$	1,107
---	-------



4.3.6 Oberschwingungen

4.3.6.1 Harmonische Ströme

Für die Bestimmung der harmonischen Ströme wurden die 10-Min-Datensätze gemäß IEC 61000-4-7 /6/ in Teilstücke von 10 Netzperioden (ca. 200 ms) aufgeteilt und eine DFT durchgeführt. Aufgrund der Länge von 10 Netzperioden und der Netzfrequenz von 50 Hz beträgt die Frequenzauflösung der Spektren ca. 5 Hz. Aus diesen Teilstücken wurde für jeden 10-Min-Datensatz der Mittelwert des Spektrums berechnet. Die Spektren aus der DFT wurden nach der unten angegebenen Formel zusammengefasst:

$$G_{g,n} = \sqrt{\sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2}$$

Mit:

- $G_{g,n}$: Energiegehalt der jeweiligen harmonischen Ordnung
- C_k : Effektivwert der Spektralkomponente

Jedes gruppierte Spektrum wurde seiner 10-Min-Wirkleistung entsprechend einem Wirkleistungsbin zugeordnet. Für jedes Wirkleistungsbin wurde eine „Worst-Case-Matrix“ erstellt. Das bedeutet, dass alle hier angegebenen Werte nicht zur selben Zeit auftreten. In Tab. 55 sind die gruppierten harmonischen Ströme bis zur 50. Ordnung und harmonische Stromverzerrung (THC) für jedes Wirkleistungsbin dargestellt.



Tab. 55: Untergruppierete harmonische Ströme

P_{bin} [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Max
H	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]	I_h [%]
2	--	--	--	--	--	0,09	0,10	0,10	0,13	0,12	0,14	0,14
3	--	--	--	--	--	0,41	0,50	0,58	0,63	0,70	0,78	0,78
4	--	--	--	--	--	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
5	--	--	--	--	--	2,94	2,73	2,69	2,80	3,00	3,33	3,33
6	--	--	--	--	--	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
7	--	--	--	--	--	1,12	1,08	1,01	0,92	0,87	0,77	1,12
8	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	--	--	--	--	--	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
10	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
11	--	--	--	--	--	0,10	0,15	0,18	0,21	0,25	0,31	0,31
12	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
13	--	--	--	--	--	0,10	0,15	0,20	0,25	0,29	0,31	0,31
14	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
15	--	--	--	--	--	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
16	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
17	--	--	--	--	--	0,08	0,07	0,05	0,06	0,07	0,06	0,08
18	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
19	--	--	--	--	--	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
20	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
21	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
22	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
23	--	--	--	--	--	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05
24	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
25	--	--	--	--	--	0,03	0,02	0,04	0,06	0,07	0,06	0,07
26	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
27	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
28	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
29	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05	0,06	0,06
30	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
31	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
32	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
33	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
34	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
35	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03
36	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
37	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02



38	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
39	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
40	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
41	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
42	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
43	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02
44	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47	--	--	--	--	--	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
48	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
50	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
THC [%]	--	--	--	--	--	3,18	2,99	2,95	3,04	3,23	3,54	3,54



4.3.6.2 Harmonische Spannungen

Für die Bestimmung der harmonischen Spannungen wurden die 10-Min-Datensätze gemäß IEC 61000-4-7 /6/ in Teilstücke von 10 Netzperioden (ca. 200 ms) aufgeteilt und eine DFT durchgeführt. Aufgrund der Länge von 10 Netzperioden und der Netzfrequenz von 50 Hz beträgt die Frequenzauflösung der Spektren ca. 5 Hz. Aus diesen Teilstücken wurde für jeden 10-Min-Datensatz der Mittelwert des Spektrums berechnet. Die Spektren aus der DFT wurden nach der unten angegebenen Formel zusammengefasst:

$$G_{g,n} = \sqrt{\sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2}$$

Mit:

- $G_{g,n}$: Energiegehalt der jeweiligen harmonischen Ordnung
- C_k : Effektivwert der Spektralkomponente

Jedes gruppierte Spektrum wurde seiner 10-Min-Wirkleistung entsprechend einem Wirkleistungsbin zugeordnet. Für jedes Wirkleistungsbin wurde eine „Worst-Case-Matrix“ erstellt. Das bedeutet, dass alle hier angegebenen Werte nicht zur selben Zeit auftreten. In Tab. 55 sind die gruppierten harmonischen Spannungen bis zur 50. Ordnung und harmonische Spannungsverzerrung (THC) für jedes Wirkleistungsbin dargestellt.



Tab. 56: Untergruppierete harmonische Spannungen

P_{bin} [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Max
H	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]	U_h [%]
2	--	--	--	--	--	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
3	--	--	--	--	--	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,23
4	--	--	--	--	--	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
5	--	--	--	--	--	0,46	0,50	0,53	0,56	0,60	0,48	0,60
6	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
7	--	--	--	--	--	0,26	0,30	0,33	0,38	0,43	0,52	0,52
8	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	--	--	--	--	--	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
10	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
11	--	--	--	--	--	0,16	0,20	0,22	0,25	0,28	0,27	0,28
12	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
13	--	--	--	--	--	0,18	0,16	0,12	0,09	0,07	0,02	0,18
14	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
15	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
16	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
17	--	--	--	--	--	0,04	0,07	0,08	0,07	0,04	0,05	0,08
18	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
19	--	--	--	--	--	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
20	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
21	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
22	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
23	--	--	--	--	--	0,05	0,04	0,05	0,07	0,10	0,09	0,10
24	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
25	--	--	--	--	--	0,07	0,07	0,06	0,04	0,02	0,06	0,07
26	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
27	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
28	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
29	--	--	--	--	--	0,02	0,04	0,04	0,06	0,09	0,06	0,09
30	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
31	--	--	--	--	--	0,03	0,02	0,03	0,06	0,11	0,11	0,11
32	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
33	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
34	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
35	--	--	--	--	--	0,01	0,03	0,05	0,06	0,10	0,10	0,10
36	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
37	--	--	--	--	--	0,03	0,02	0,03	0,05	0,08	0,10	0,10



38	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
39	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
40	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
41	--	--	--	--	--	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05
42	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
43	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
44	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
45	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
46	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
47	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05	0,03	0,05
48	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
49	--	--	--	--	--	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04
50	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
THC [%]	--	--	--	--	--	0,61	0,67	0,72	0,78	0,86	0,83	0,86



4.3.6.3 Zwischenharmonische Ströme

Für die Bestimmung der zwischenharmonischen Ströme wurden die 10-Min-Datensätze gemäß IEC 61000-4-7 /6/ in Teilstücke von 10 Netzperioden (ca. 200 ms) aufgeteilt und eine DFT durchgeführt. Aufgrund der Länge von 10 Netzperioden und der Netzfrequenz von 50 Hz beträgt die Frequenzauflösung der Spektren ca. 5 Hz. Aus diesen Teilstücken wurde für jeden 10-Min-Datensatz der Mittelwert des Spektrums berechnet. Die Spektren aus der DFT wurden nach der unten angegebenen Formel zusammengefasst:

$$C_{isg,n} = \sqrt{\sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2}$$

Mit:

- $C_{isg,n}$: Effektivwert der zentrierten zwischenharmonischen Gruppe
- C_k : Effektivwert der Spektralkomponente

Jedes gruppierte Spektrum wurde seiner 10-Min-Wirkleistung entsprechend einem Wirkleistungsbin zugeordnet. Für jedes Wirkleistungsbin wurde eine „Worst-Case-Matrix“ erstellt. Das bedeutet, dass alle hier angegebenen Werte nicht zur selben Zeit auftreten. In Tab. 57 sind die gruppierten zwischenharmonischen Ströme bis 2.000 Hz dargestellt.

Tab. 57: Untergruppierte Zwischenharmonische

P _{bin} [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Max
f [Hz]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]
75	--	--	--	--	--	0,41	0,49	0,57	0,72	0,85	0,93	0,93
125	--	--	--	--	--	0,09	0,12	0,13	0,16	0,17	0,21	0,21
175	--	--	--	--	--	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07
225	--	--	--	--	--	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
275	--	--	--	--	--	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
325	--	--	--	--	--	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
375	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
425	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
475	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
525	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
575	--	--	--	--	--	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
625	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
675	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
725	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
775	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
825	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01



875	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
925	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
975	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1.025	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.075	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.125	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.175	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1.225	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.275	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1.325	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.375	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.425	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1.475	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.525	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.575	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1.625	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.675	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.725	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.775	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.825	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.875	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.925	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
1.975	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01

4.3.6.4 Höher frequente Ströme

Für die Bestimmung der höher frequenten Ströme wurden die 10-Min-Datensätze gemäß IEC 61000-4-7 /6/ in Teilstücke von 100 ms aufgeteilt und eine DFT durchgeführt. Aufgrund der Länge von 100 ms und der Netzfrequenz von 50 Hz beträgt die Frequenzauflösung der Spektren 10 Hz. Aus diesen Teilstücken wurde für jeden

10-Min-Datensatz der Mittelwert des Spektrums berechnet. Die Spektren aus der DFT wurden nach der unten angegebenen Formel zusammengefasst:

$$G_b = \sqrt{\sum_{f=b-90}^{b+100} C_f^2}$$

Mit:

- G_b : Effektivwert der zugehörigen Bandbreite
- C_f : Effektivwert der Spektralkomponente



Jedes gruppierte Spektrum wurde seiner 10-Min-Wirkleistung entsprechend einem Wirkleistungsbin zugeordnet. Für jedes Wirkleistungsbin wurde daraufhin eine „Worst-Case-Matrix“ erstellt. Das bedeutet, dass alle hier angegebenen Werte nicht zur selben Zeit auftreten. In Tab. 58 sind die gruppierten höher frequenten Ströme von 2.000 Hz bis 9.000 Hz dargestellt.

Tab. 58: Gruppierte Anteile höherer Frequenzen

Pbin [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Max
f [kHz]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]	I _h [%]
2,1	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03
2,3	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
2,5	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
2,7	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
2,9	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
3,1	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3,3	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3,5	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3,7	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3,9	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4,1	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4,3	--	--	--	--	--	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4,5	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4,7	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4,9	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5,1	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
5,3	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
5,5	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
5,7	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
5,9	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
6,1	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
6,3	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
6,5	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
6,7	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
6,9	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7,1	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
7,3	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
7,5	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
7,7	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01



7,9	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
8,1	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
8,3	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
8,5	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
8,7	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
8,9	--	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

4.3.7 Unsymmetrie

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Die Messdaten werden in 10 %-Wirkleistungsbins klassiert. Aus den gemessenen 10-Min-Datensätzen wurden die Mit- und Gegensystemkomponenten von Strom und Spannung sowie die Mitsystemkomponente der Wirkleistung berechnet. Die Unsymmetrie des Stromes u_i wird gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$u_i = \frac{I_{1-}}{I_{1+}} \cdot 100\%$$

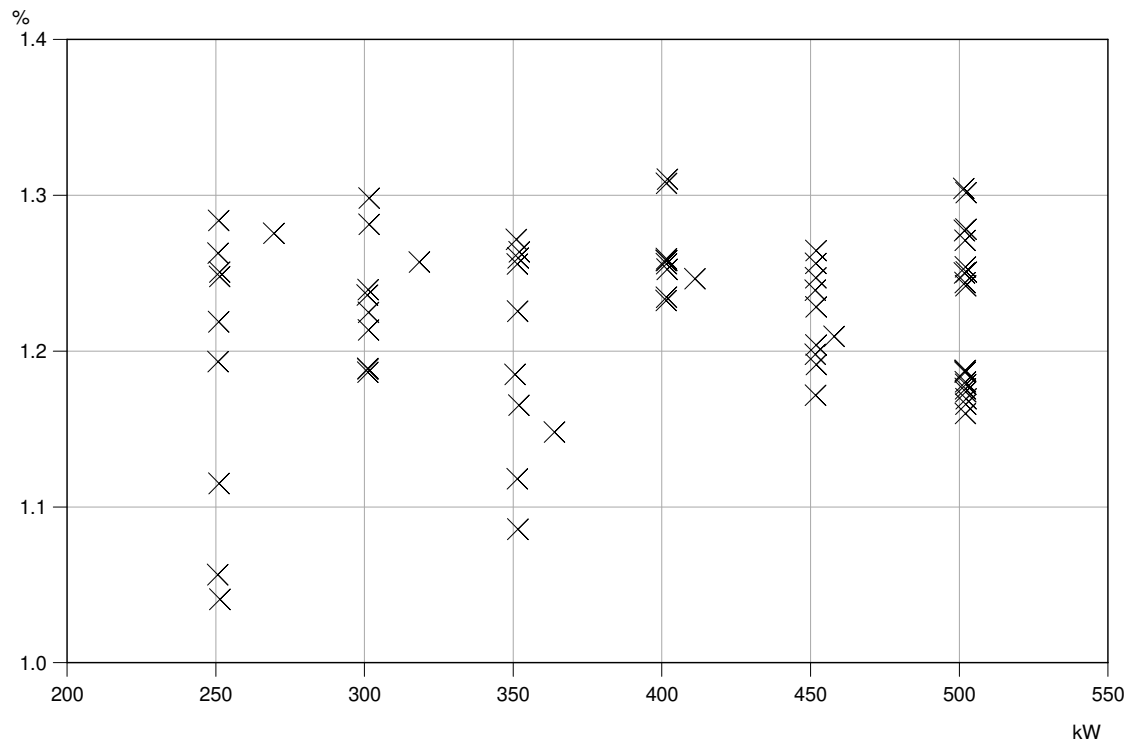
Die Messergebnisse sind als 1 min Mittelwerte pro Leistungsklasse (Leistungsbins) in der folgenden Tabelle (Tab. 21) angegeben.

Tab. 59: Unsymmetrie des Stromes

P_n [%]	P [kW]	U_{1+} [V]	U_{1-} [V]	I_{1+} [A]	I_{1-} [A]	u_i [%]	Anzahl Daten- sätze
50	252,81	401,22	0,22	364,05	4,35	1,19	10
60	302,98	400,98	0,29	436,34	5,37	1,23	10
70	352,72	401,14	0,31	507,69	6,08	1,20	10
80	402,62	400,90	0,40	579,83	7,31	1,26	10
90	452,45	401,05	0,45	651,38	7,95	1,22	10
P_{max}	502,14	400,43	0,50	724,06	8,85	1,22	20



Im Folgenden werden die 1 min Mittelwerte als $u_i(P)$ -Diagramm Abb. 26 dargestellt.





4.4 Trennung der EZE vom Netz

4.4.1 Durchführung der Messung

Die Messungen zur Funktionsfähigkeit des Entkuppungsschutzes sowie die Prüfung zum Ausfall der Hilfsenergie wurden abweichend zu /1/ nicht durchgeführt.

Die Überprüfung der Gesamtwirkungskette ist Bestandteil dieses Prüfberichts. Die Auswertung ist in Kap. 4.4.2 dargestellt.

4.4.2 Prüfung der Gesamtwirkungskette

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der gemessenen Daten:

Tab. 61: Anzahl der Datensätze bei Messung nach /1/

Messung	Daten	Anzahl der Datensätze	Länge der Datensätze	Abtastfrequenz
Prüfung der Gesamtwirkungskette	2016-08-30 11-46-10	1	--	20 kHz

Die Messung wurde gemäß /1/ durchgeführt. Der Versuch der Gesamtwirkungskette wurde kurz nach der Zuschaltung ans Netz durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt produzierte die Anlage eine Wirkleistung von ca. 8 kW. Das entspricht einer Leistung von ca. 1,6 % der Nennleistung.

Zur Simulation einer Netzstörung wurde die Sicherung der Phase 3 (Spannung U_3) herausgedreht. Das Auslösesignal des Netzschutzmoduls (Ziehl: UFR 1001 E) wurde als Spannungssignal (24 V nach 0 V) parallel zum Unterspannungsauslöser des Leistungsschalters (Klemme: D1) ausgekoppelt. Die zeitliche Differenz zwischen der Abschaltung von Phase 3 und der Auslösung des Netzschutzmoduls entspricht der Dauer, welche die Anlage benötigt, um den Netzausfall zu detektieren.

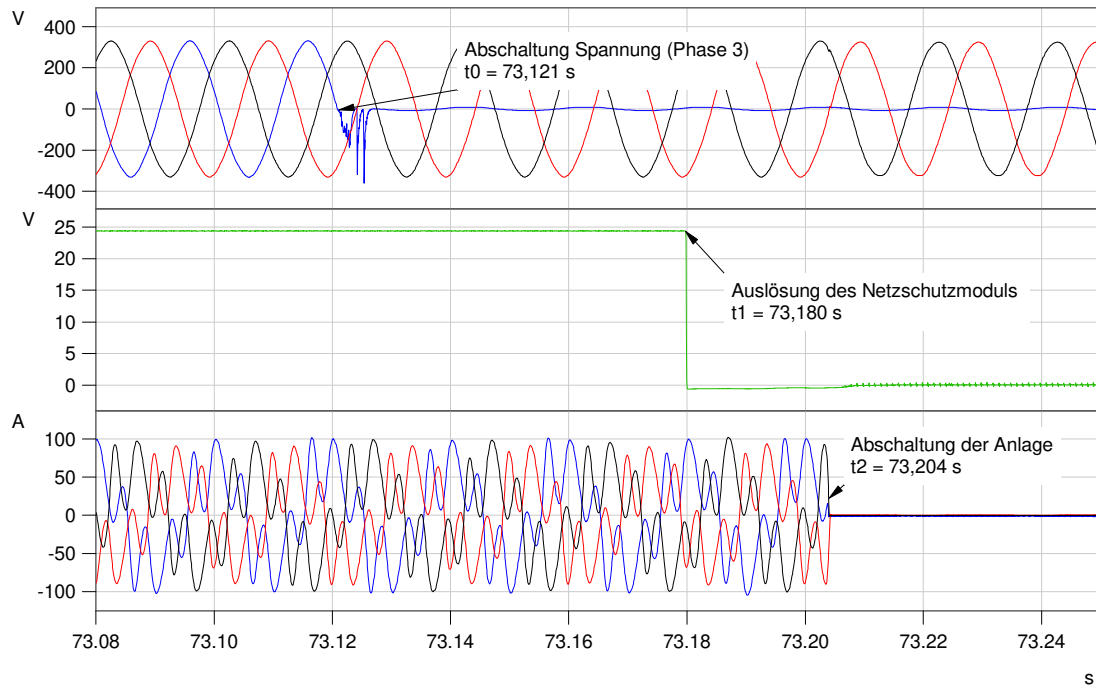


Abb. 54: Prüfung der Gesamtwirkungskette
 oben: Zeitverläufe der Spannungen (U1: schwarz, U2: rot, U3: blau),
 mitte: Auslösesignal des Netzschutzmoduls (grün)
 unten: Zeitverläufe der Ströme (I1: schwarz, I2: rot, I3: blau)

Es ergab sich folgende Auslösezeit:

Tab. 62: Auslösezeit Gesamtwirkungskette

Abschaltung der Spannung (Phase 1)	t_0	73,121 s
Auslösung des Netzschutzmoduls	t_1	73,180 s
Abschaltung der Anlage	t_2	73,204 s
Zeitdifferenz t_1-t_0 (Fehlerdetektion)	Δt_{01}	59 ms
Zeitdifferenz t_2-t_1 (Schutzauslösung)	Δt_{12}	24 ms
Zeitdifferenz t_2-t_0 (Gesamtzeit)	Δt_{02}	83 ms



4.5 Nachweis der Zuschaltbedingungen

Die Überprüfung der Zuschaltbedingungen der EZE wurde abweichend zu /1/ nicht durchgeführt.



4.6 Verhalten bei Störungen im Netz (LVRT)

4.6.1 Messdaten

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der dargestellten Messungen:

Tab. 63: Test plan

Test-Nr.	3-phasig	2-phasig	Einbruchtiefe [%/U _n]	Fehlerdauer [ms]	Last [% P _n]	Kommentar
1.1.0	X		30...35	155	0	Leerversuch
1.1.1	X		30...35	155	50	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
1.1.2	X		30...35	155	100	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
1.2.0		X	30...35	155	0	Leerversuch
1.2.1		X	30...35	155	50	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
1.2.2		X	30...35	155	100	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
2.1.0	X		45...55	155	0	Leerversuch
2.1.1	X		45...55	155	50	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
2.1.2	X		45...55	155	100	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
2.2.0		X	45...55	155	0	Leerversuch
2.2.1		X	45...55	155	50	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
2.2.2		X	45...55	155	100	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
3.1.0	X		70...80	150	0	Leerversuch
3.1.1	X		70...80	850	50	cosφ = 1 – 0,95 untererregt
3.1.2.a	X		70...80	850	100	cosφ = 1 – 0,95 untererregt



3.1.2.b	X		70...80	850	100	$\cos\varphi = 0,95$ untererregt
3.1.2.c	X		70...80	850	100	$\cos\varphi = 0,95$ übererregt
3.2.0		X	70...80	150	0	Leerversuch
3.2.1		X	70...80	850	50	$\cos\varphi = 1 - 0,95$ untererregt
3.2.2		X	70...80	850	100	$\cos\varphi = 1 - 0,95$ untererregt

Das Drehzahl­signal wurde in einer nicht ausreichenden Auflösung bereitgestellt. Daher kann der Polradwinkel nicht berechnet und folglich nicht dargestellt werden.

4.6.2 Verwendete Impedanzen, Kurzschlussleistung während der Tests

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die verwendeten Impedanzen und die daraus resultierende Kurzschlussleistung. Angaben zu den Netzdaten am Standort sind Kap. 2.4 zu entnehmen.

Tab. 64: Impedanzen und Kurzschlussleistung

Eingestellte Restspannung [%/U _n]	Netzimpedanz X _{Netz} [Ω]	Serienimpedanz X _{SR} [Ω]	Kurzschlussimpedanz X _{sc} [Ω]	Kurzschlussleistung zu Nennleistung [S _k /P _n]
30...35	2,818	51,67	25,83	14,7
45...55	2,818	51,67	51,67	14,7
70...80	2,818	18,09	51,56	38,3



4.6.3 Test Nr. 1.1.0 Leerversuch

Tab. 65: Versuch Nr. 1.1.0

Messdatensatz	2016-08-23 09-57-48
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	155 ms

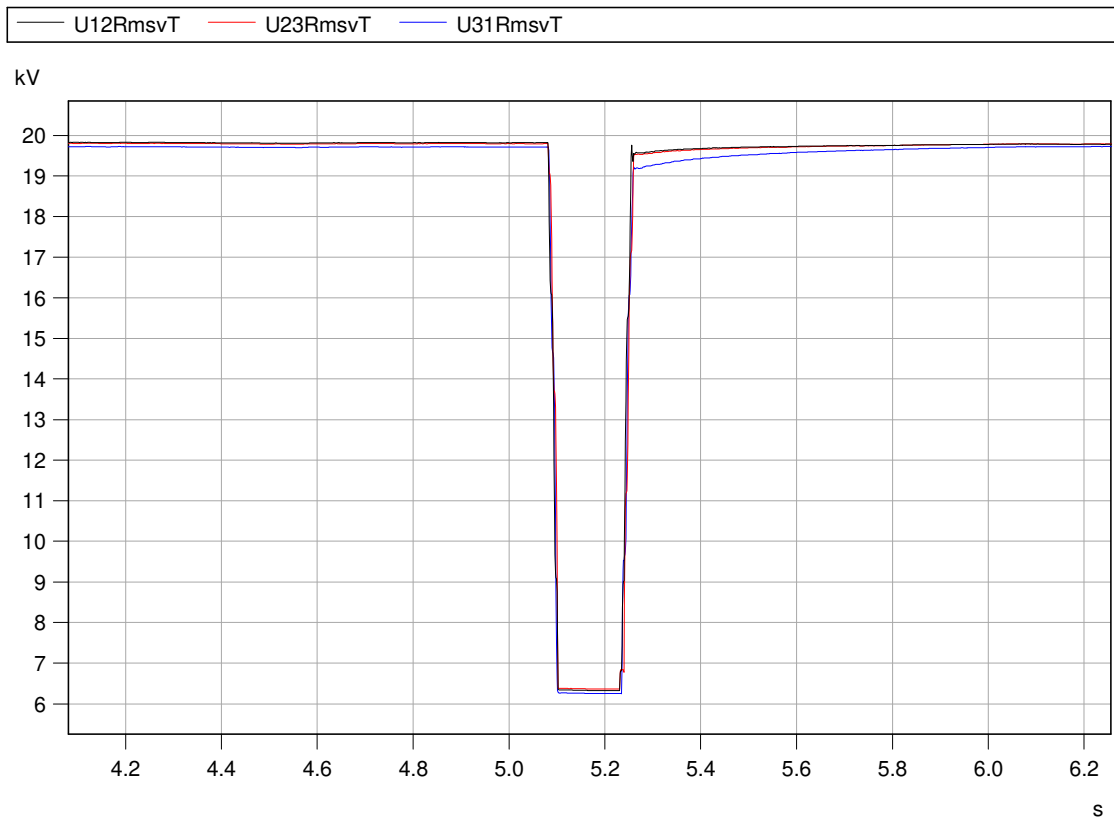


Abb. 55: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

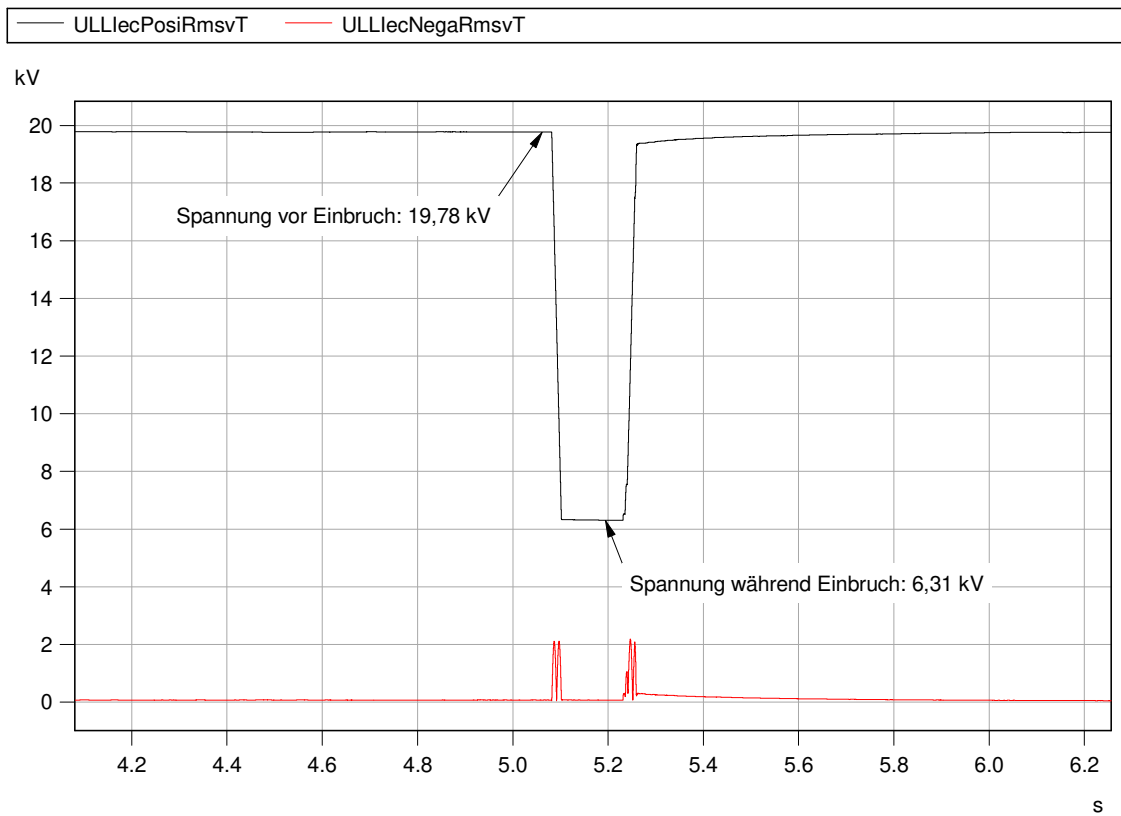


Abb. 56: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 66: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	19,78 kV
Spannung während Spannungseinbruch	6,31 kV
Ermittelte Restspannung	31,90 %



4.6.4 Test Nr. 1.1.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 67: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 1.1.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		1.1.1	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		15:30:03	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,32	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		25,83	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,43	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.066,08	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.075,29	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.231,98	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.172,99	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		156,69	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,47
16		Mitsystem		0,47		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,51	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,51	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,01	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,01	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,51	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,51	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,01	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,47	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,96	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,49	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,49	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,53	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-8,19	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-6,25	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	9,03	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	3,35	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	2,25	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,92	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	4,61	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	3,27	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	4,99	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,85	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,85	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,90	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,03	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,03	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,51	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,51	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,51	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,10	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,02	[p.u.]

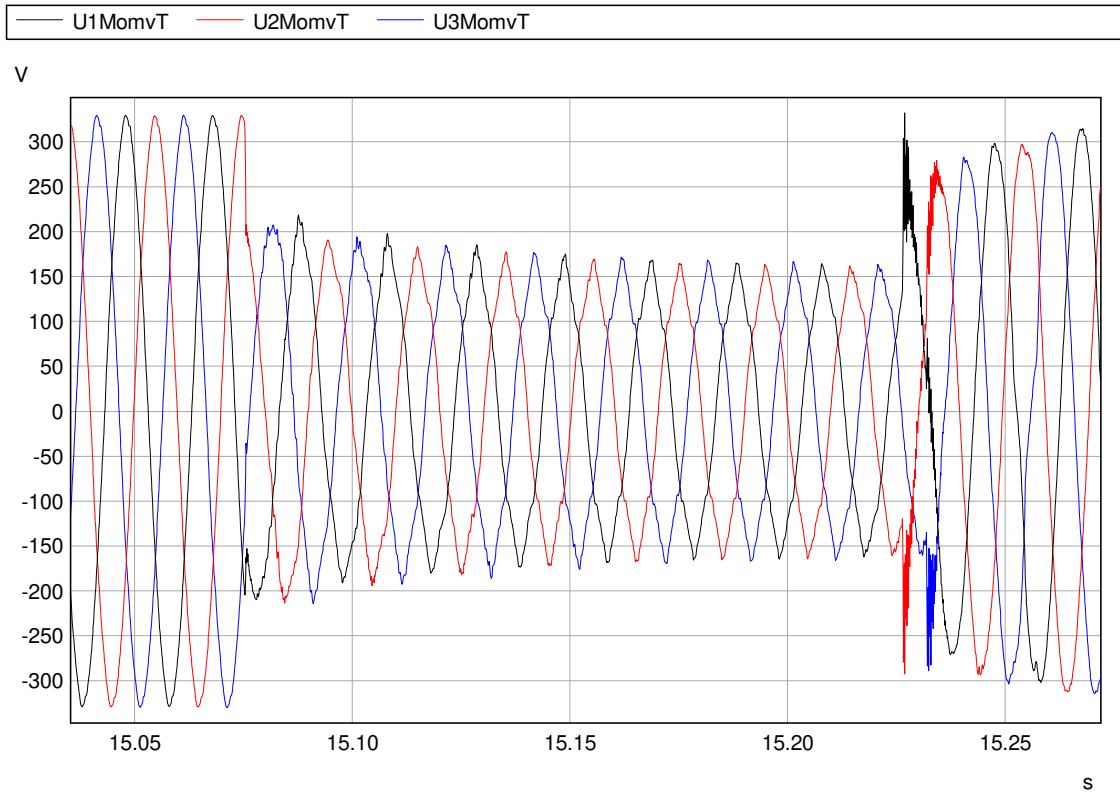


Abb. 57: Zeitverläufe der Spannungen

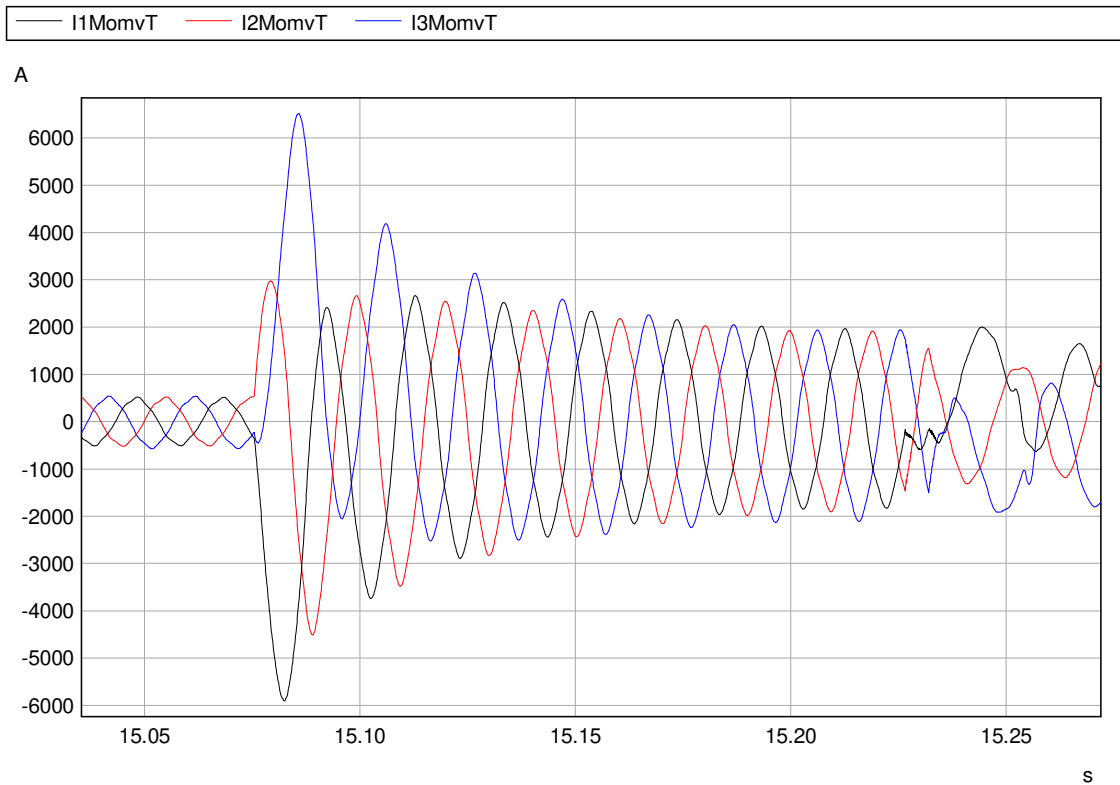


Abb. 58: Zeitverläufe der Ströme

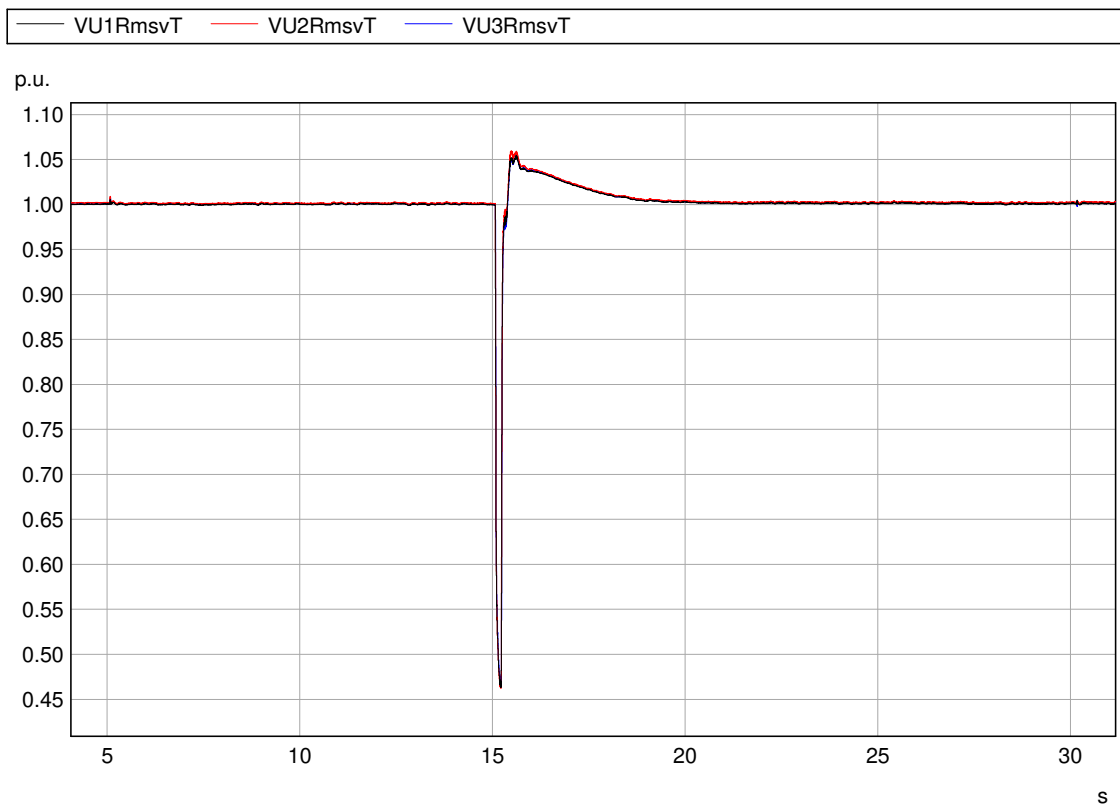


Abb. 59: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

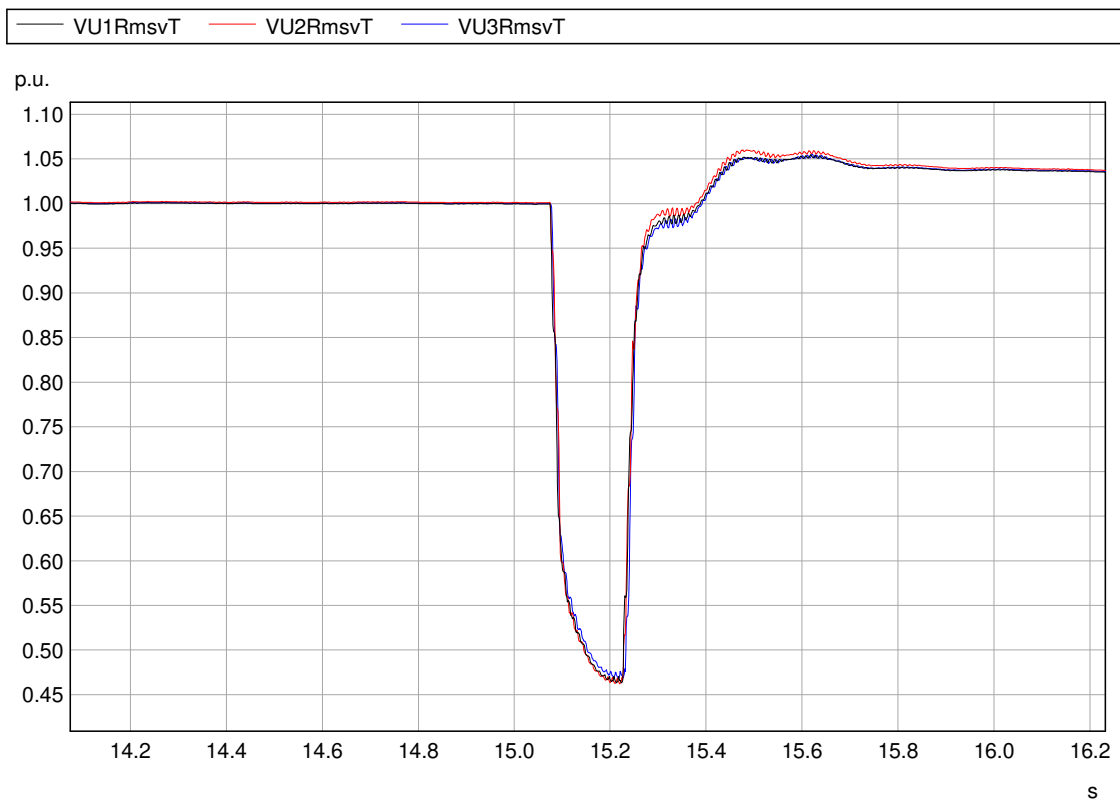


Abb. 60: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

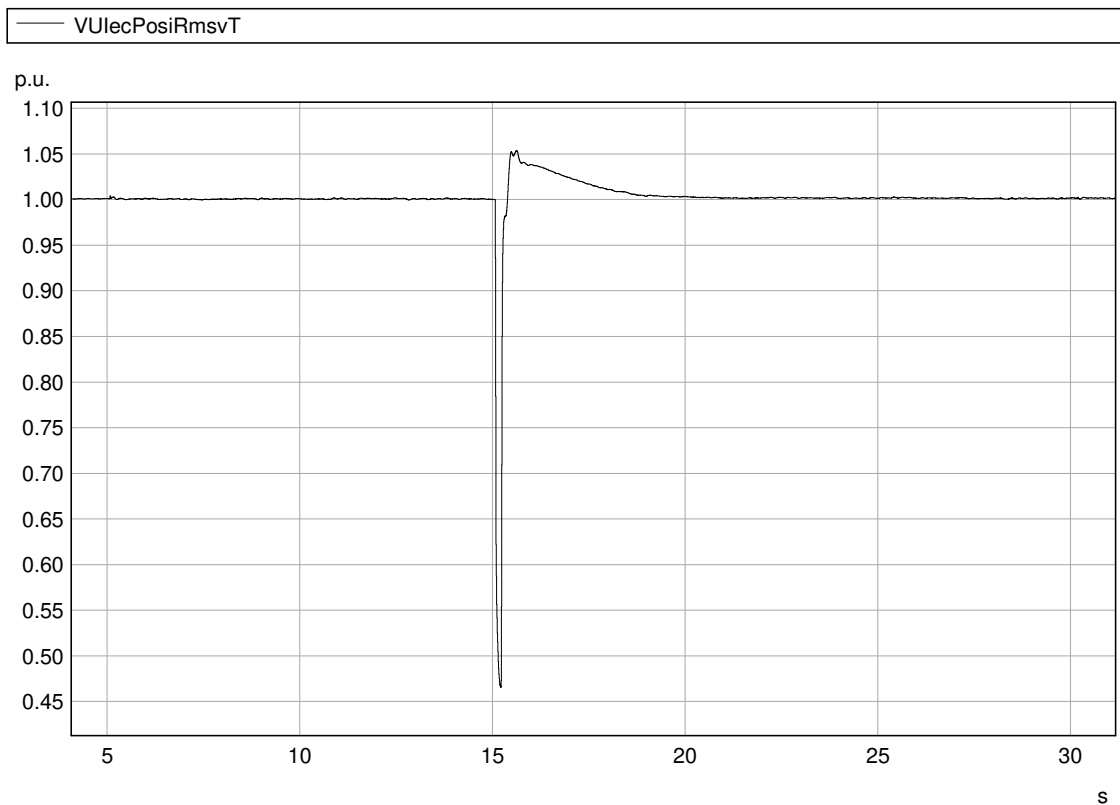


Abb. 61: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

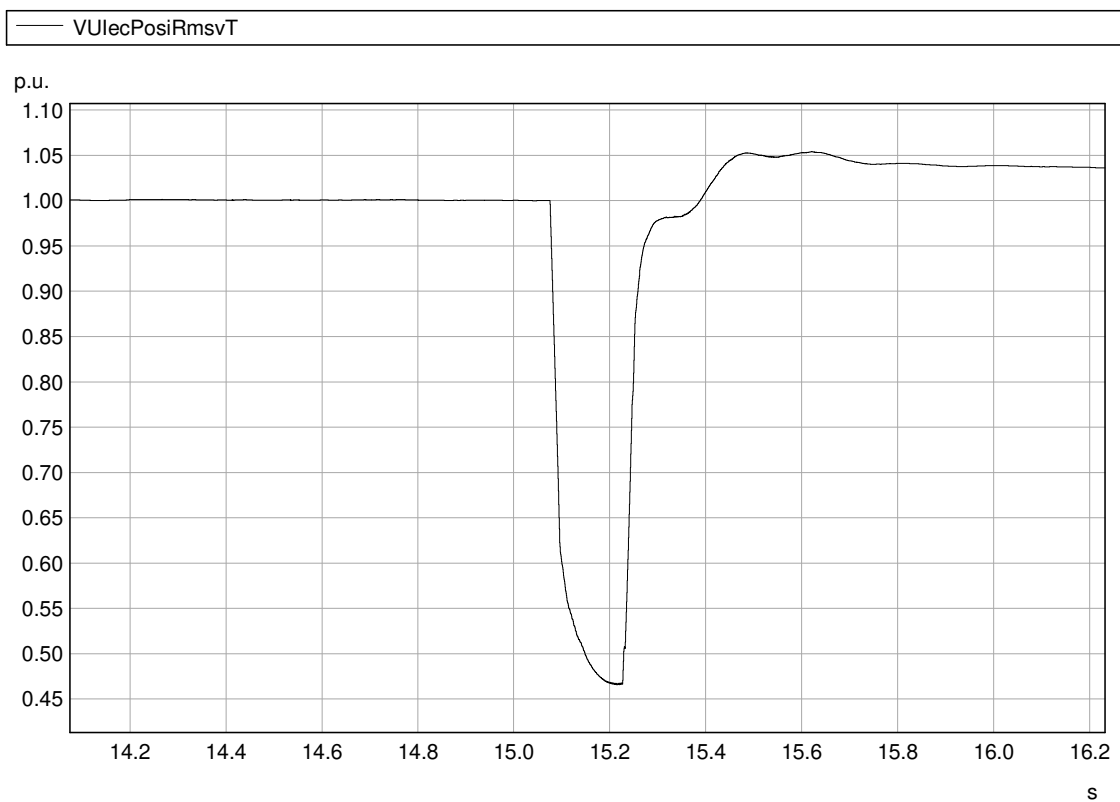


Abb. 62: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

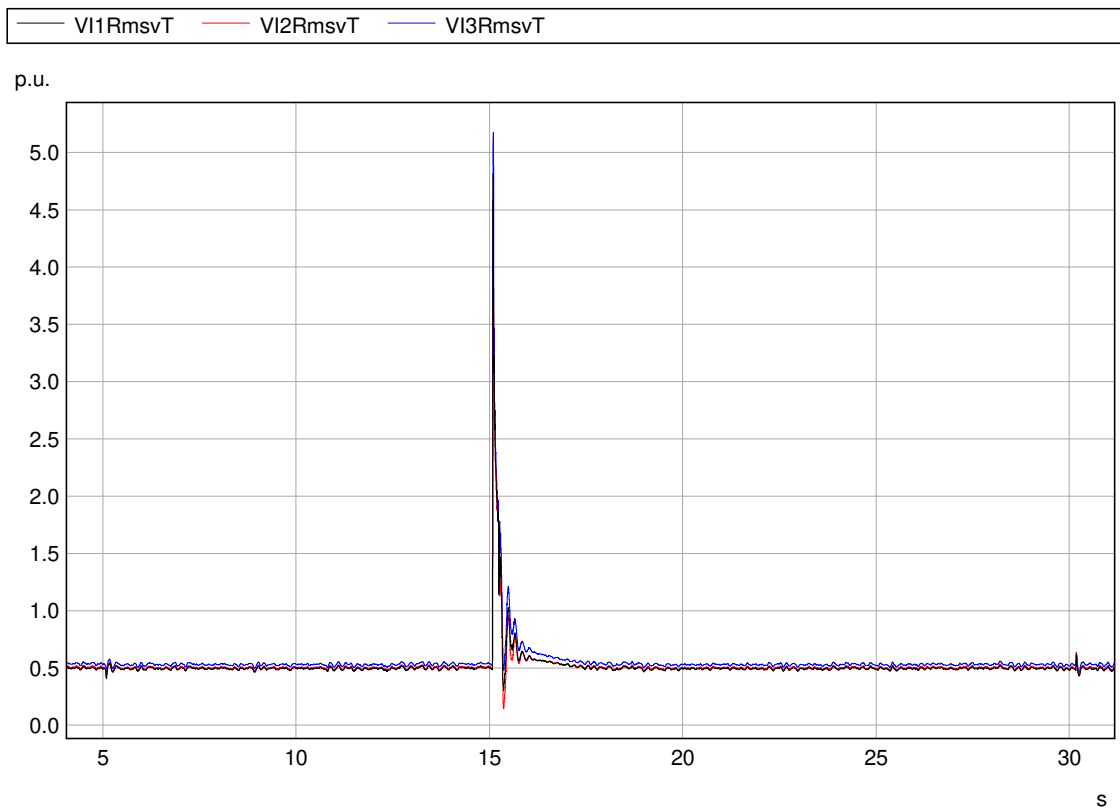


Abb. 63: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

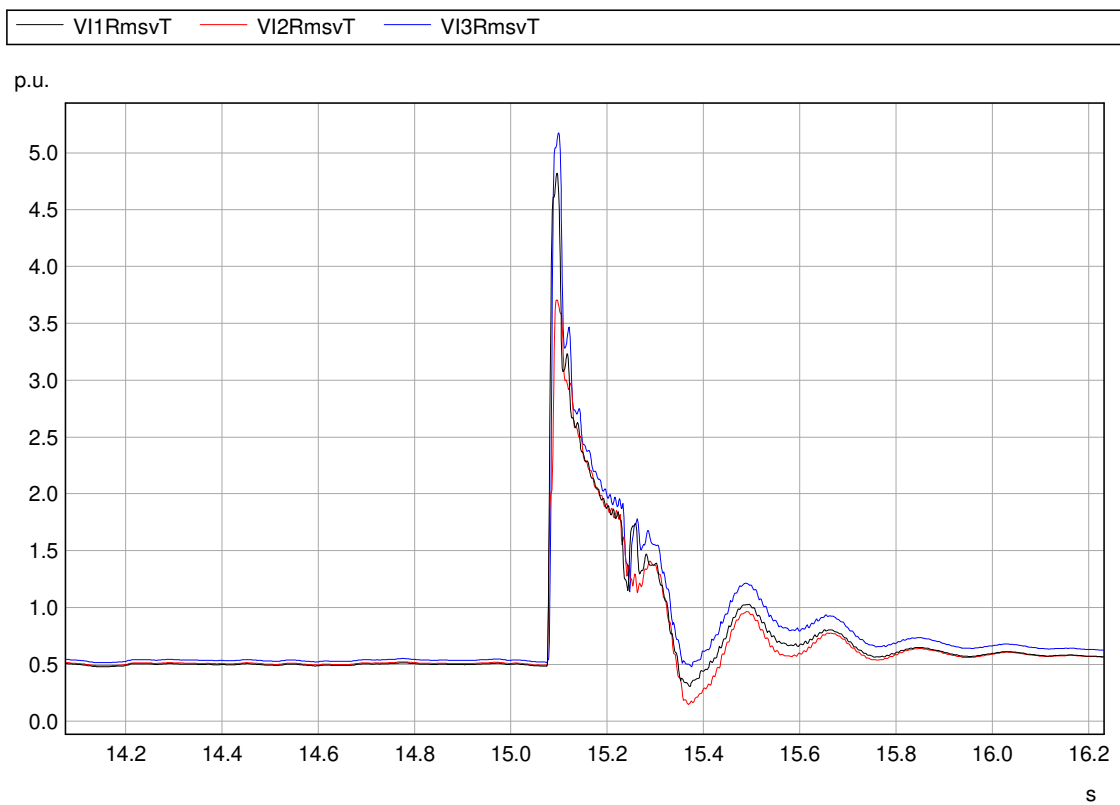


Abb. 64: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

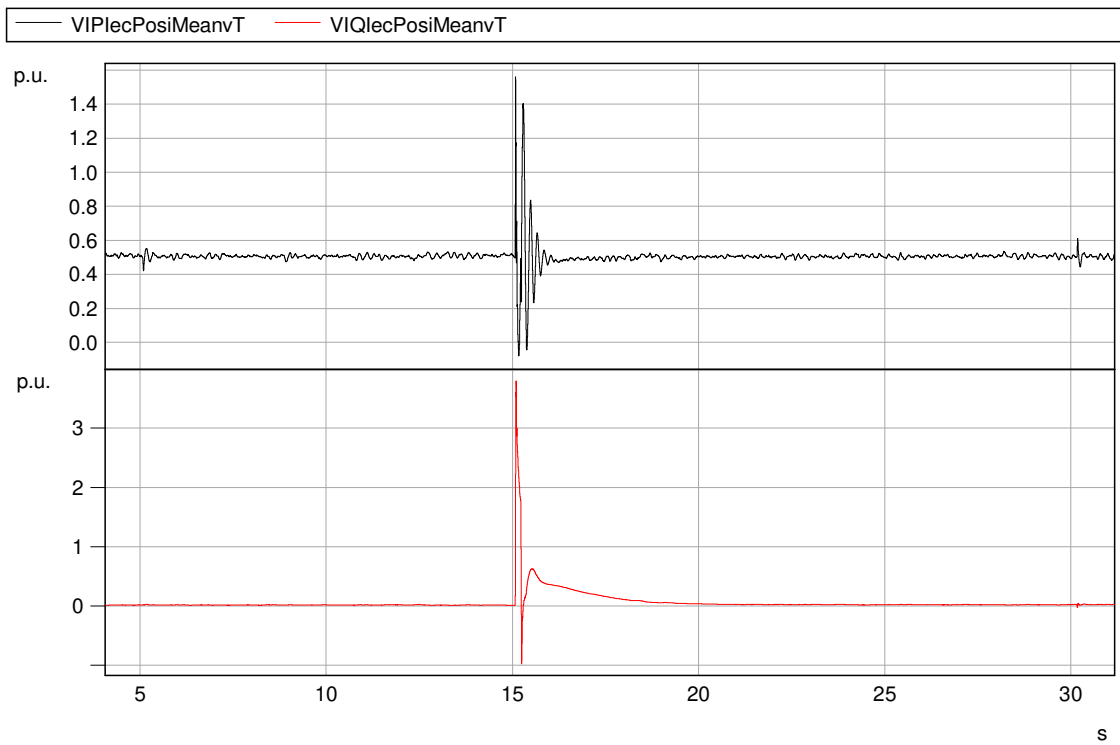


Abb. 65: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

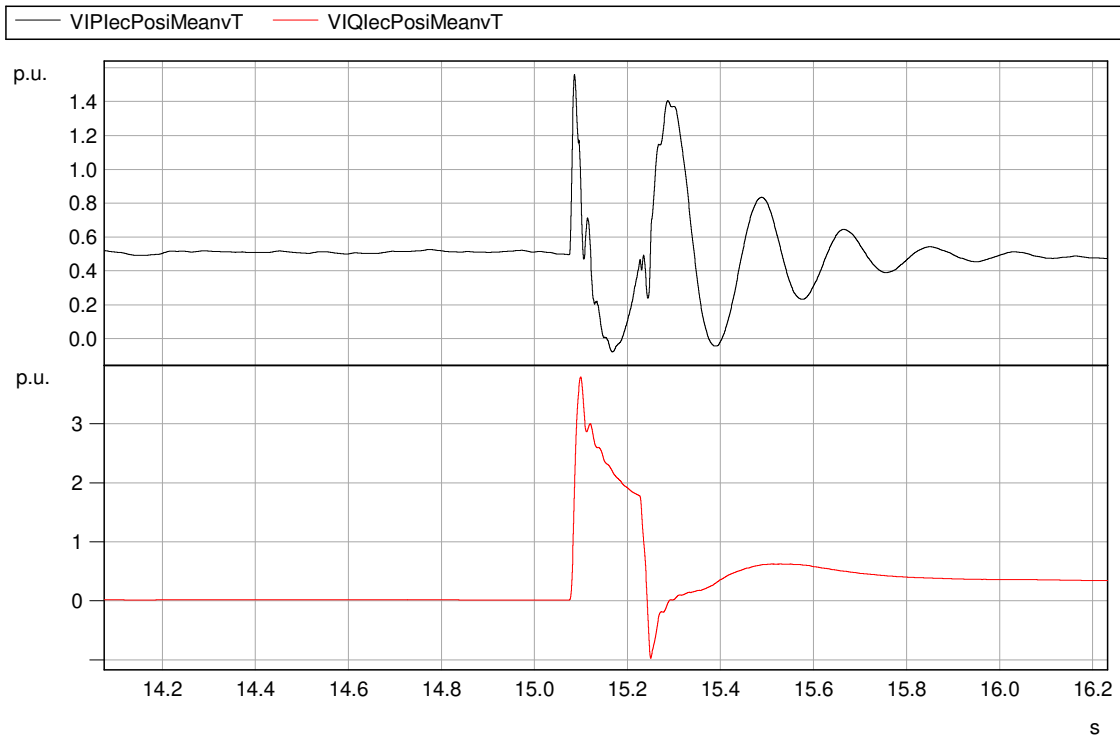


Abb. 66: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

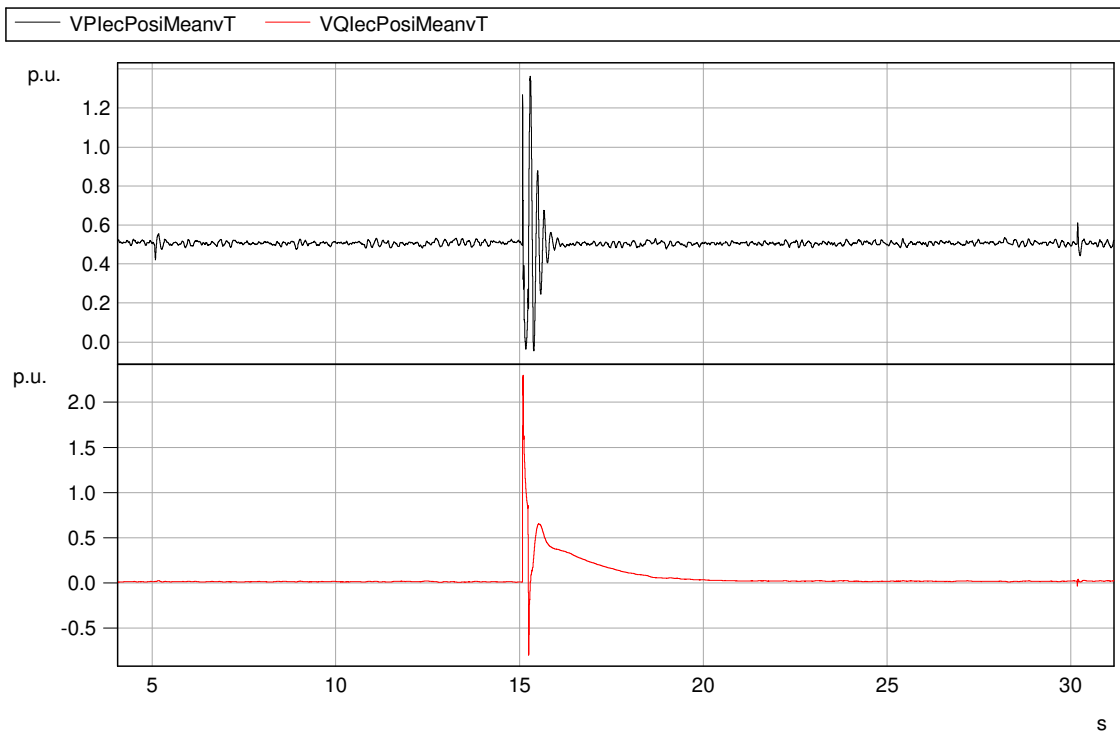


Abb. 67: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

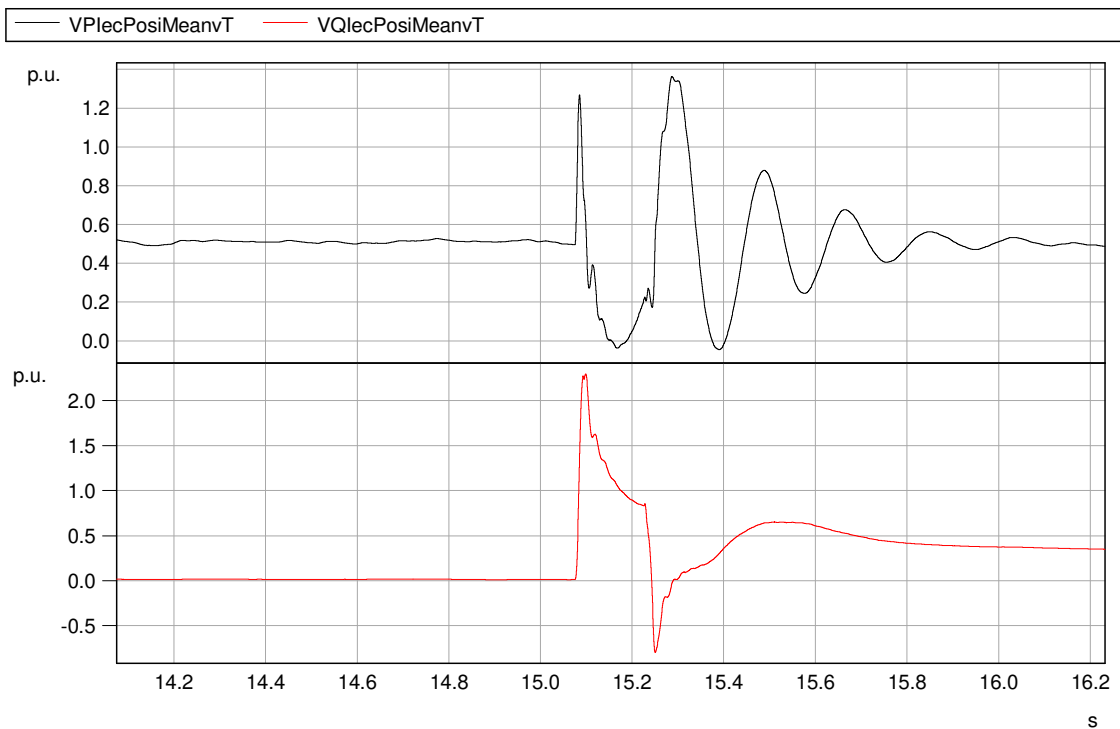


Abb. 68: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

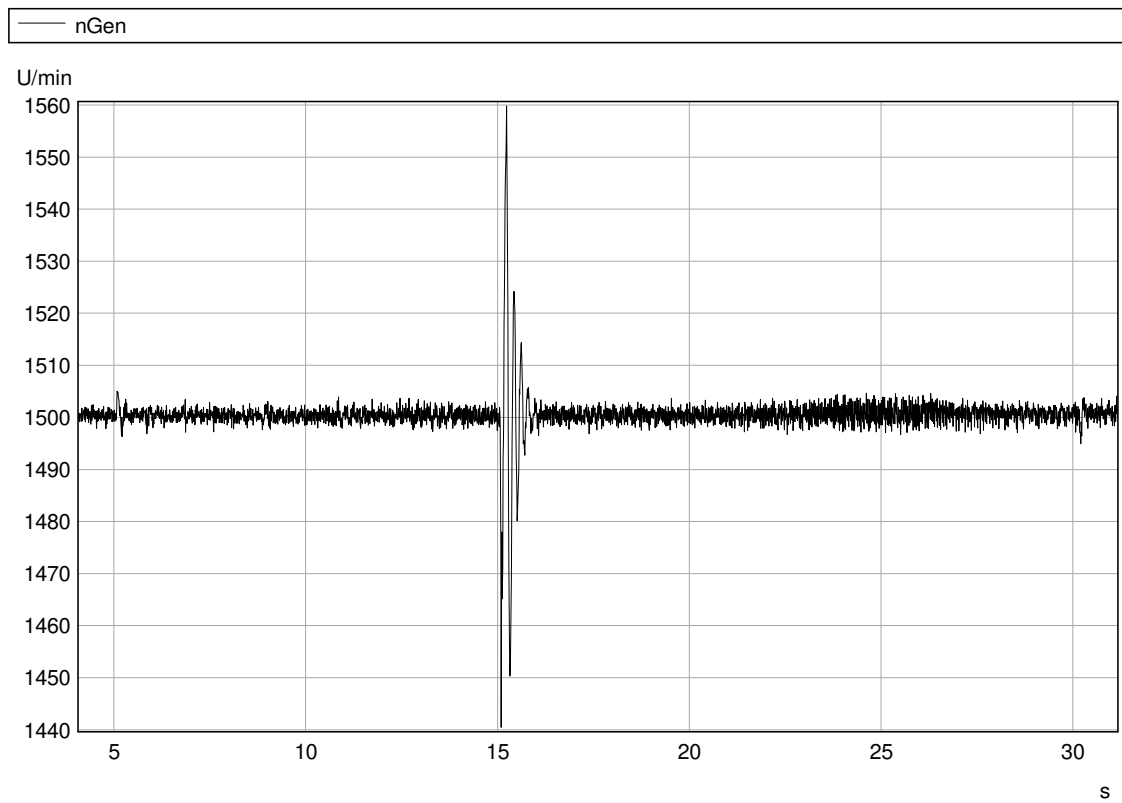


Abb. 69: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

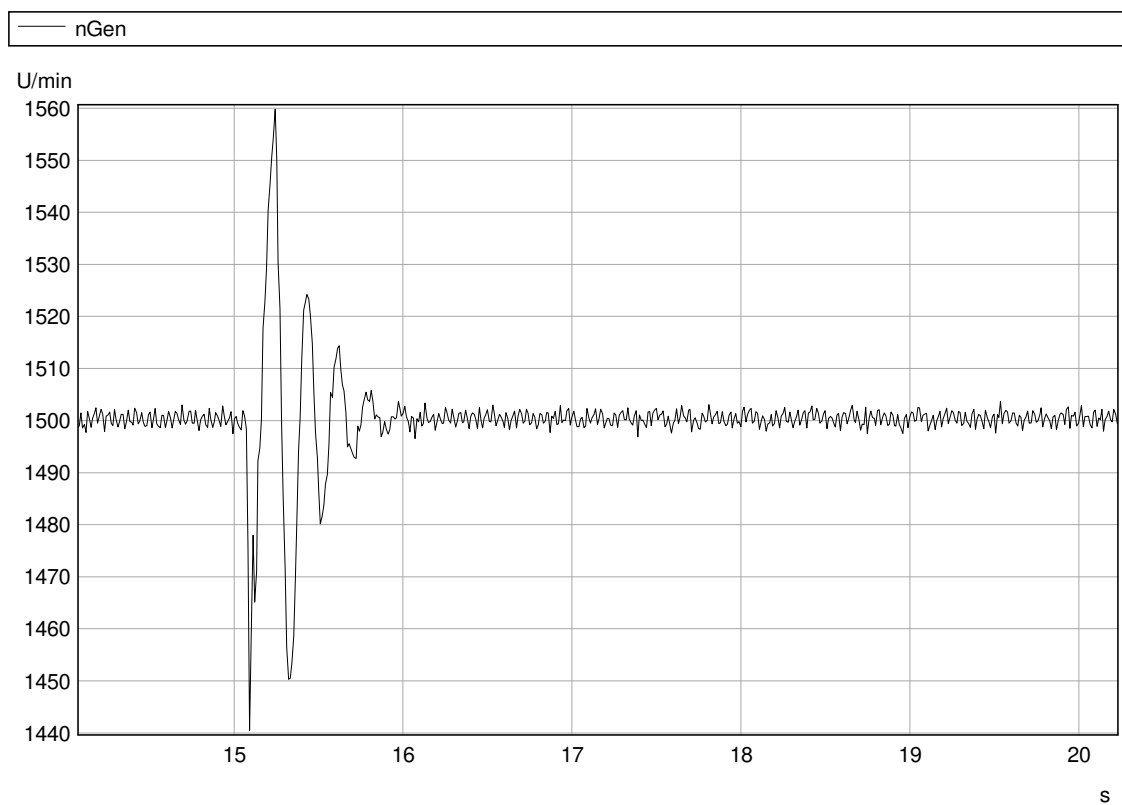


Abb. 70: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.5 Test Nr. 1.1.2

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 68: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 1.1.2

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		1.1.2	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		14:38:11	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,32	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		25,83	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,43	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.121,91	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.126,70	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.287,39	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.230,01	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		160,69	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,47
16		Mitsystem		0,47		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,01	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,99	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,99	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,02	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,03	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,02	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,02	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,03	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,47	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,78	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,99	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	1,01	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,07	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-6,92	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-7,38	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	9,41	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	3,10	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	2,47	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	3,66	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	3,84	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	3,84	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	5,32	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	2,36	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	2,49	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	2,54	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,64	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,64	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	1,00	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,01	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,18	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,01	[p.u.]

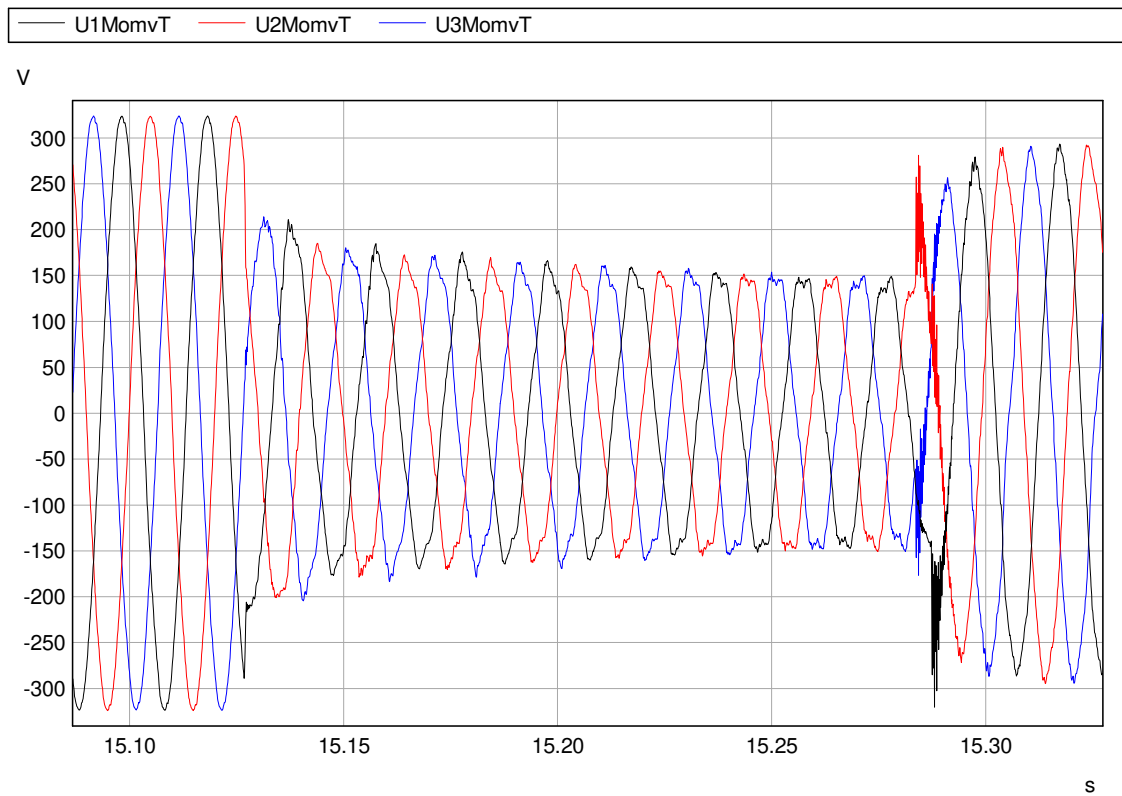


Abb. 71: Zeitverläufe der Spannungen

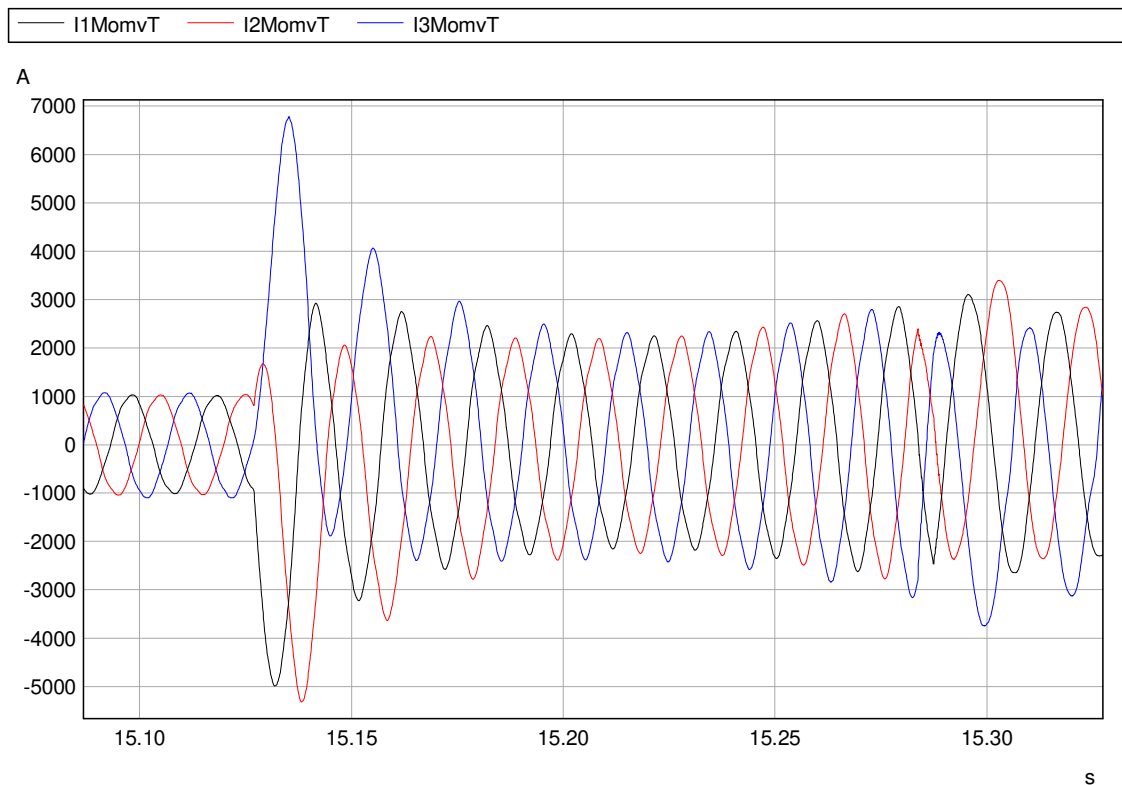


Abb. 72: Zeitverläufe der Ströme

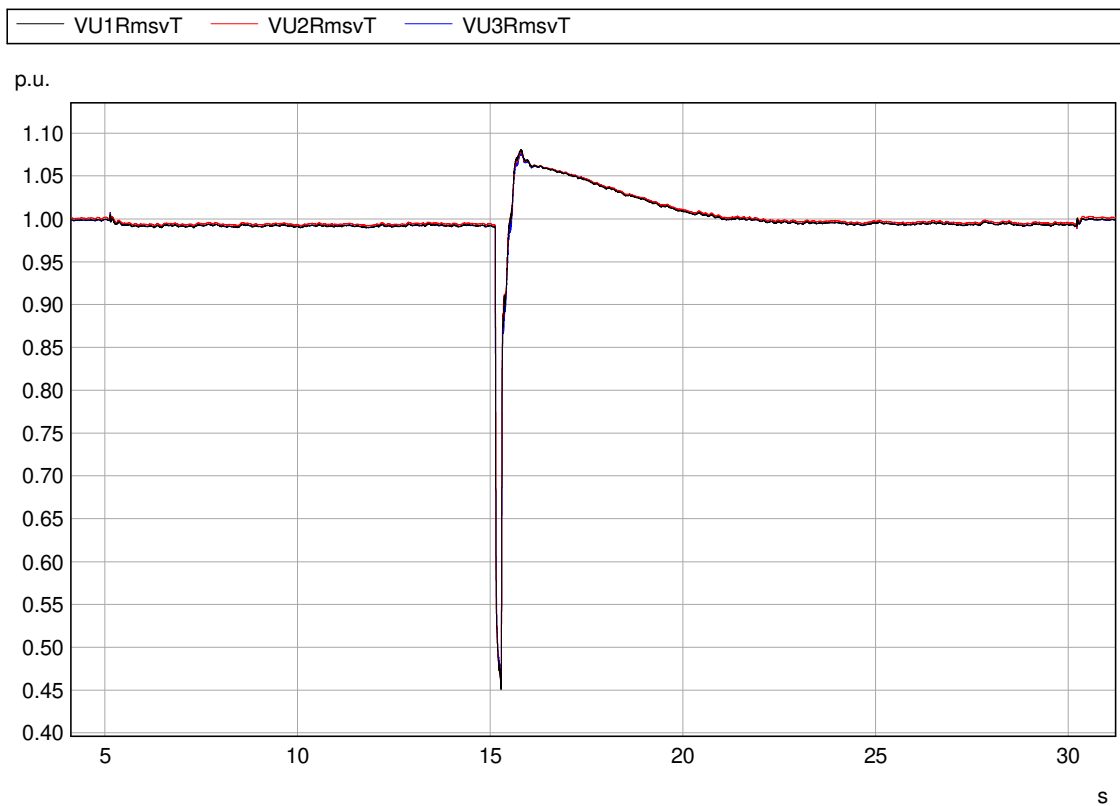


Abb. 73: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

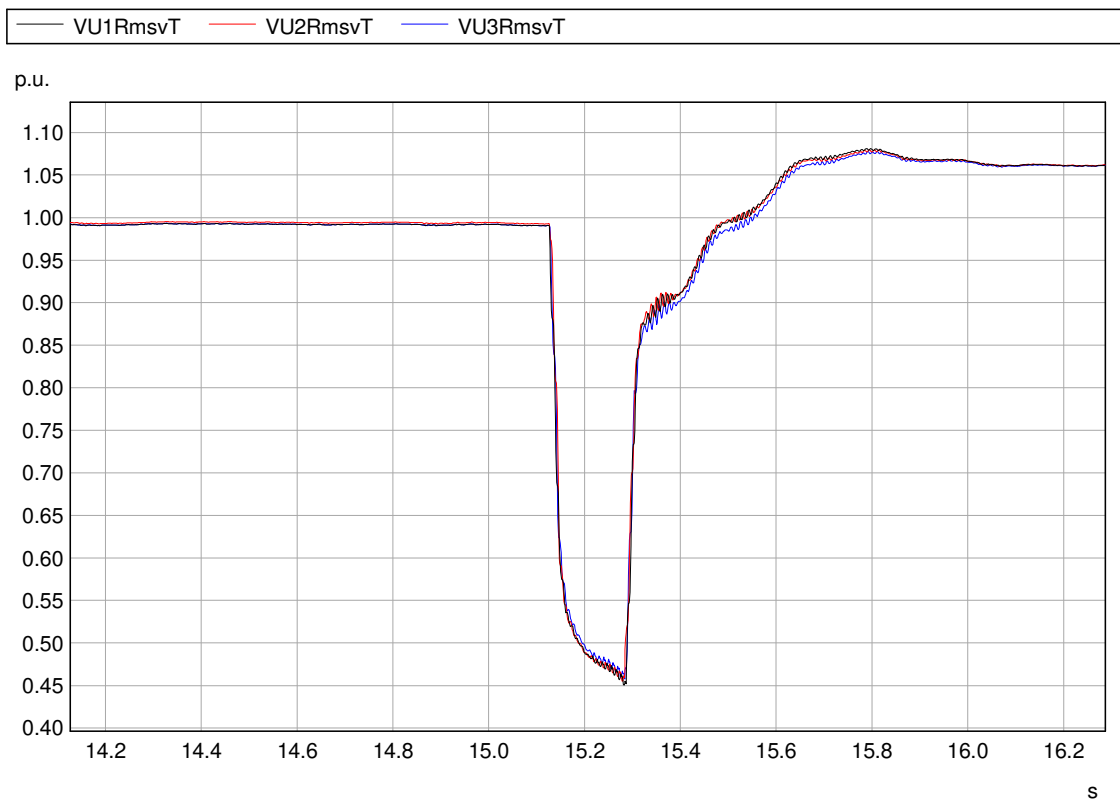


Abb. 74: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

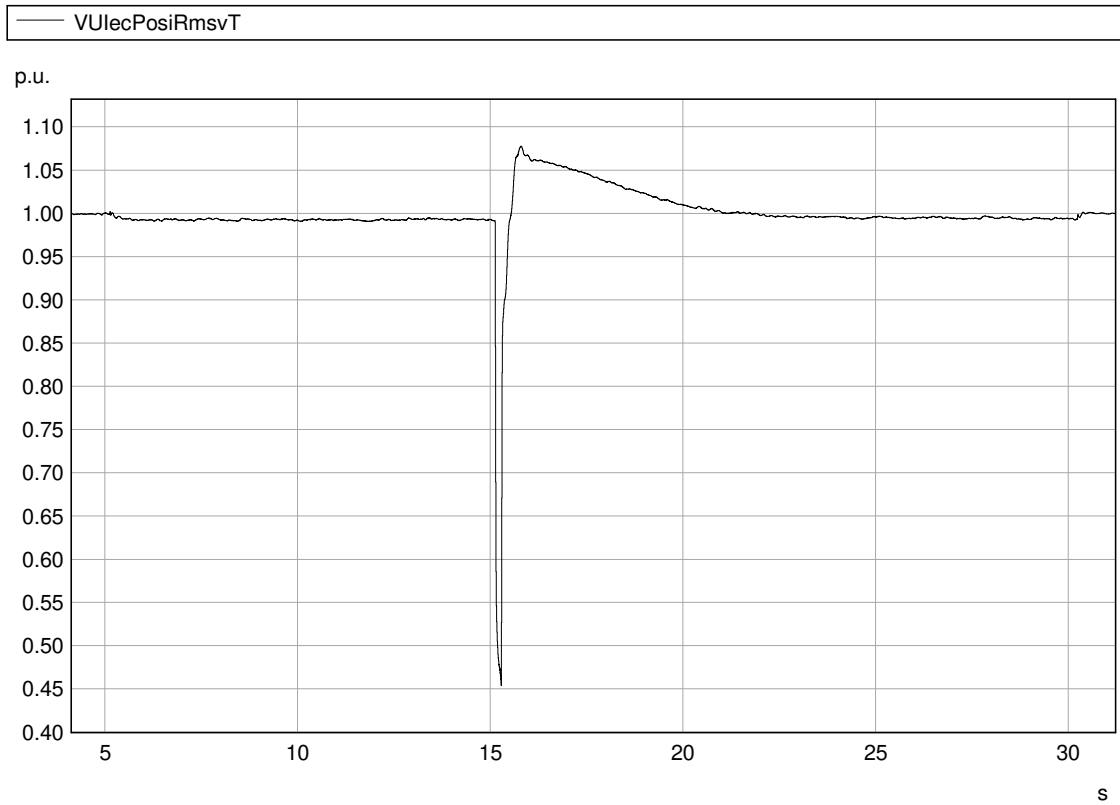


Abb. 75: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

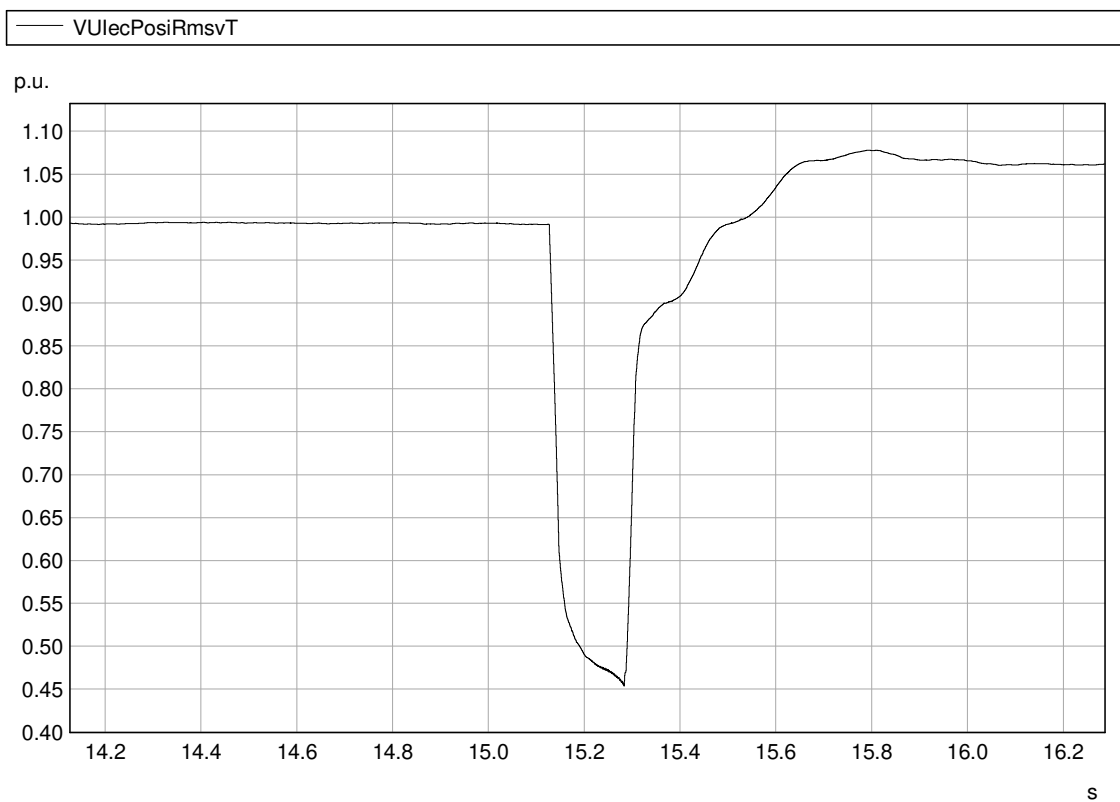


Abb. 76: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

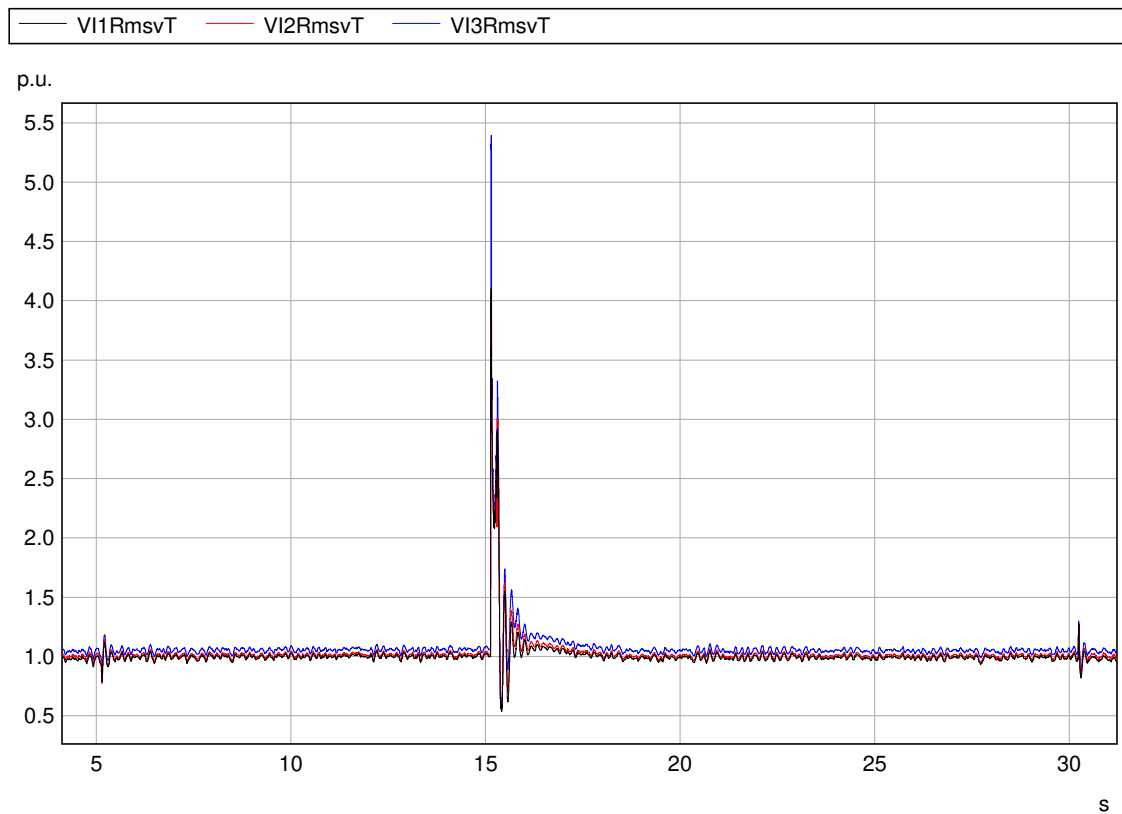


Abb. 77: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

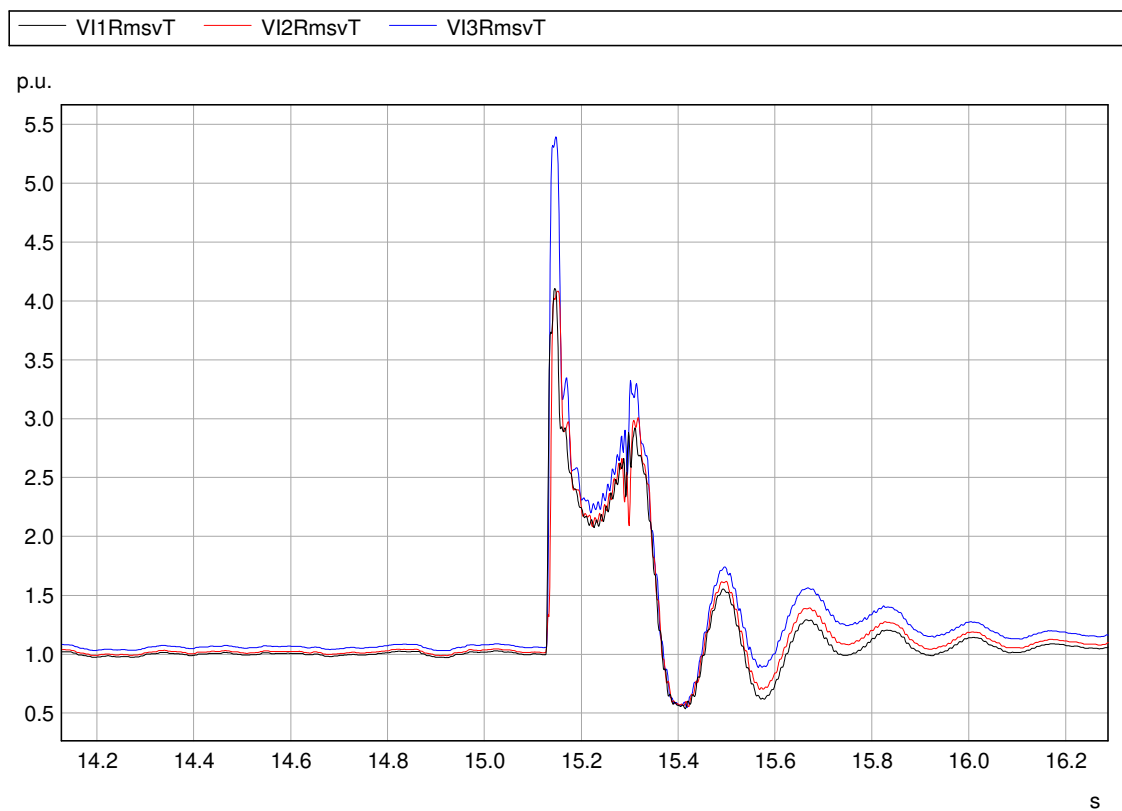


Abb. 78: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

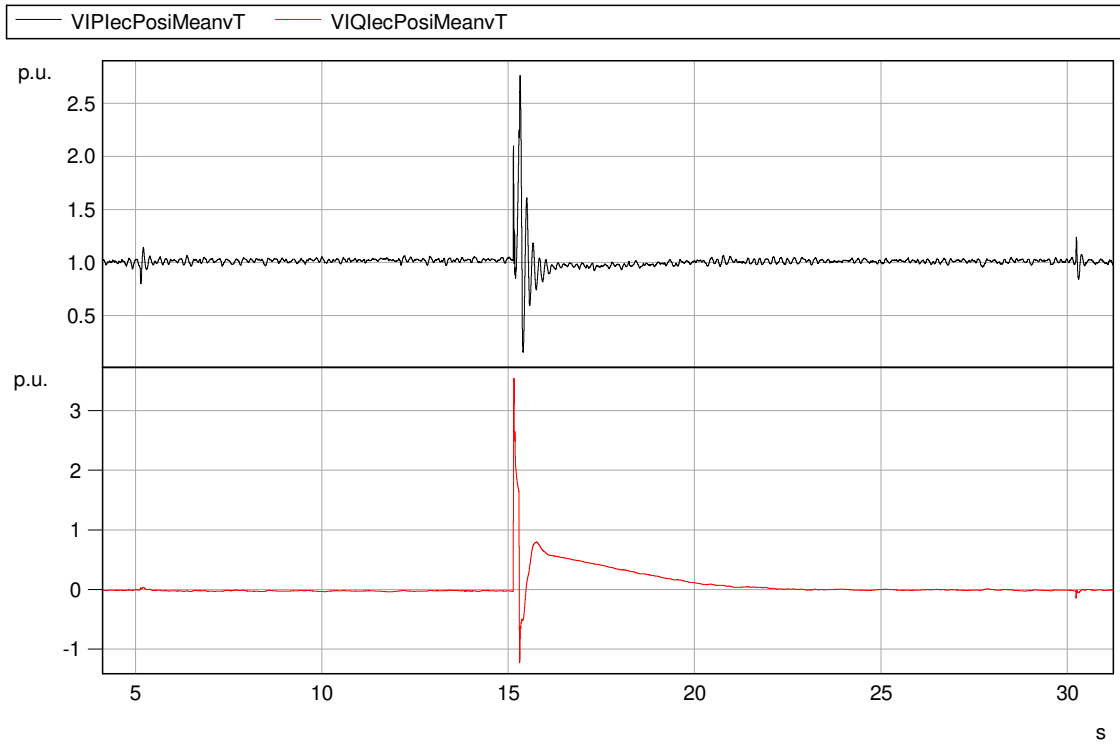


Abb. 79: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

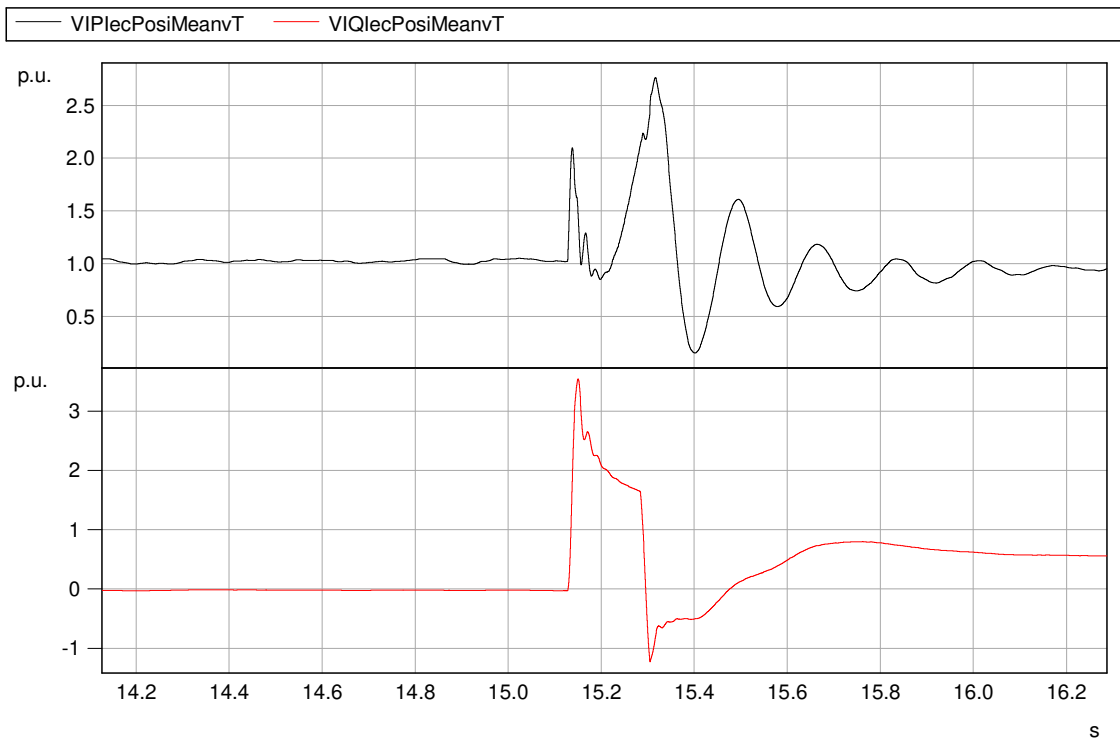


Abb. 80: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

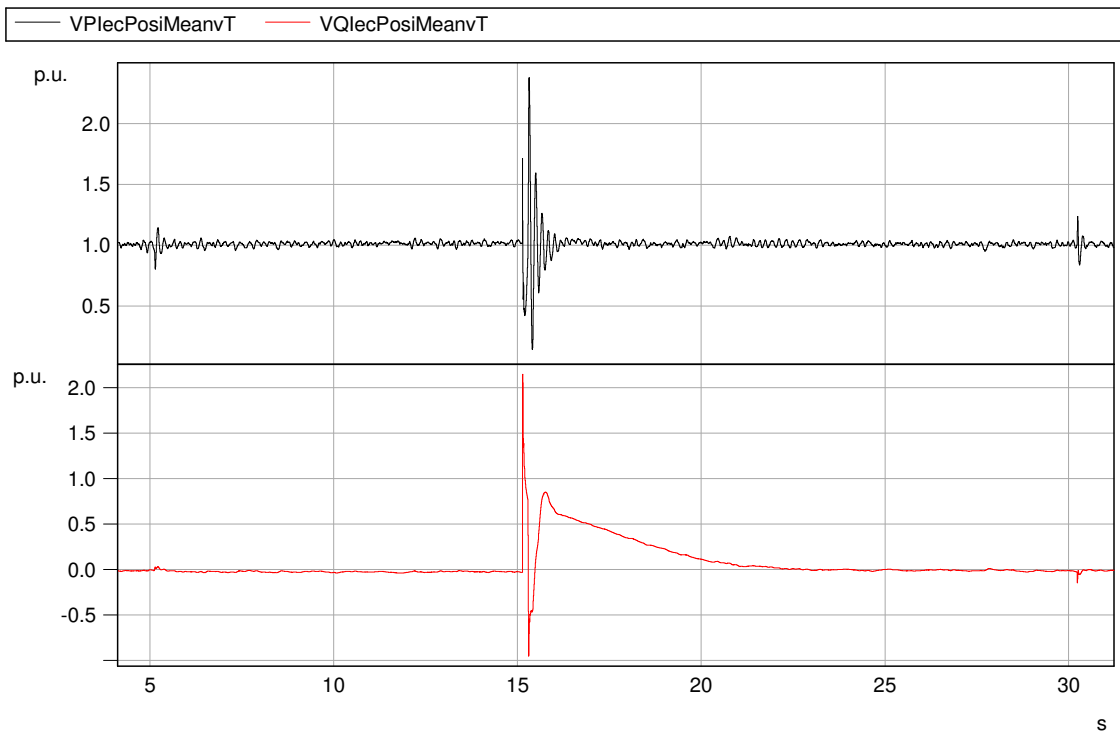


Abb. 81: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

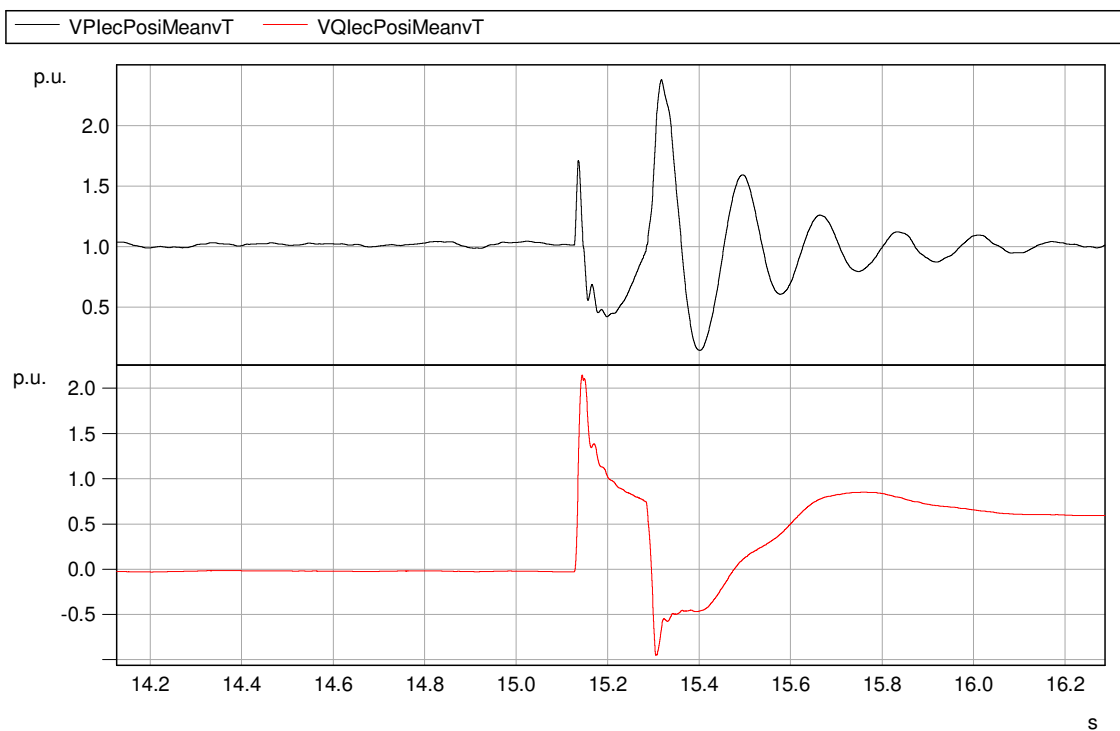


Abb. 82: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

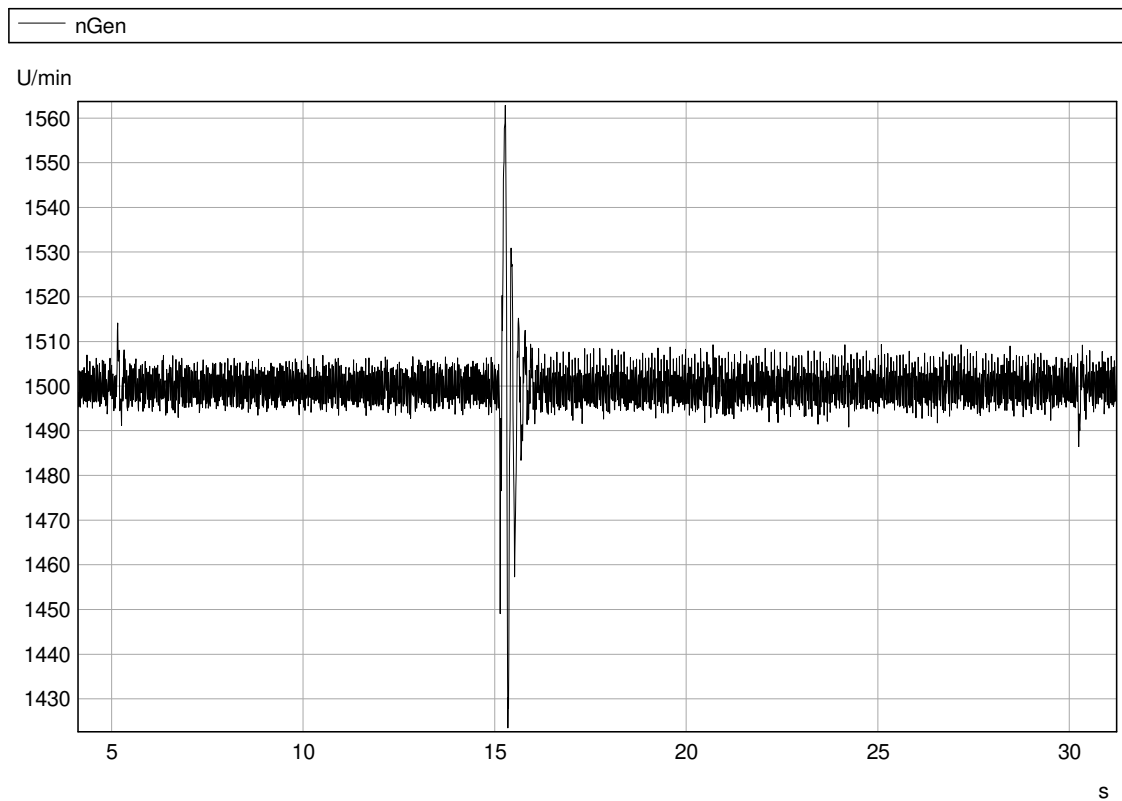


Abb. 83: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

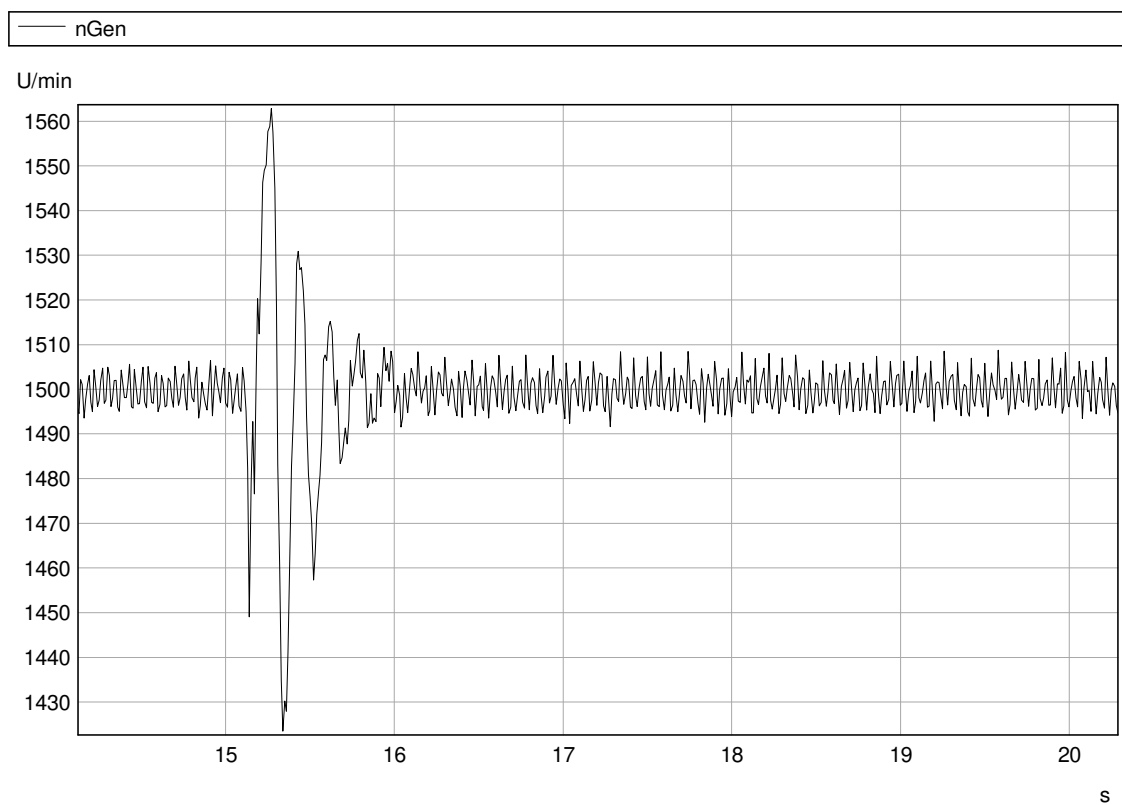


Abb. 84: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.6 Test Nr. 1.2.0 Leerversuch

Tab. 69: Versuch Nr. 1.2.0

Messdatensatz	2016-08-23 12-05-56
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	155 ms

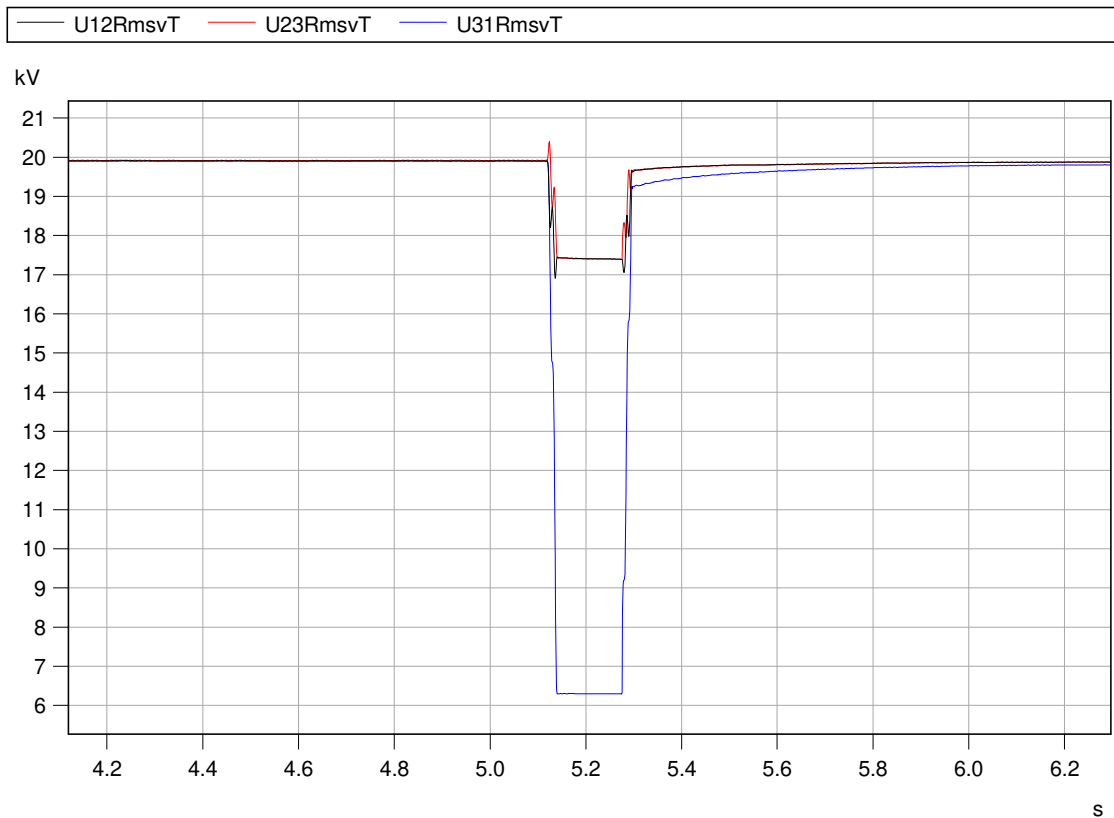


Abb. 85: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

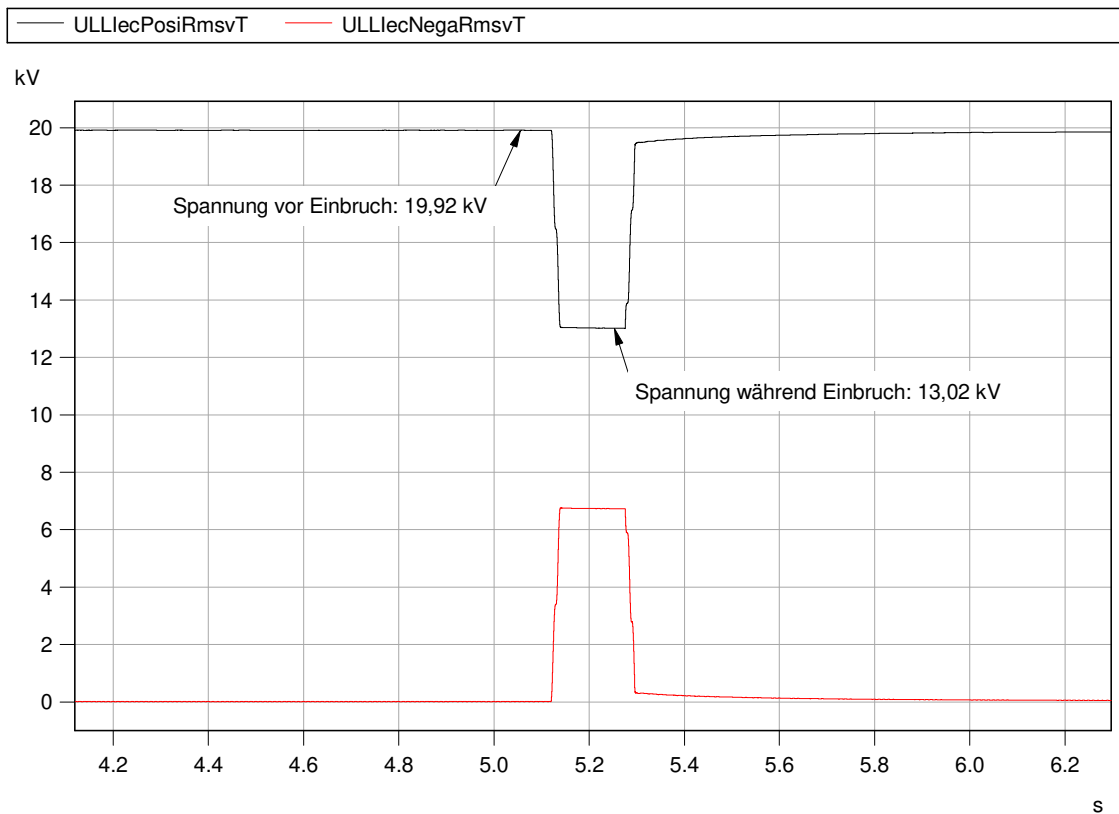


Abb. 86: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 70: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	19,92 kV
Spannung während Spannungseinbruch	13,02 kV
Ermittelte Restspannung	65,36 %



4.6.7 Test Nr. 1.2.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 71: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 1.2.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		1.2.1	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		15:32:55	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,32	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		25,83	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,43	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.034,96	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.040,59	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.197,59	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.143,00	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		157	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,74
16		Mitsystem		0,73		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,51	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,51	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,01	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,02	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,51	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,51	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,02	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,999	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,73	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,18	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,49	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,57	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,55	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	4,75	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	4,41	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-9,33	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,60	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,55	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	3,02	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	2,56	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	2,48	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	5,10	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,45	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,73	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	3,09	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,12	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,21	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,51	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,51	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,51	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,06	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,02	[p.u.]

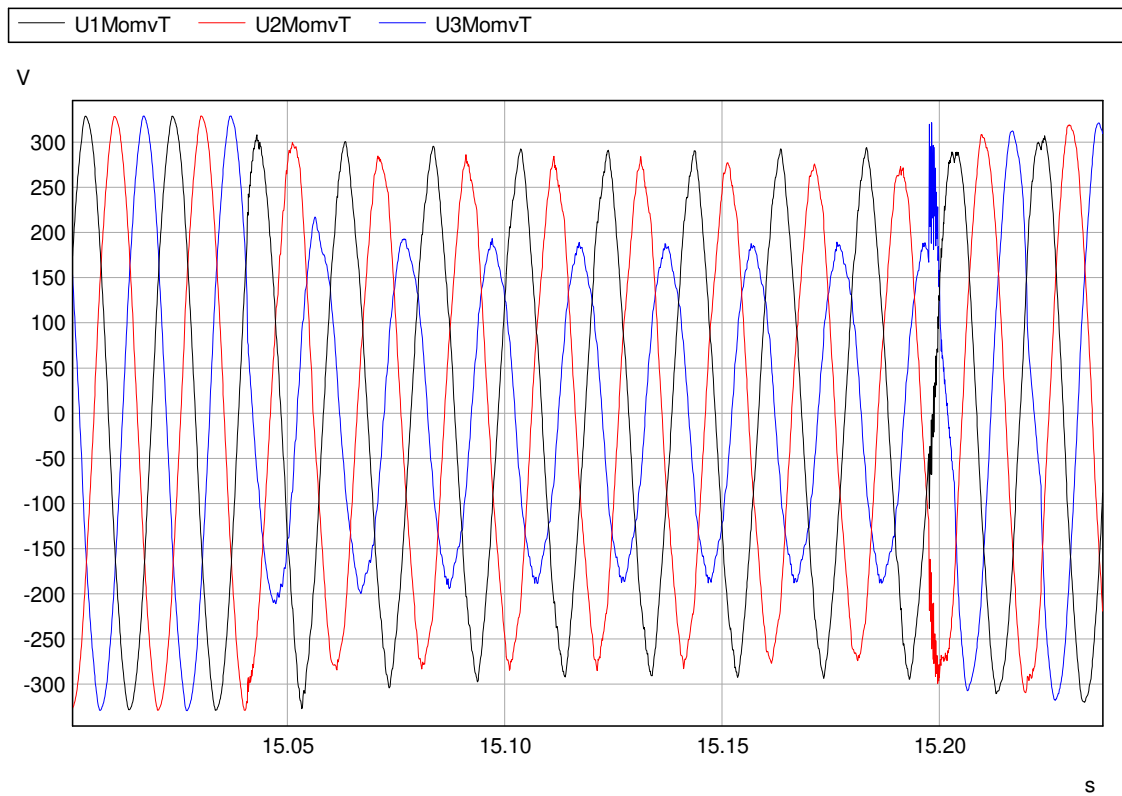


Abb. 87: Zeitverläufe der Spannungen

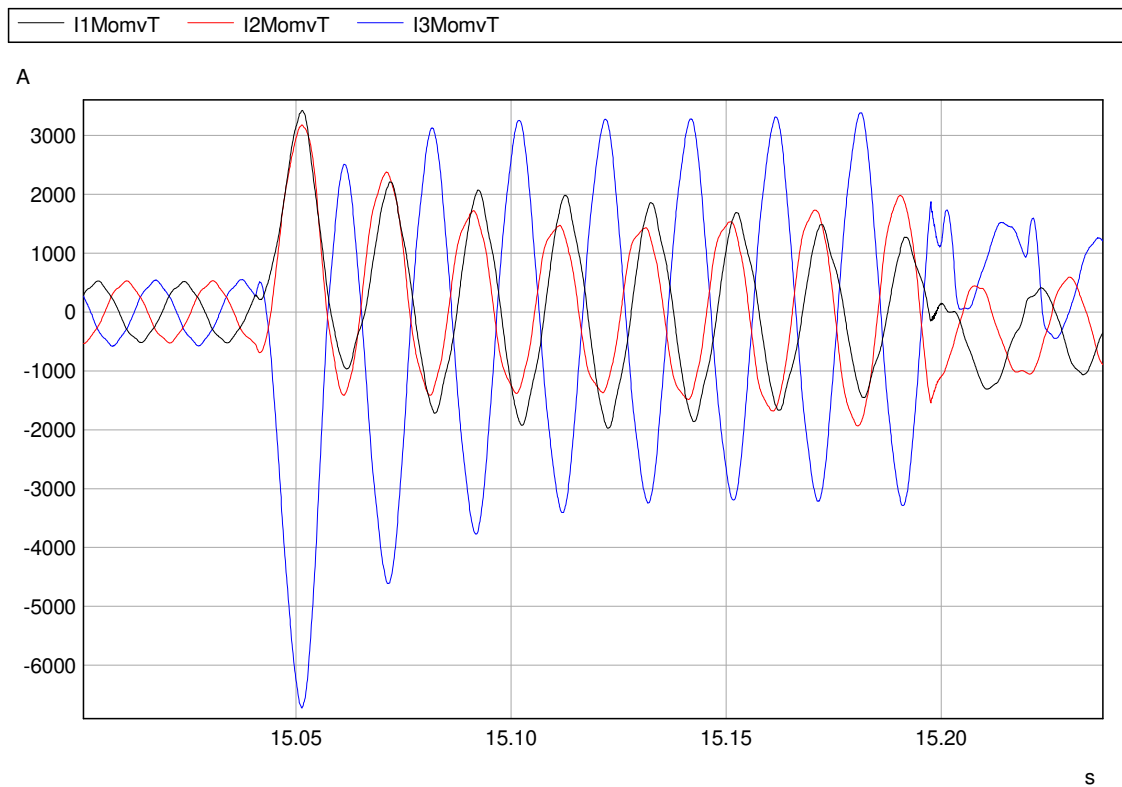


Abb. 88: Zeitverläufe der Ströme

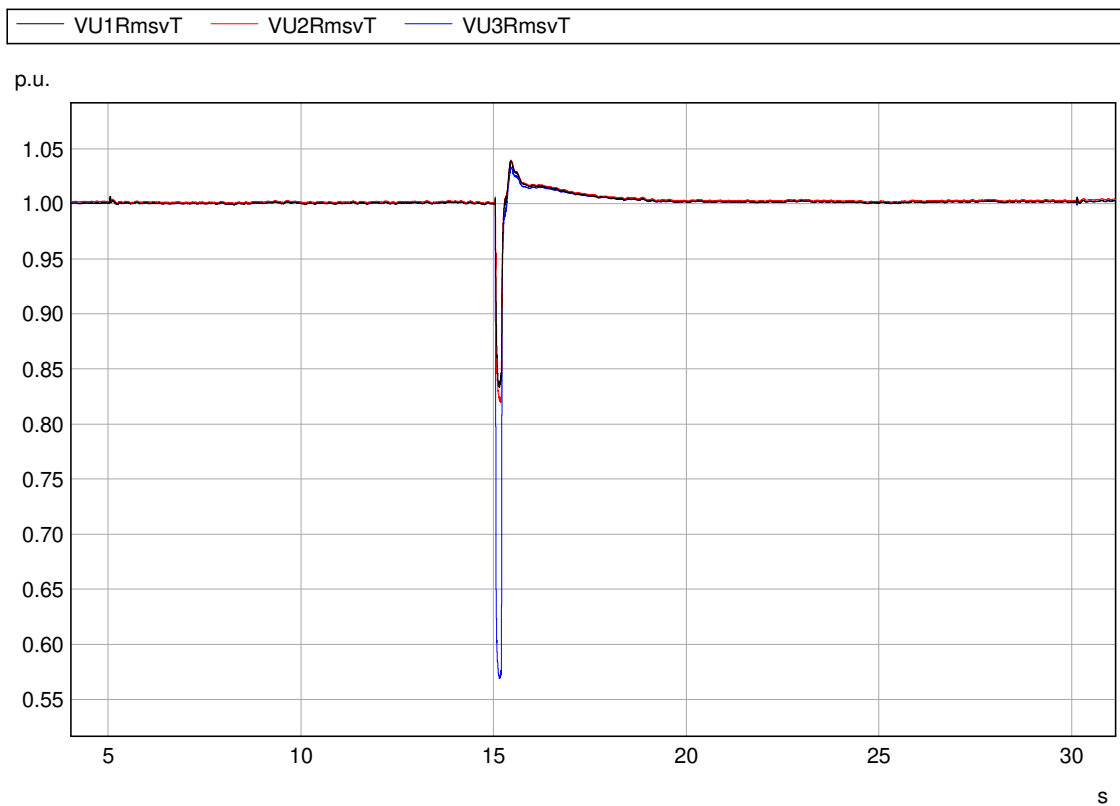


Abb. 89: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

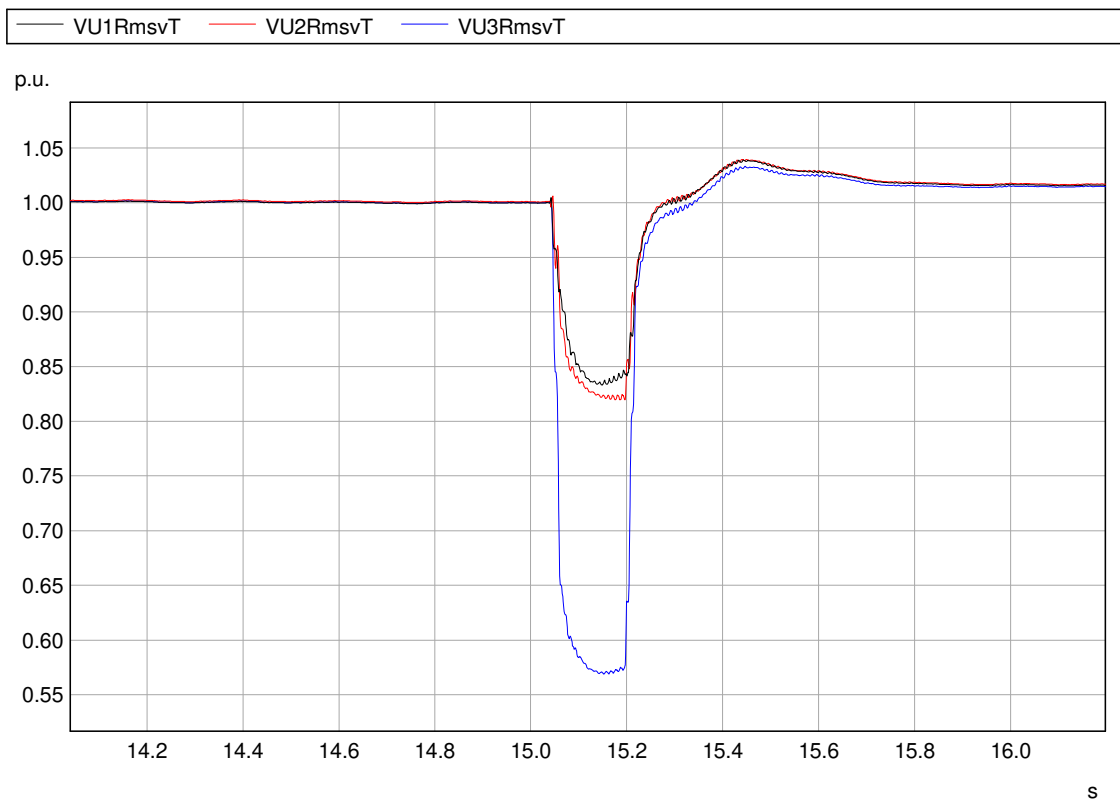


Abb. 90: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

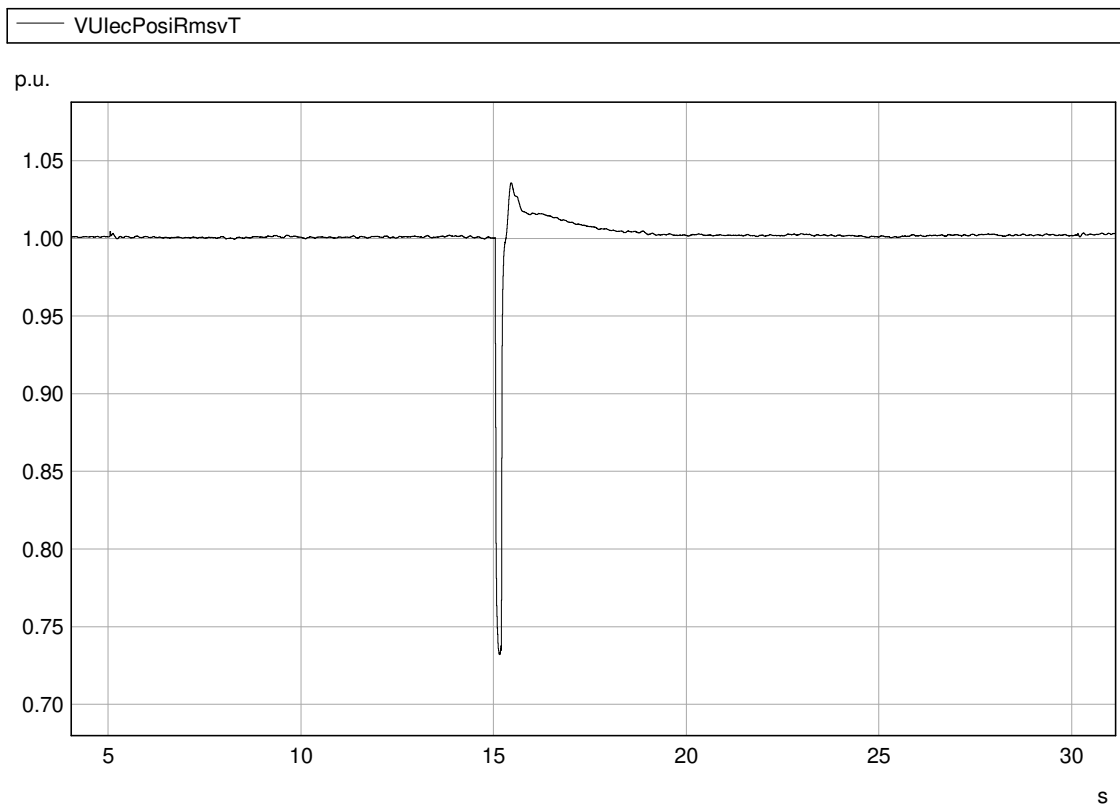


Abb. 91: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

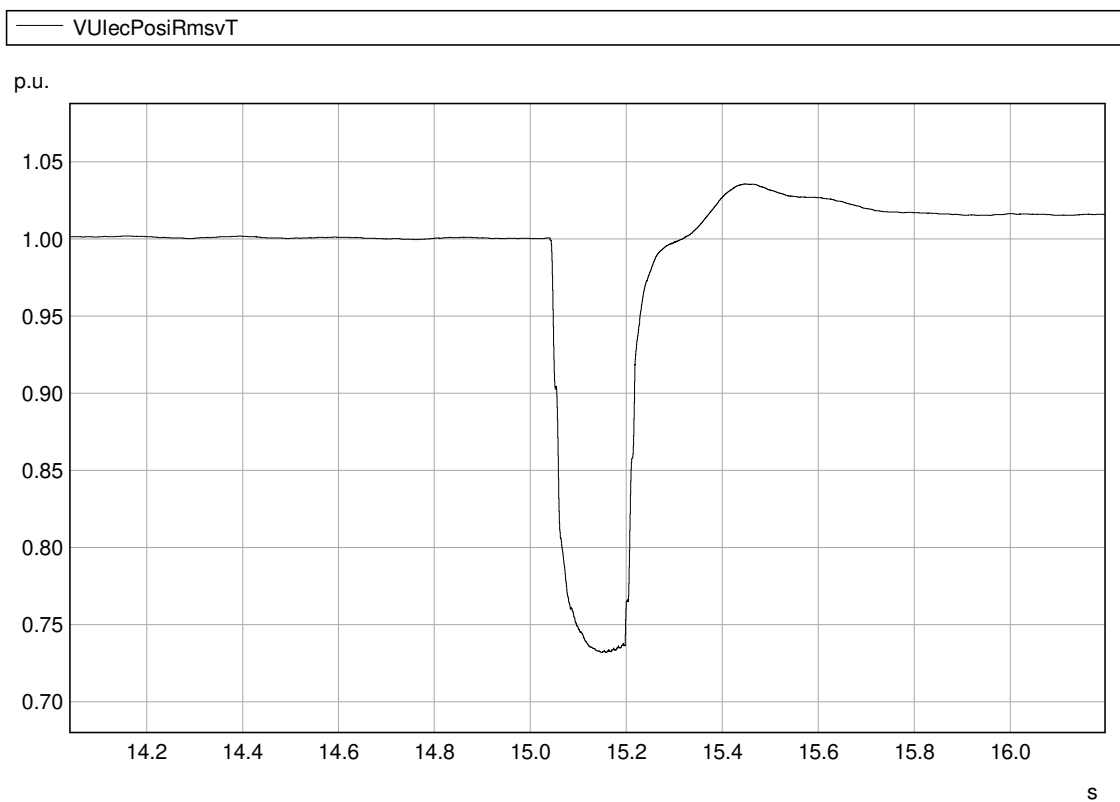


Abb. 92: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

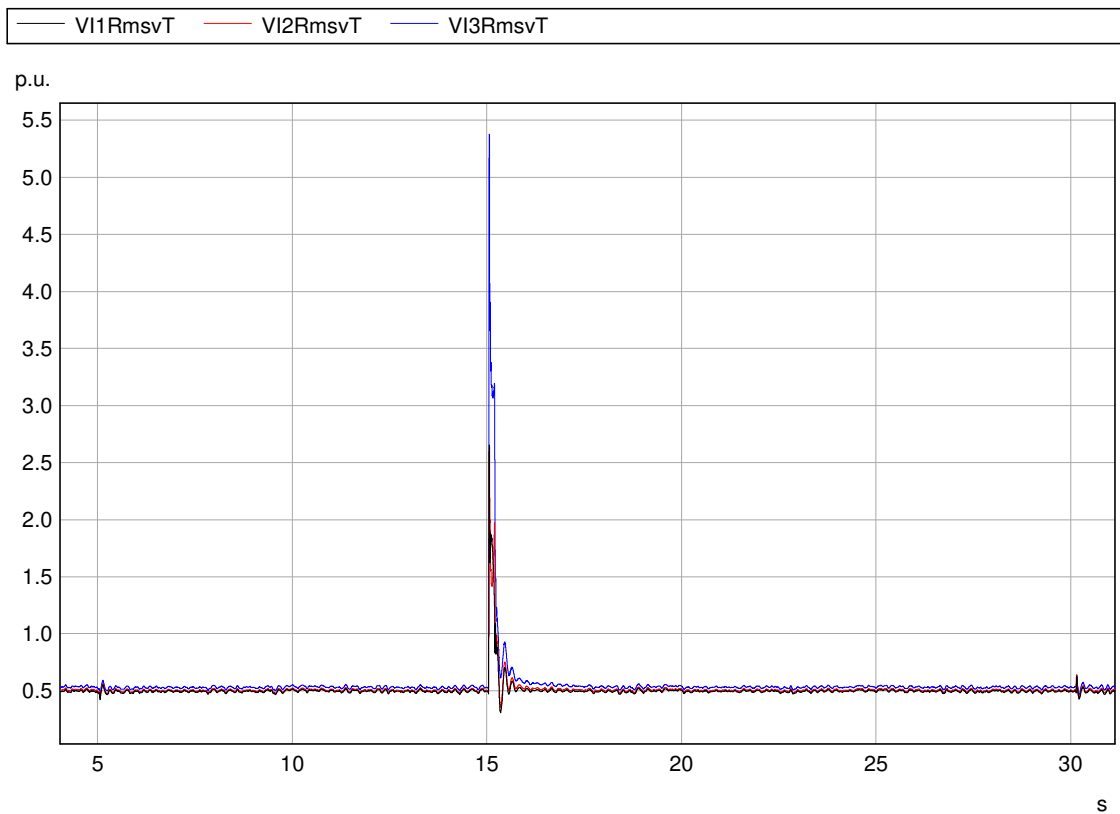


Abb. 93: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

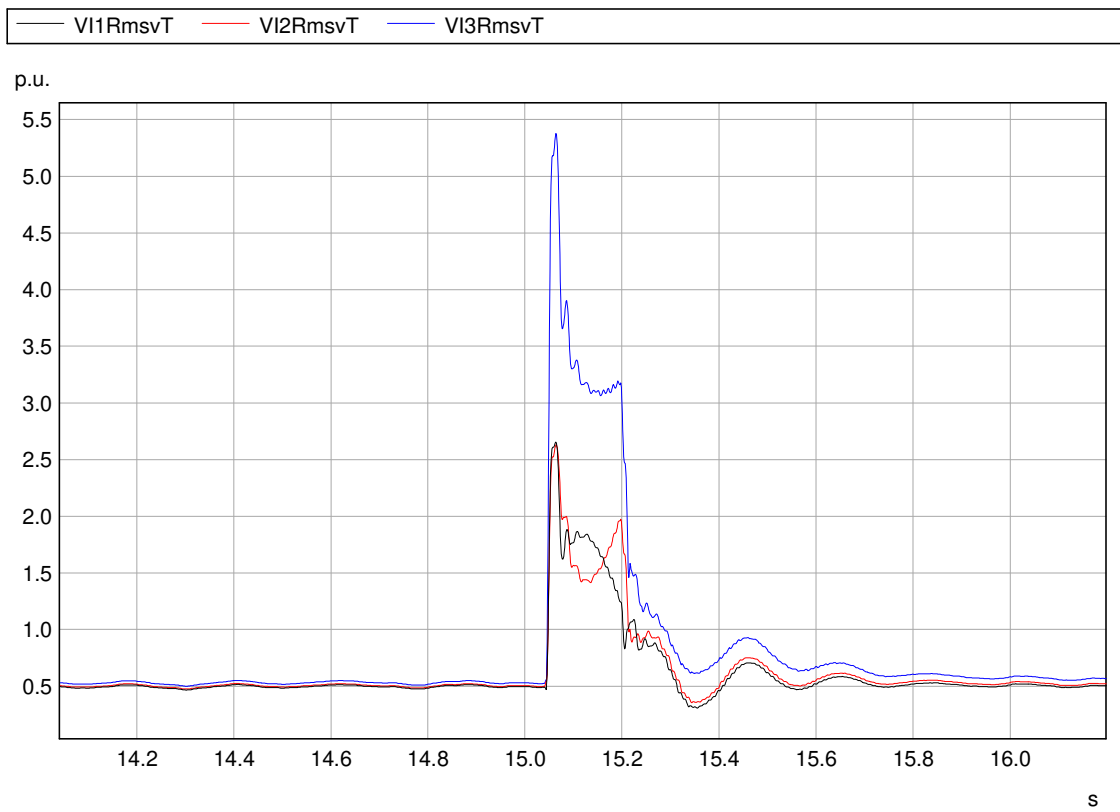


Abb. 94: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

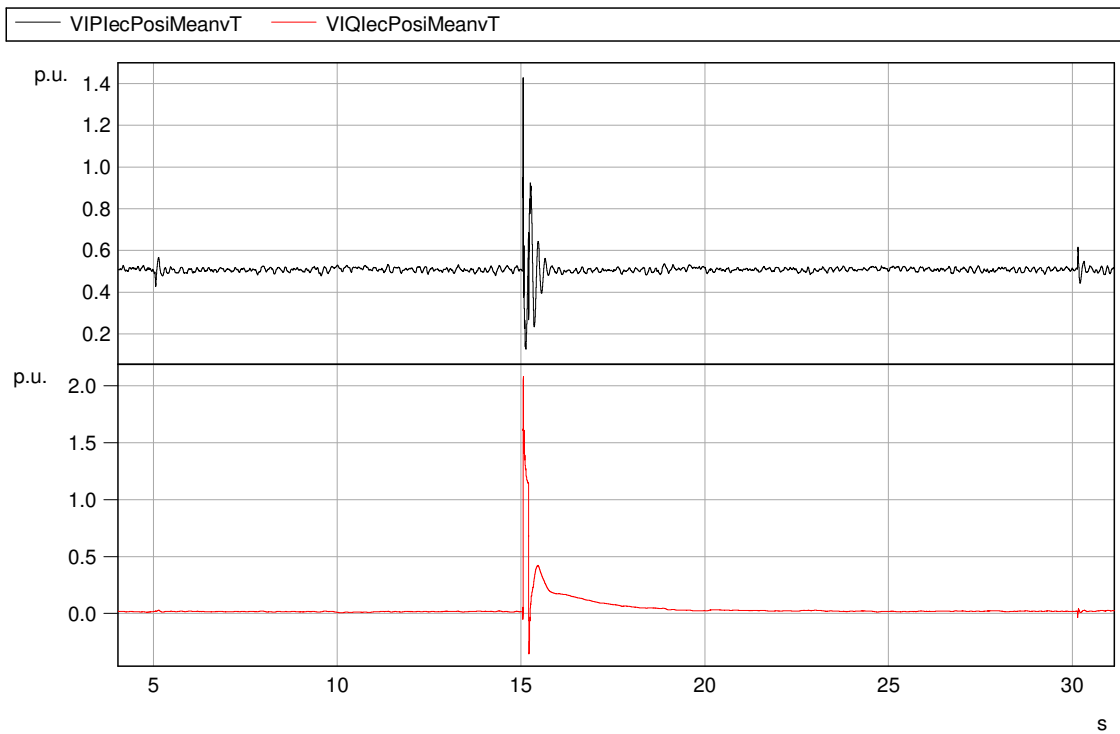


Abb. 95: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

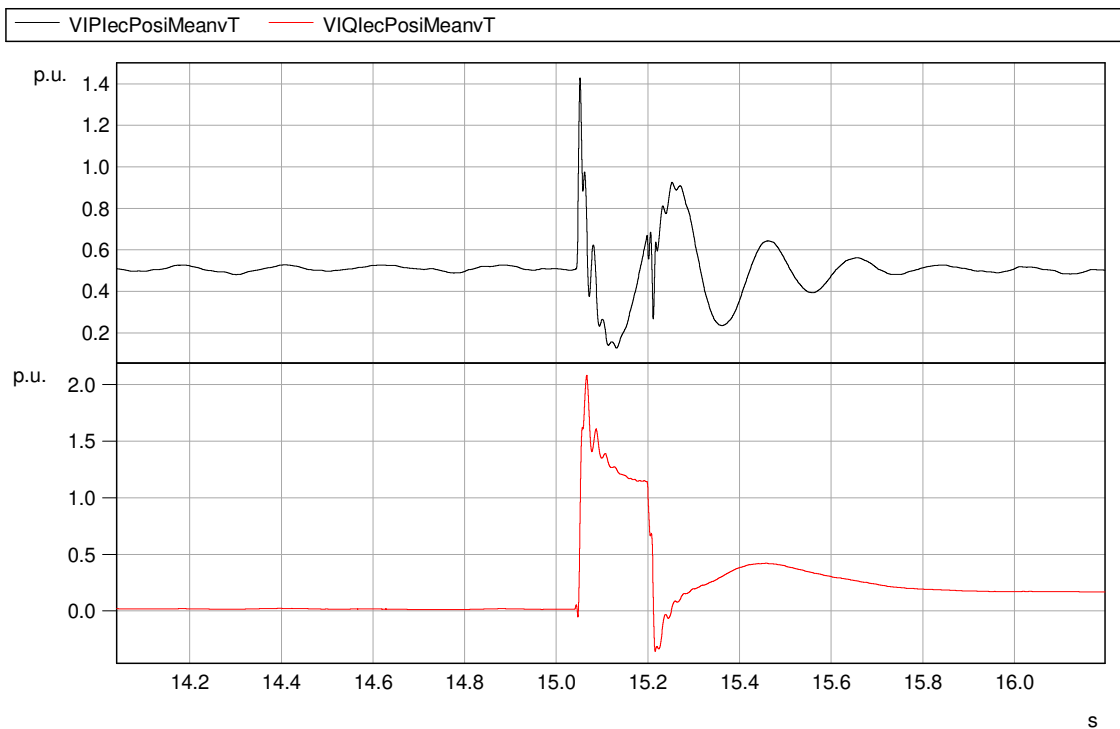


Abb. 96: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

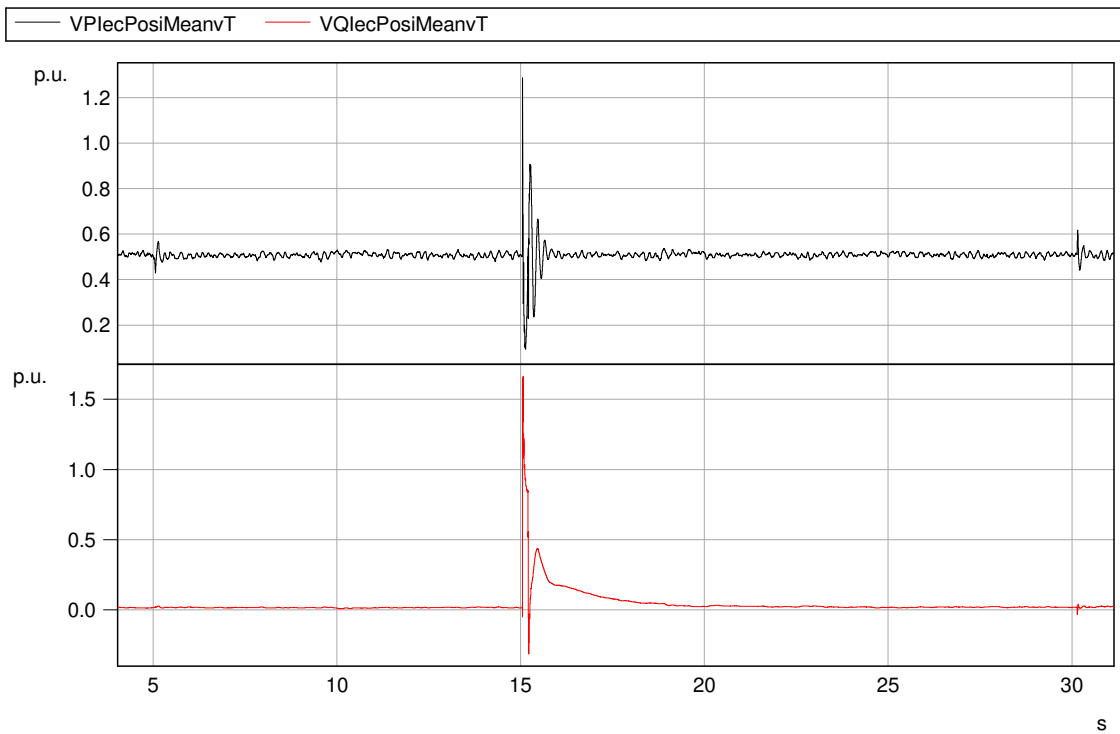


Abb. 97: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

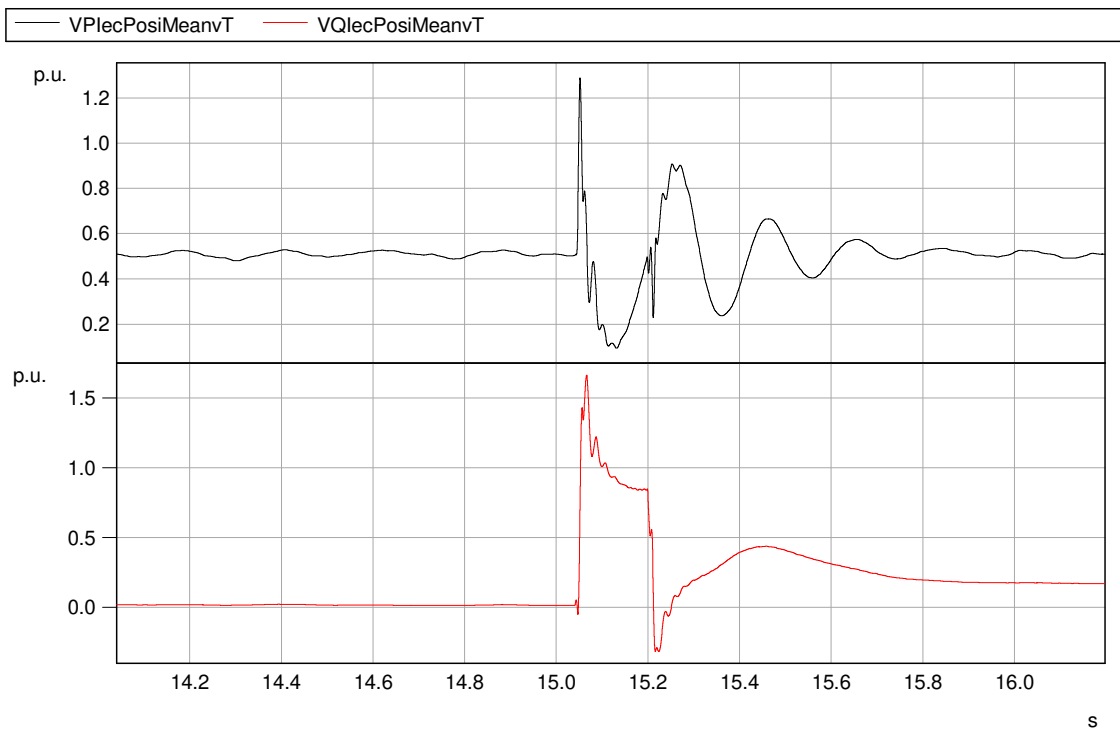


Abb. 98: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

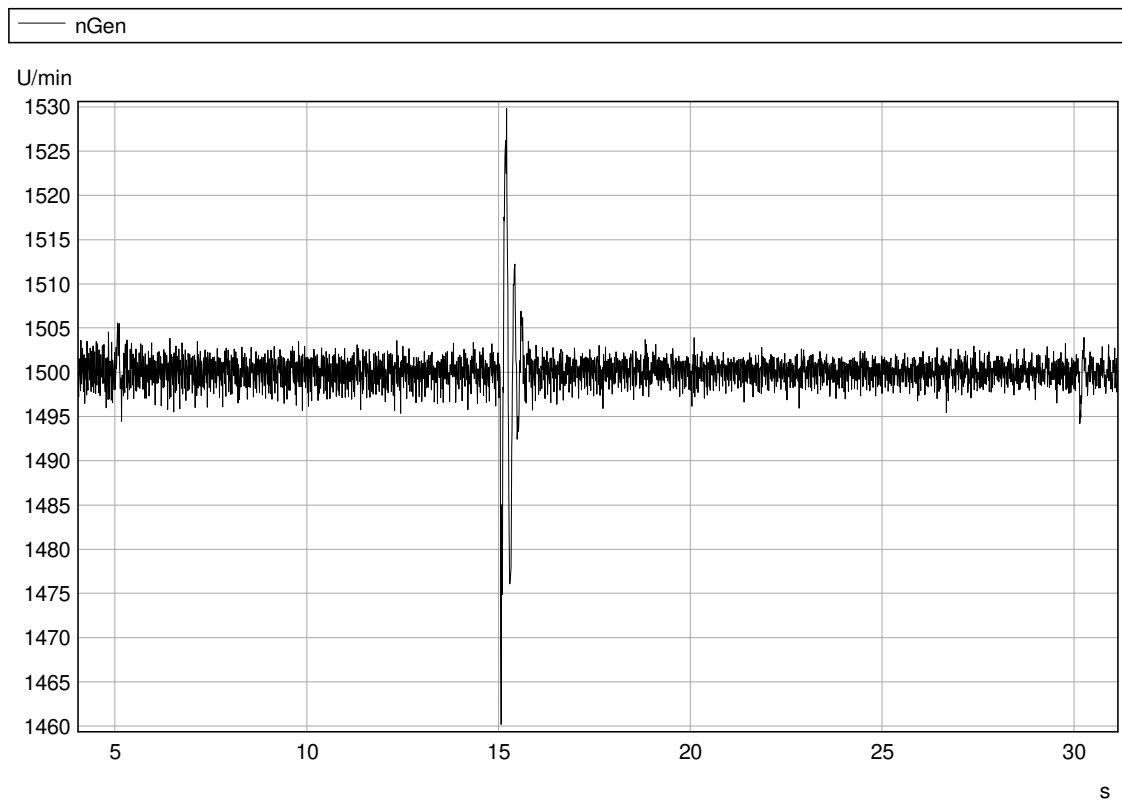


Abb. 99: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

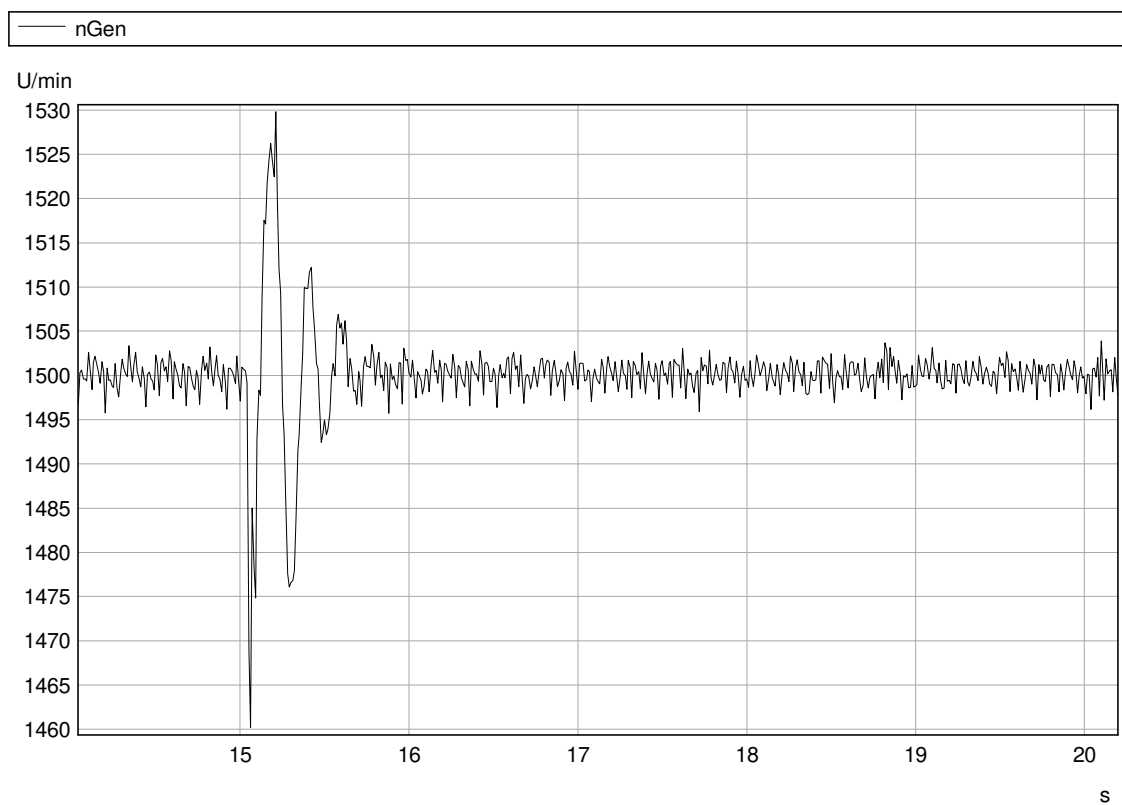


Abb. 100: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.8 Test Nr. 1.2.2

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 72: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 1.2.2

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		1.2.2	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		15:08:48	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,32	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		25,83	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,43	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.120,03	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.130,00	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.286,39	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.234,00	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		156,39	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,75
16		Mitsystem		0,74		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,03	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,02	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,02	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,74	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,15	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,96	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	1,02	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,03	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-4,21	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-5,30	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	9,69	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,85	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	2,08	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	3,55	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	2,47	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	3,00	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	5,40	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	0,65	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	2,66	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	3,46	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,71	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,81	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	1,01	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,02	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,02	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,09	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,01	[p.u.]

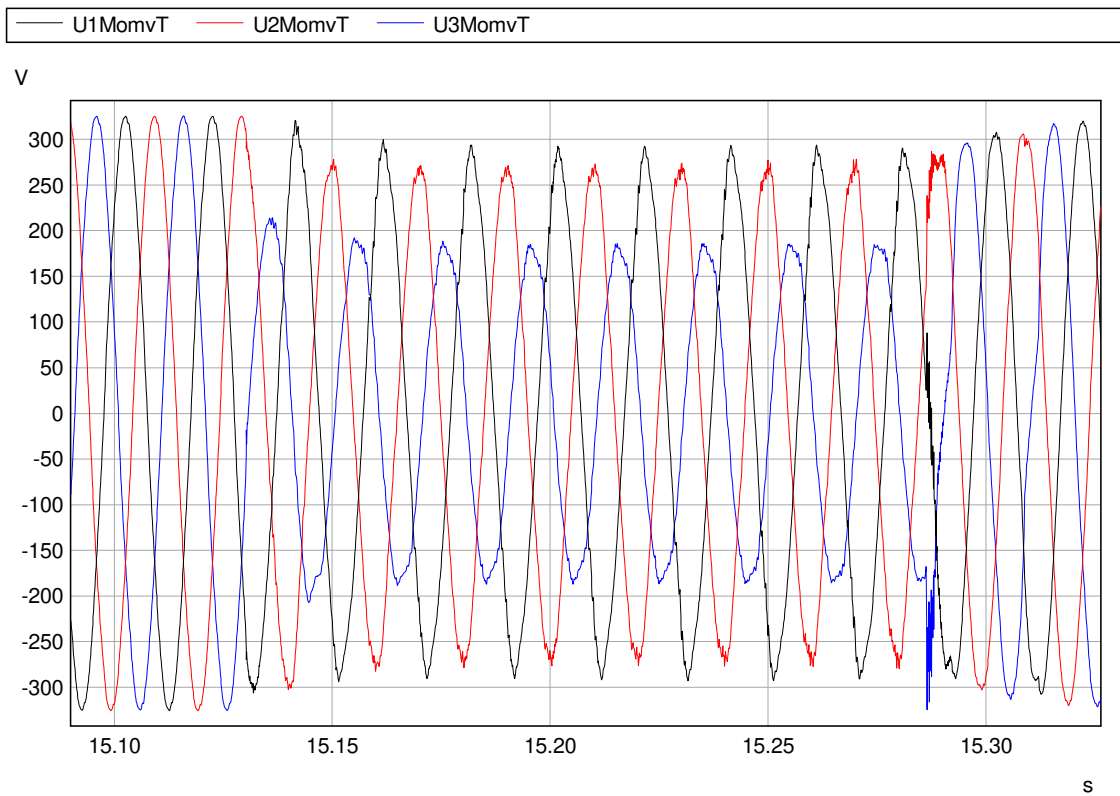


Abb. 101: Zeitverläufe der Spannungen

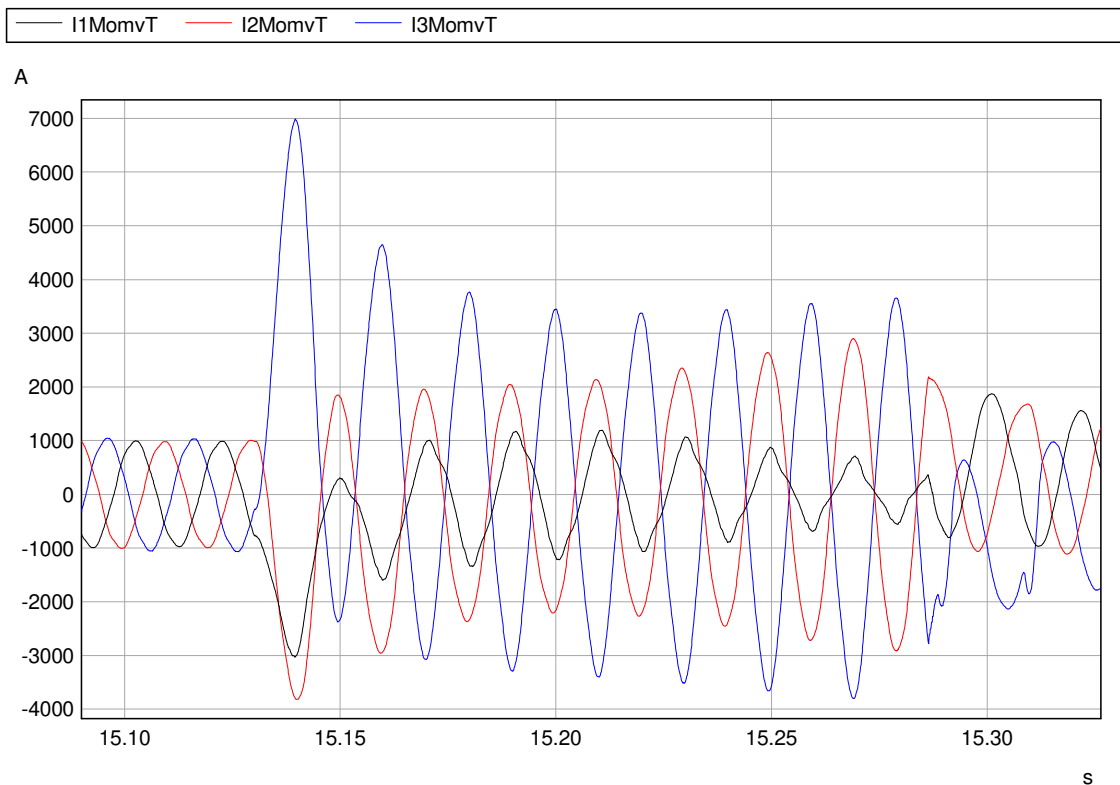


Abb. 102: Zeitverläufe der Ströme

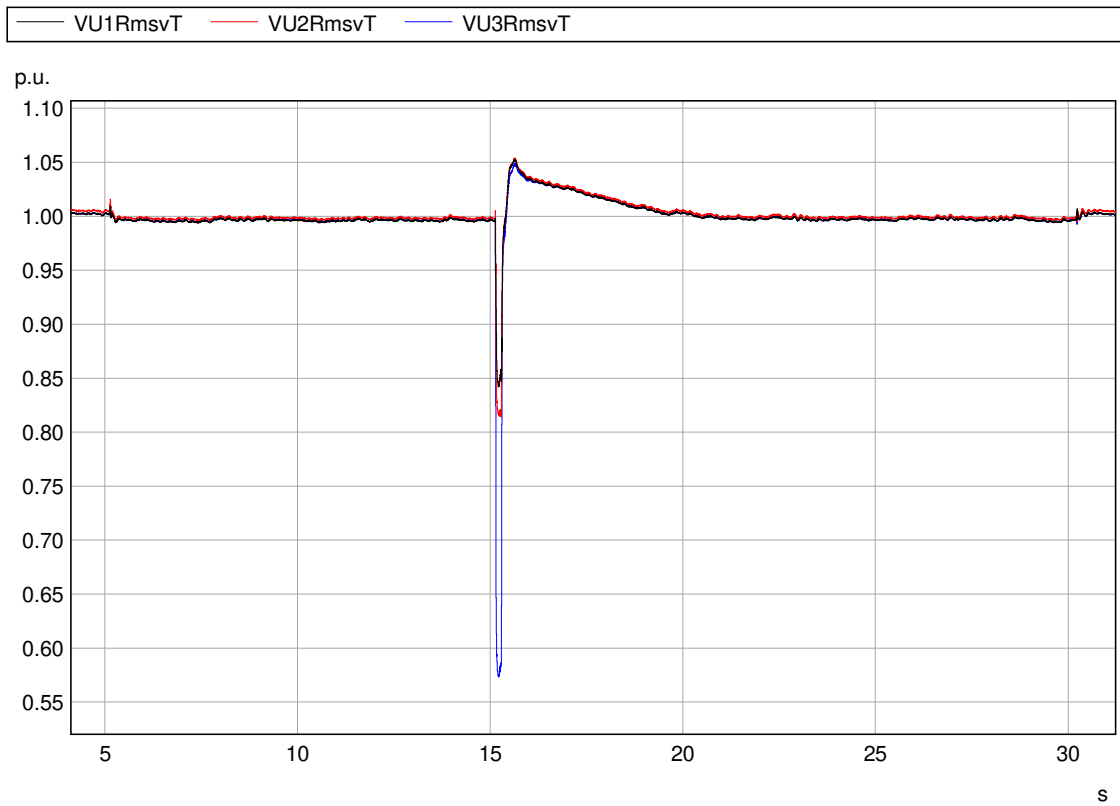


Abb. 103: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

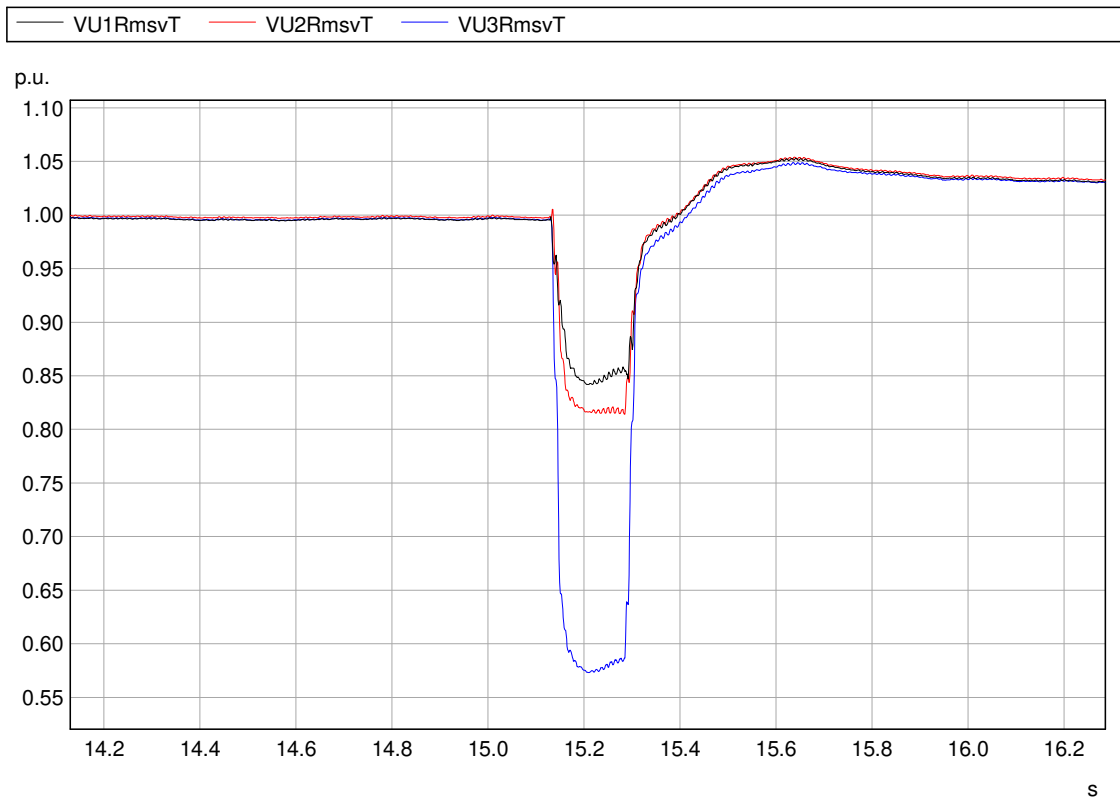


Abb. 104: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

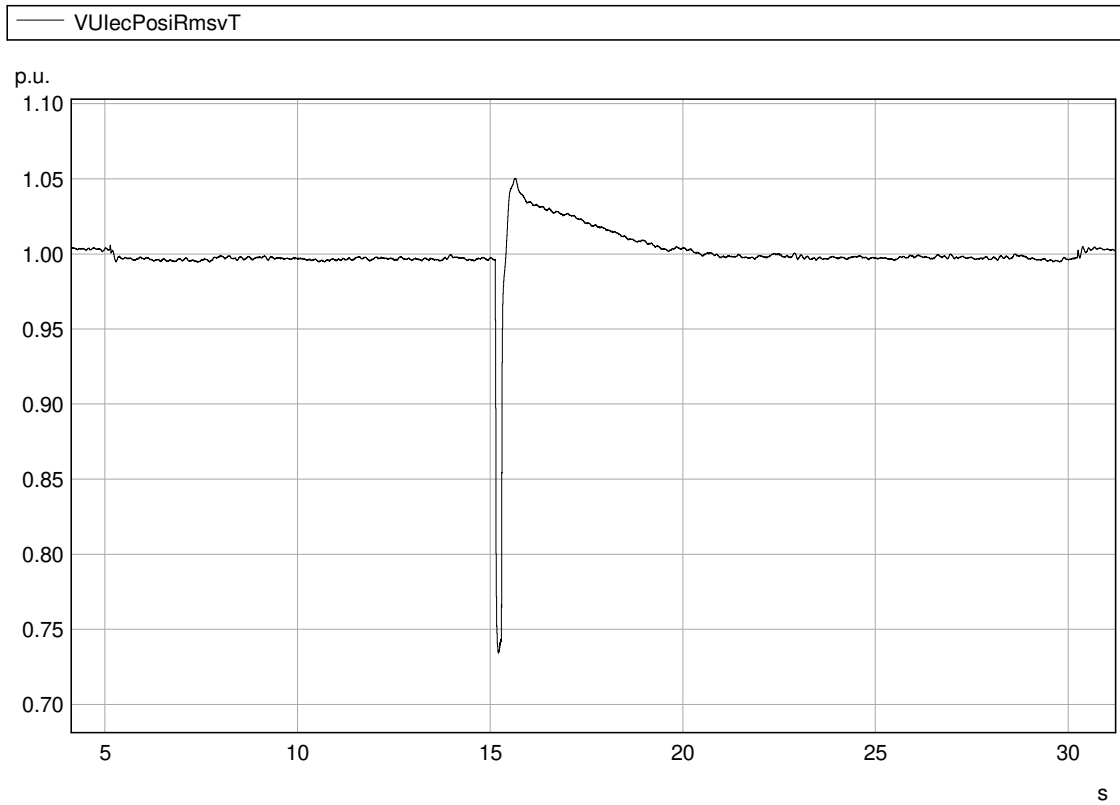


Abb. 105: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

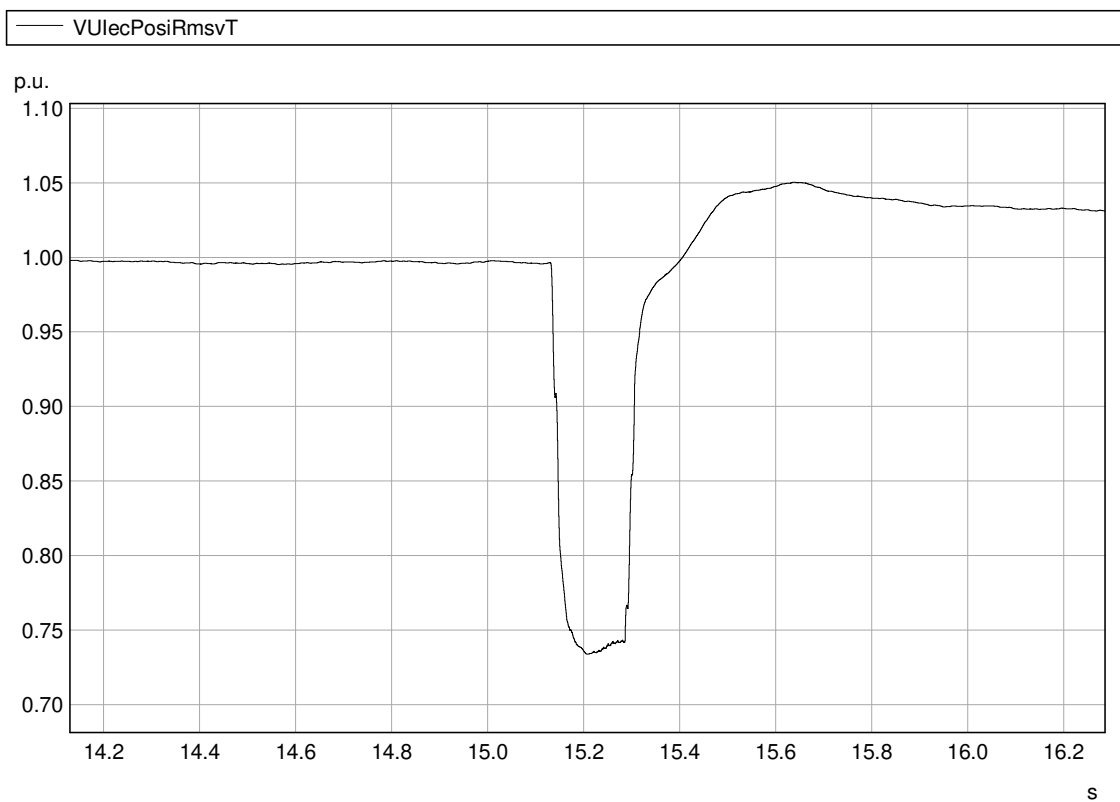


Abb. 106: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

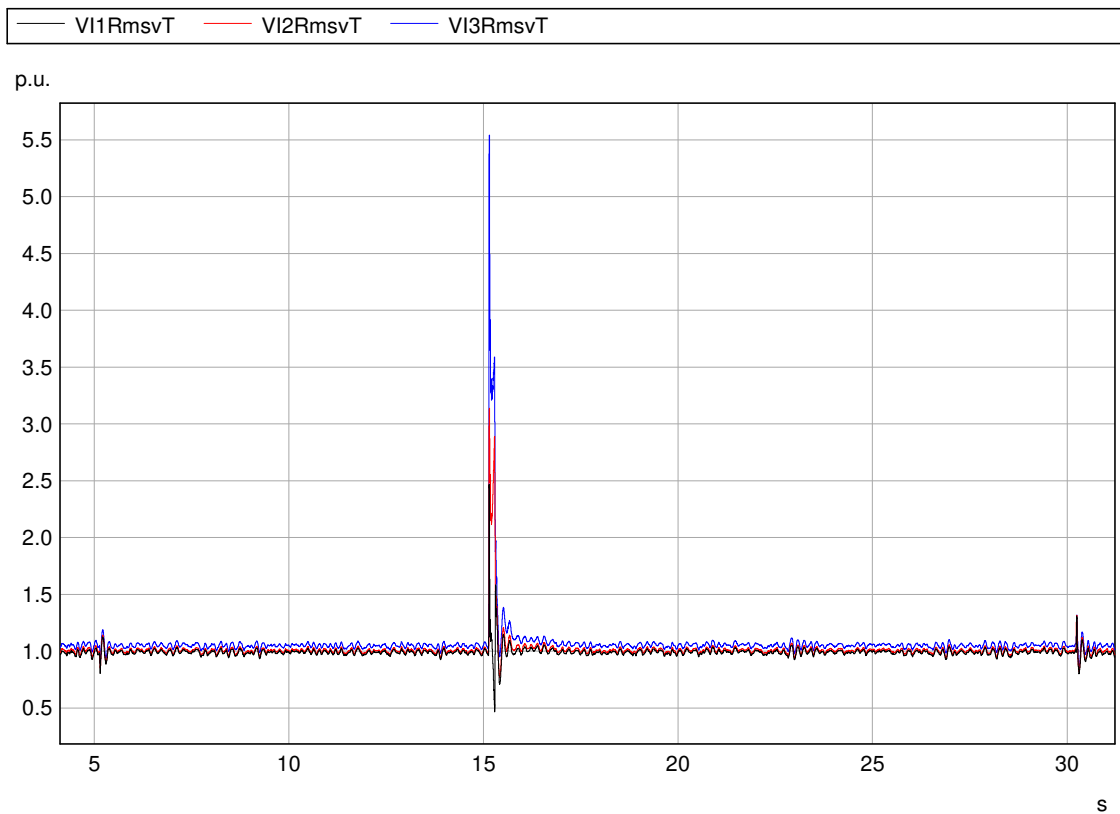


Abb. 107: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

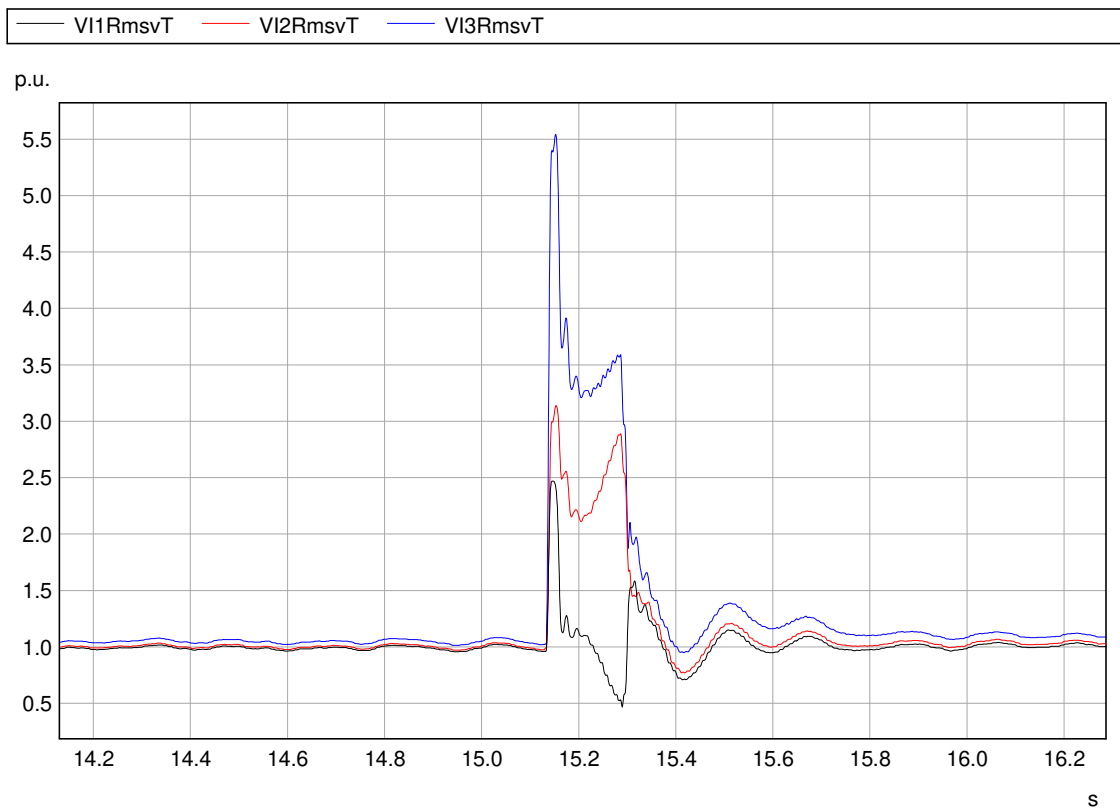


Abb. 108: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

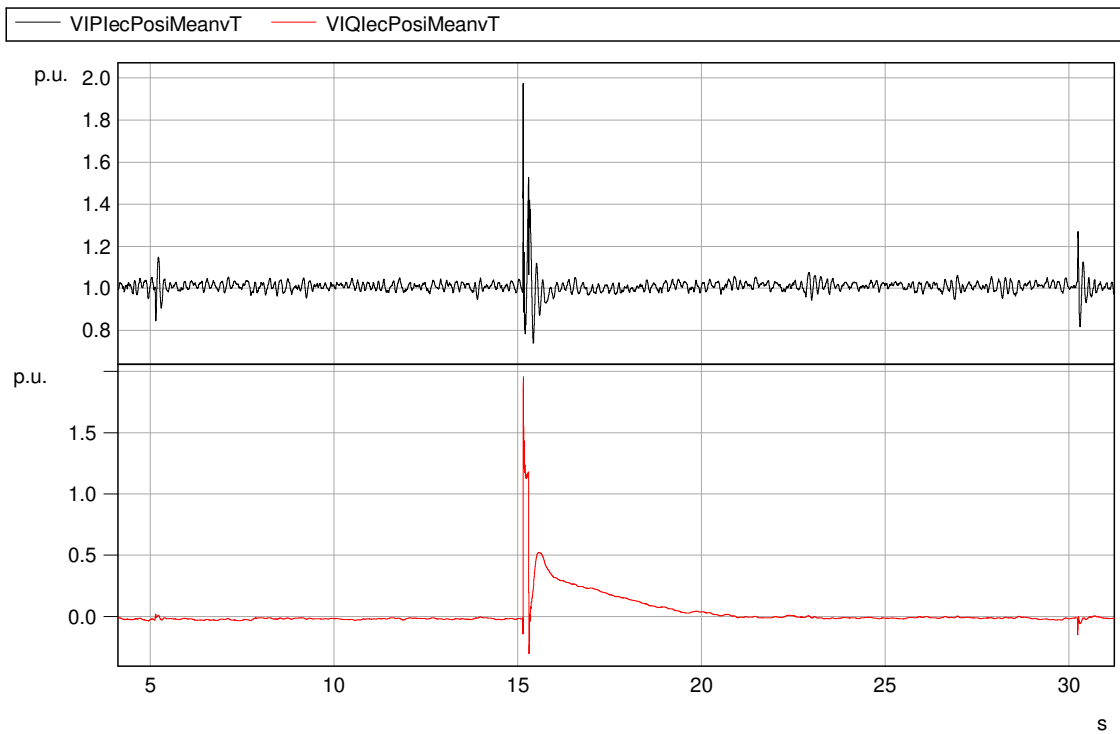


Abb. 109: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

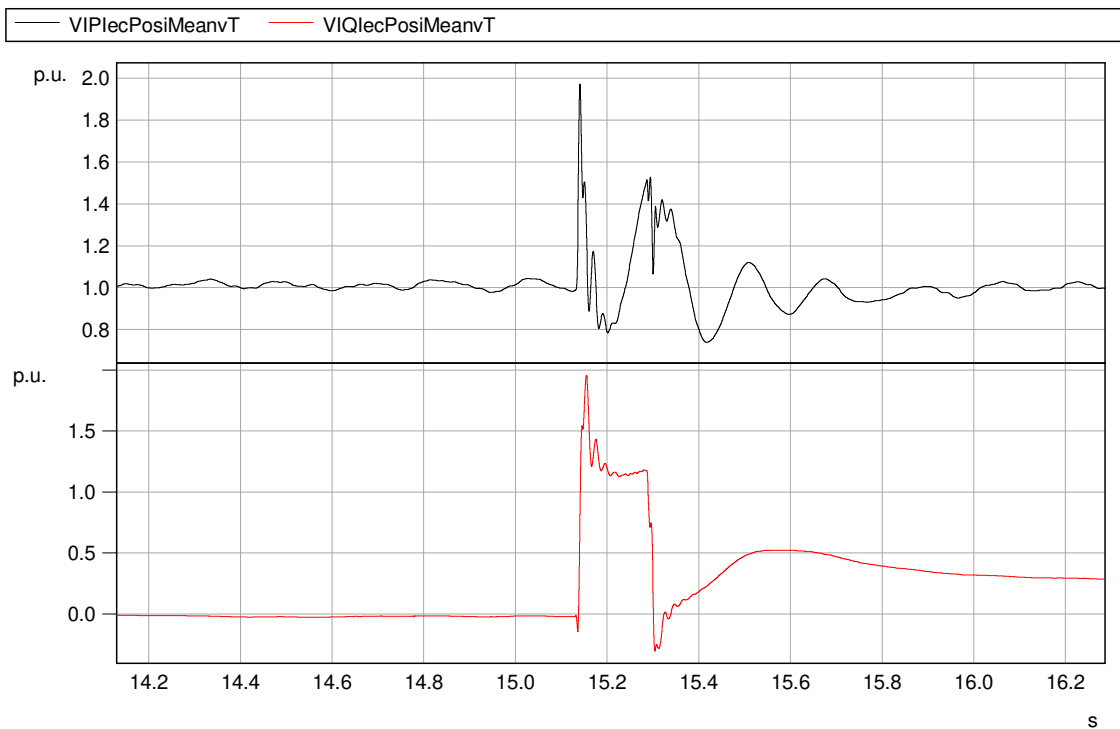


Abb. 110: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

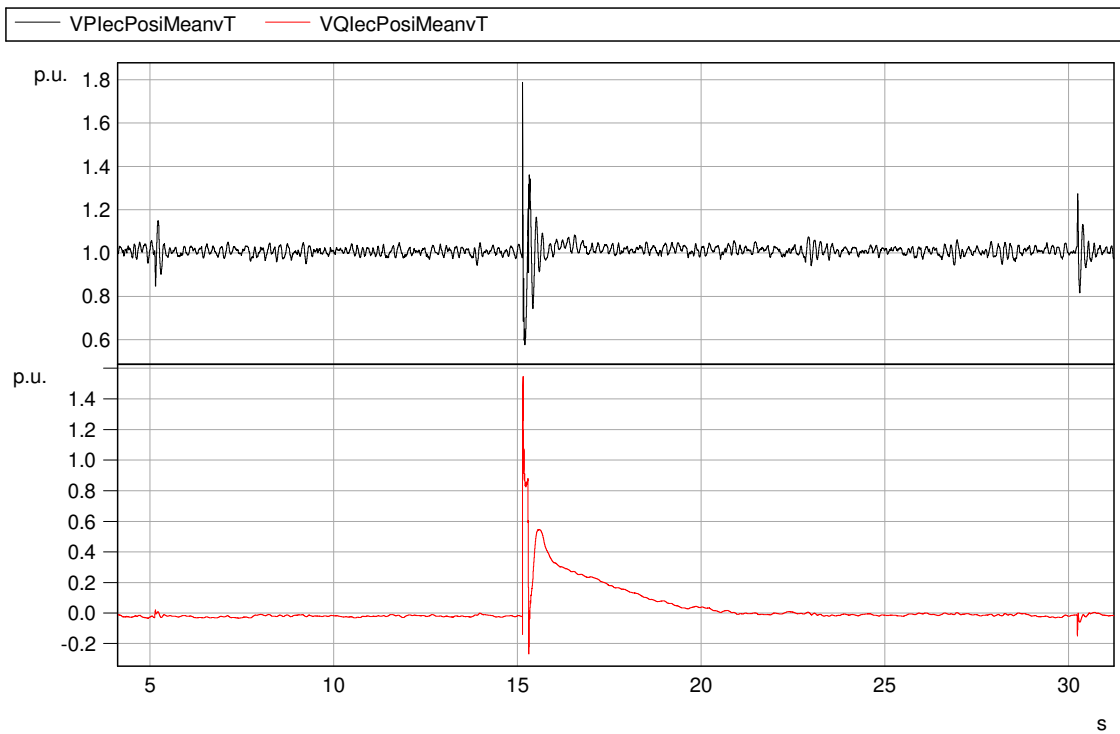


Abb. 111: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

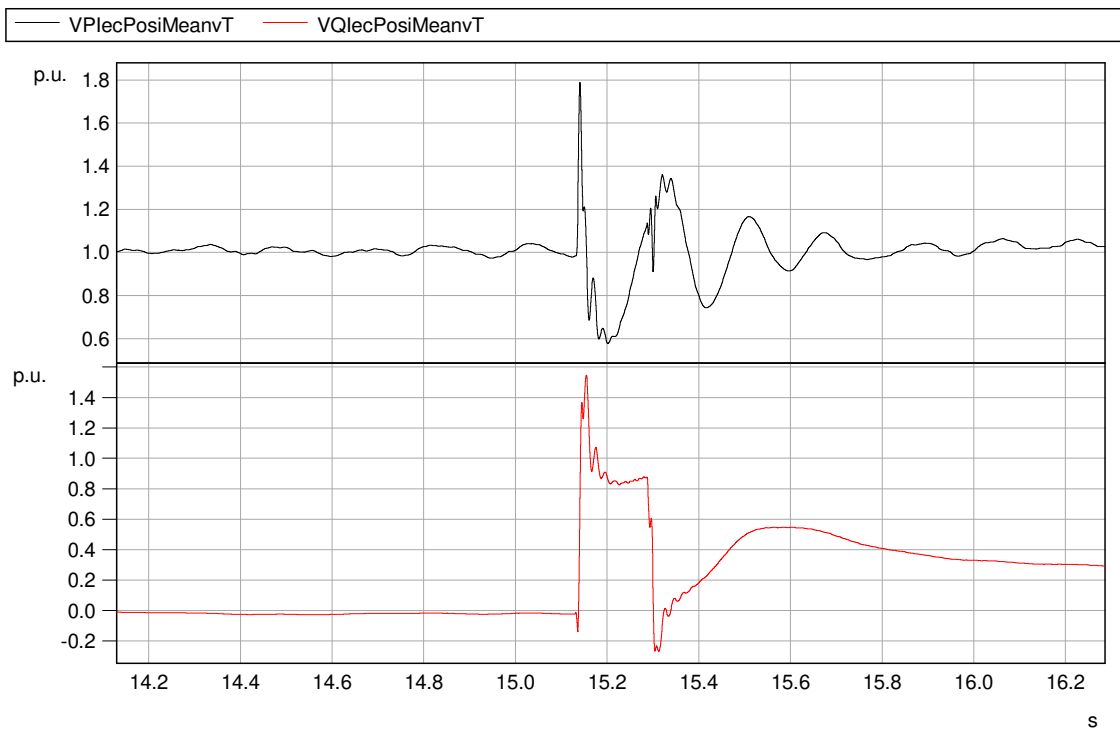


Abb. 112: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

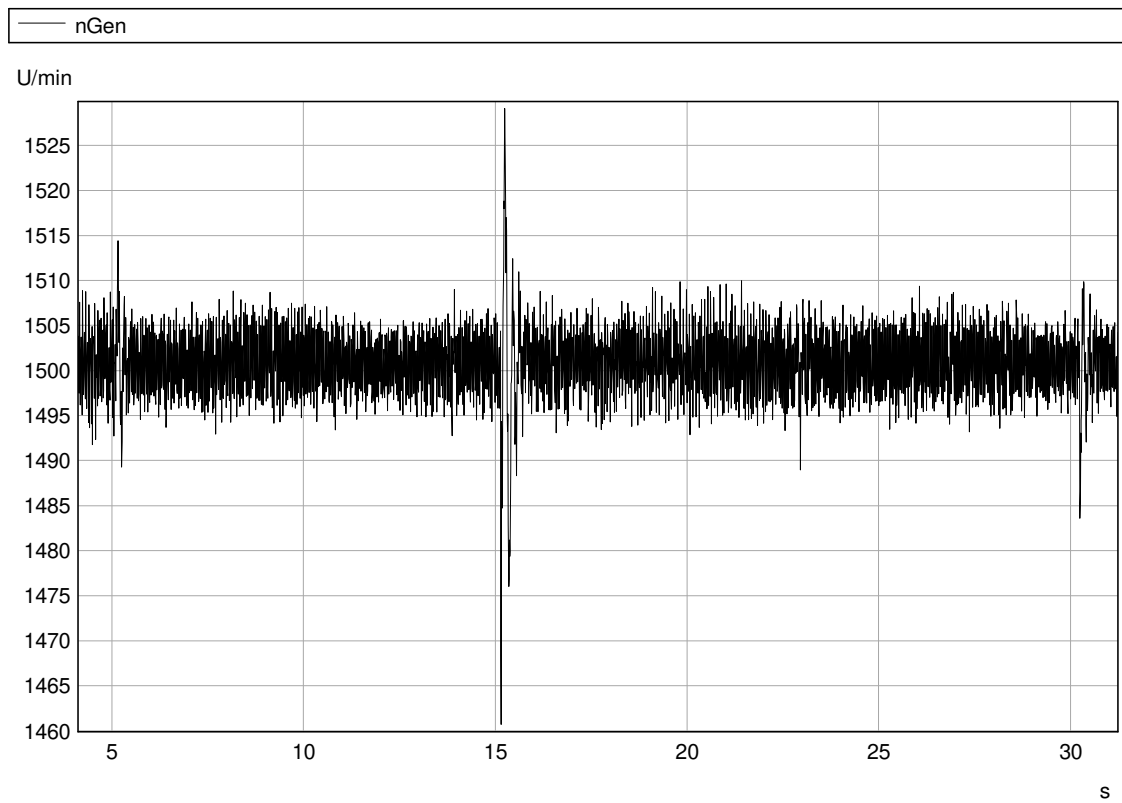


Abb. 113: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

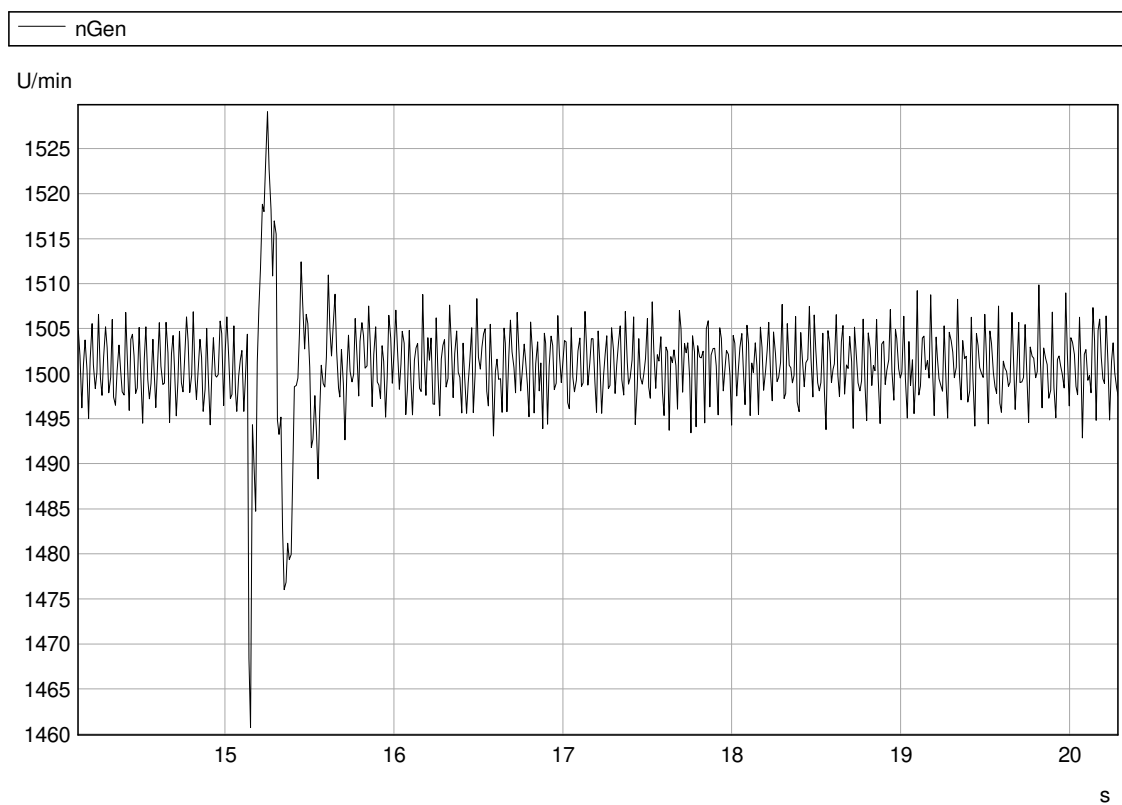


Abb. 114: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.9 Test Nr. 2.1.0 Leerversuch

Tab. 73: Versuch Nr. 2.1.0

Messdatensatz	2016-08-23 12-09-19
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	155 ms

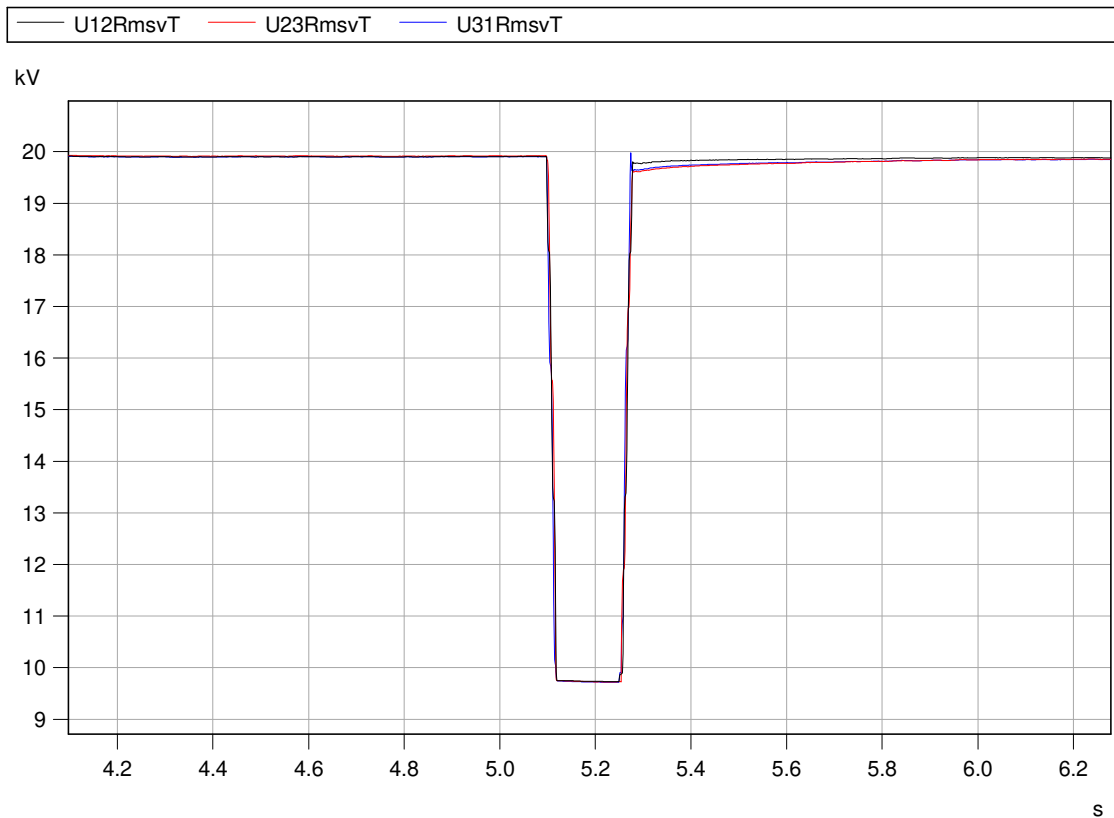


Abb. 115: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

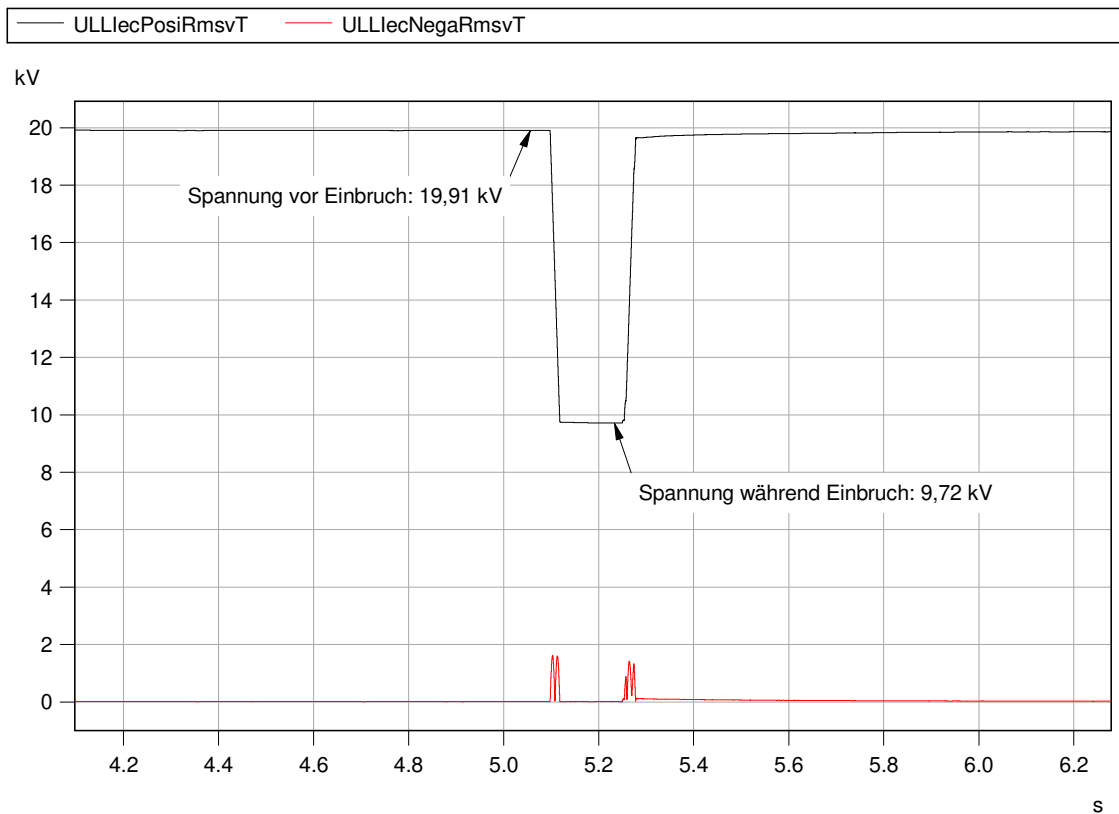


Abb. 116: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 74: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	19,91 kV
Spannung während Spannungseinbruch	9,72 kV
Ermittelte Restspannung	48,82 %



4.6.10 Test Nr. 2.1.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 75: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 2.1.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		2.1.1	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		15:45:06	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,49	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.134,04	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.132,79	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.292,40	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.241,00	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		159,61	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,62
16		Mitsystem		0,62		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,02	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,50	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,02	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,50	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,50	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,02	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,999	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,62	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,37	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,48	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,49	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,53	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	5,97	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	4,17	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-6,29	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	2,44	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,70	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,04	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	3,39	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	2,24	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	3,40	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,40	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,39	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,49	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,26	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,26	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,51	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,50	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,50	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,07	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,01	[p.u.]

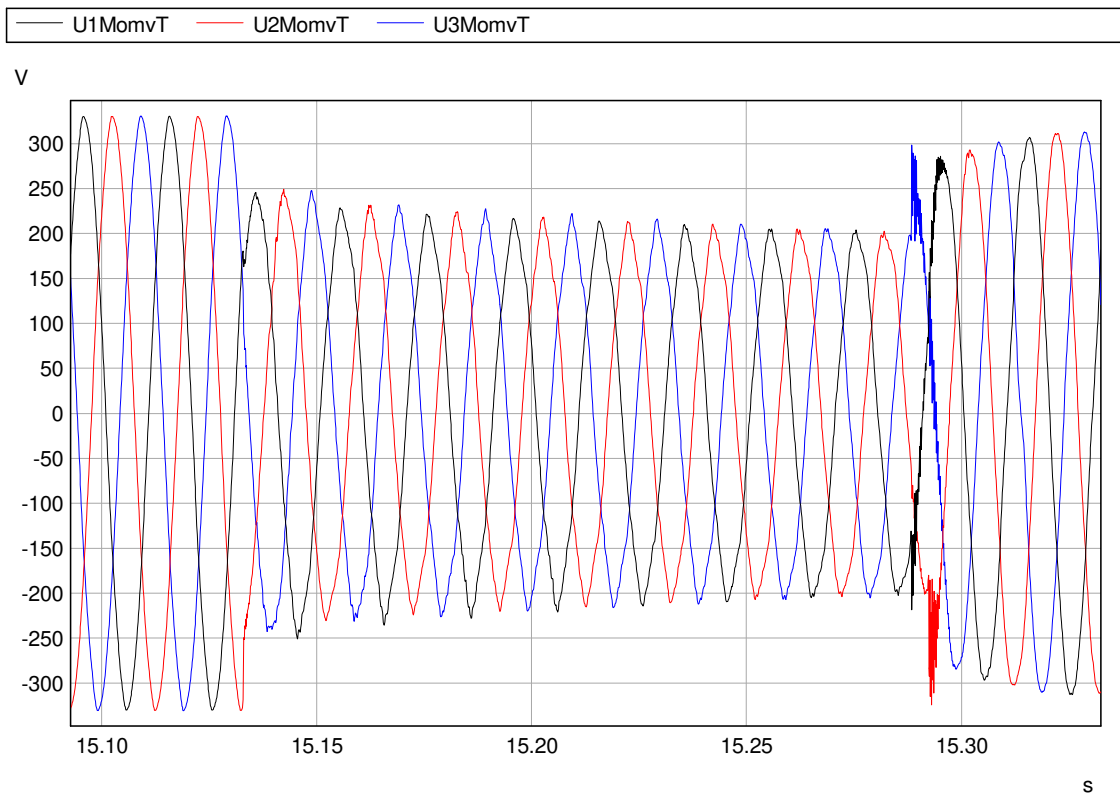


Abb. 117: Zeitverläufe der Spannungen

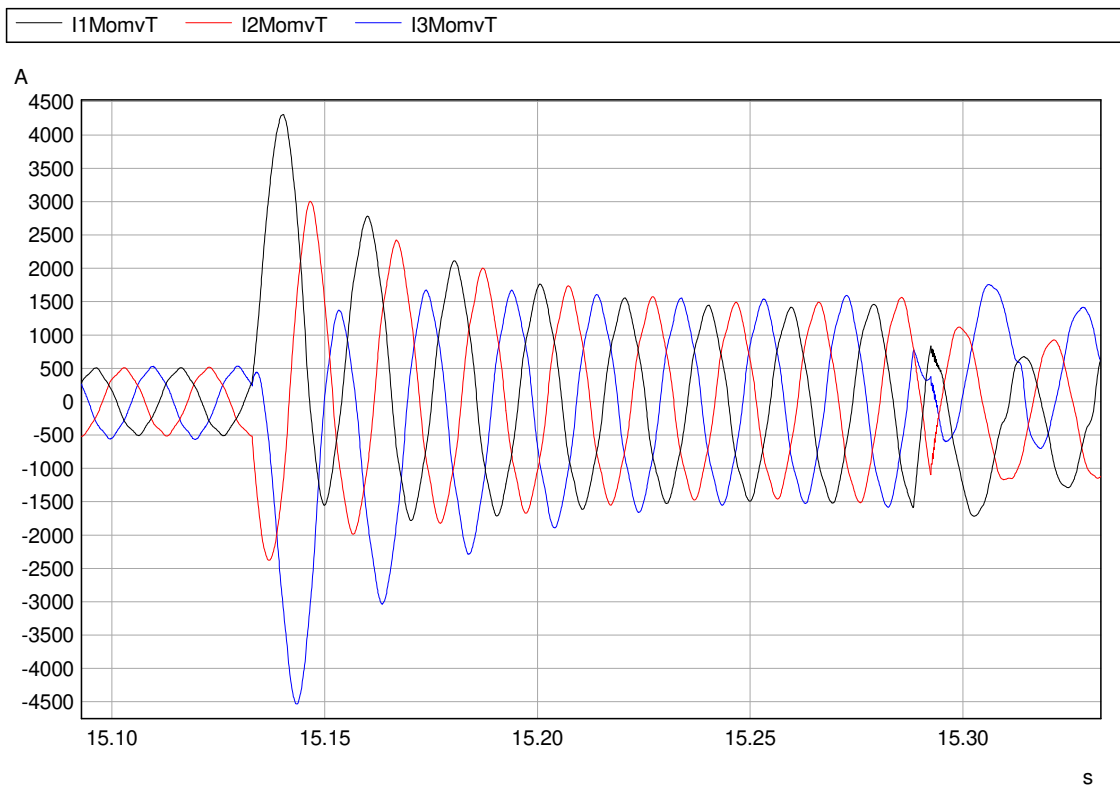


Abb. 118: Zeitverläufe der Ströme

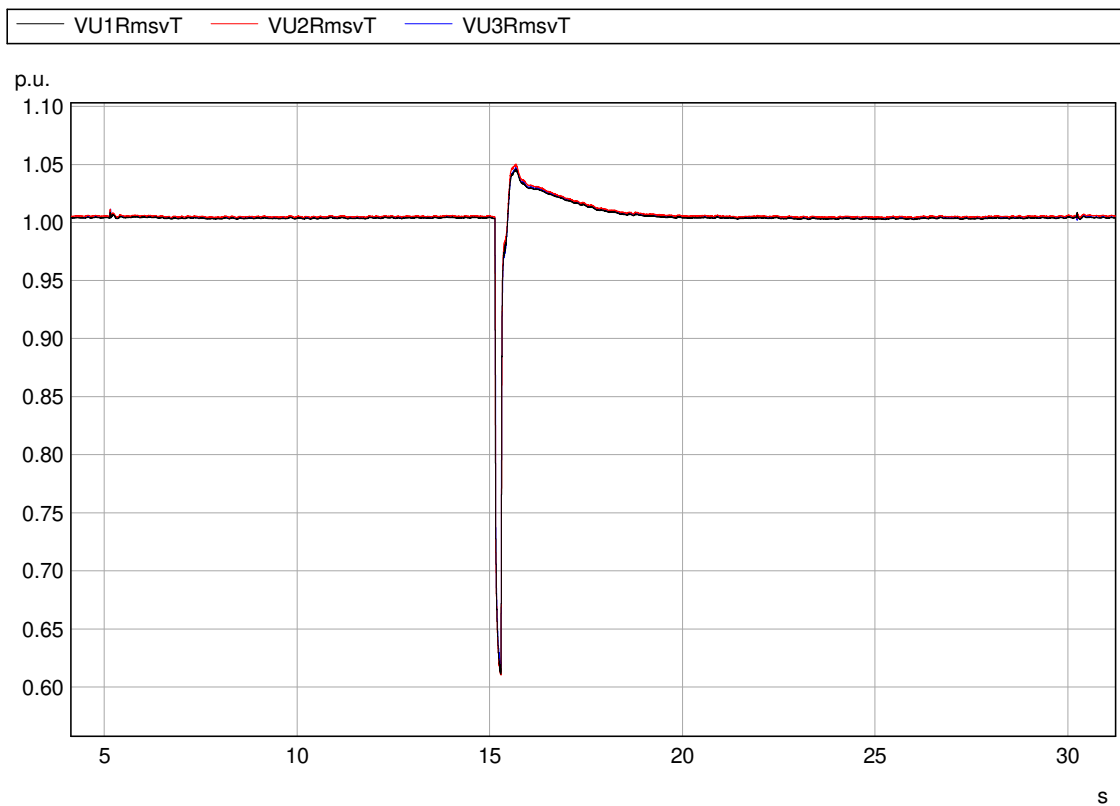


Abb. 119: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

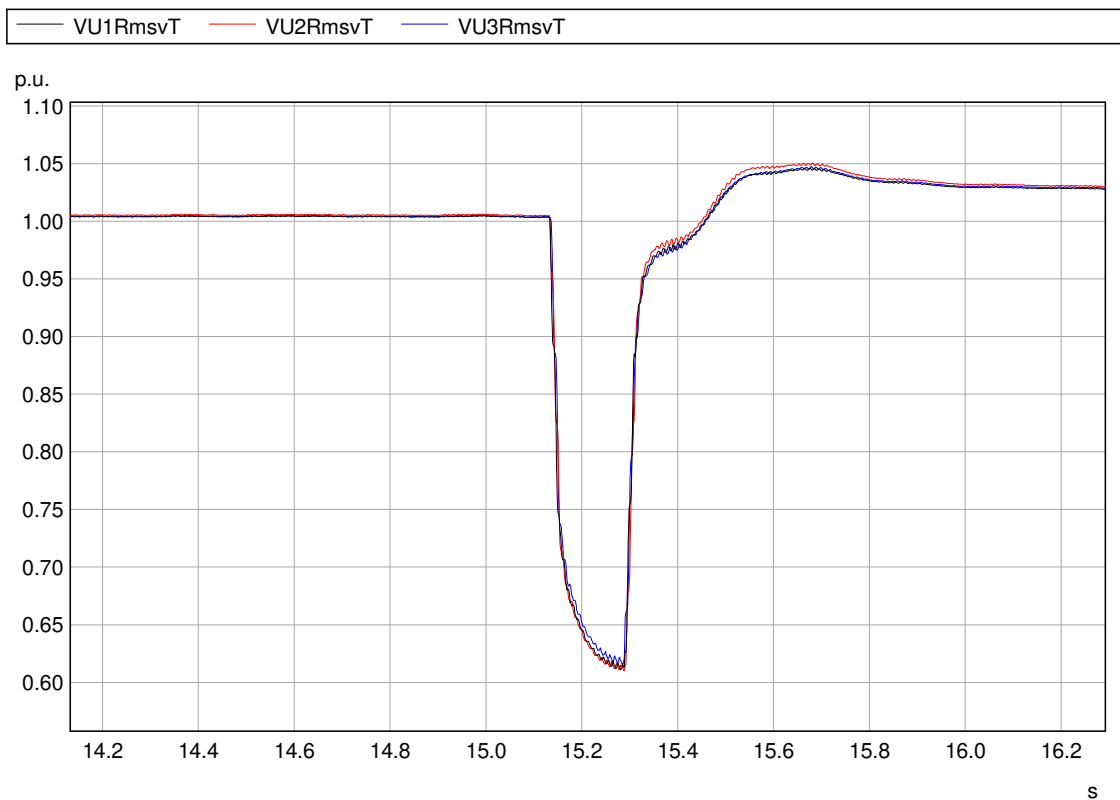


Abb. 120: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

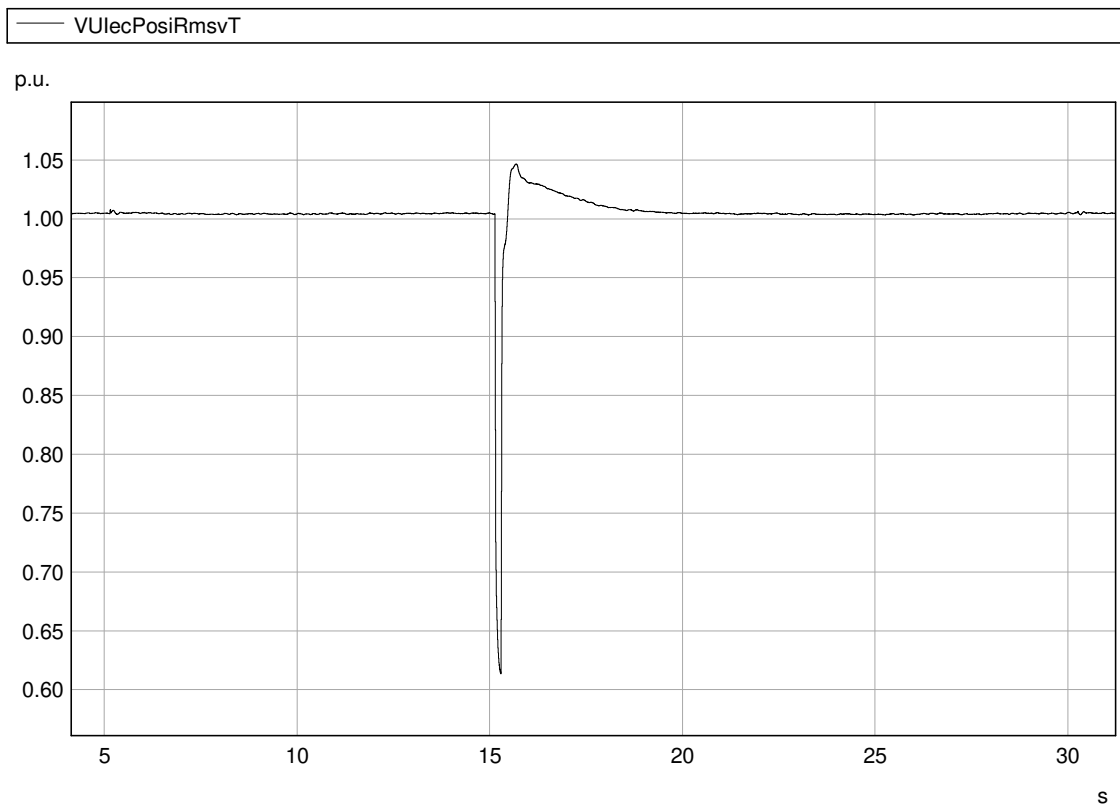


Abb. 121: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

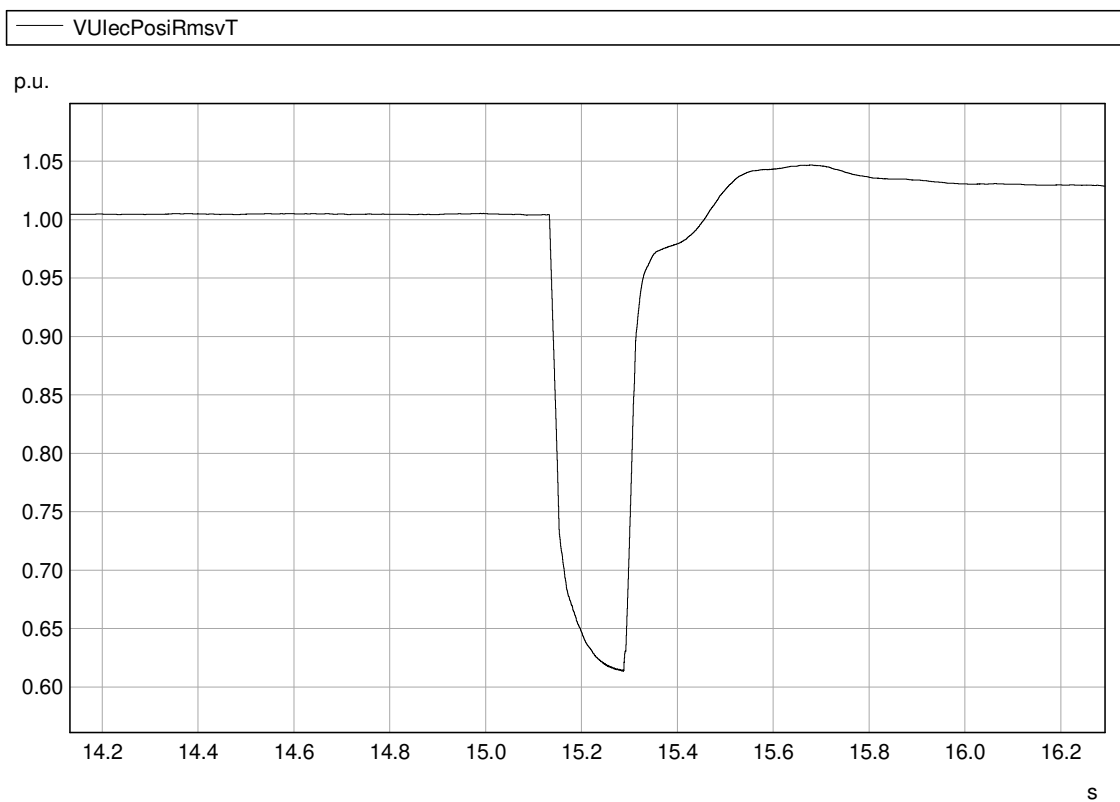


Abb. 122: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

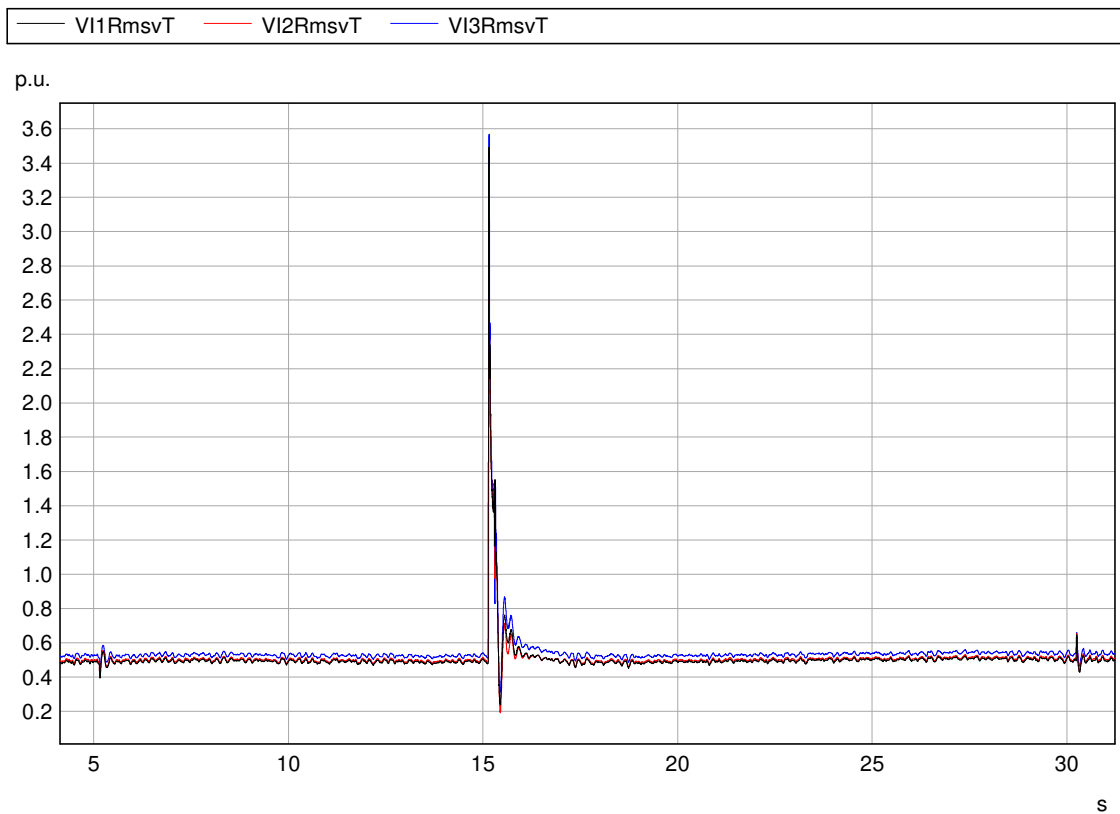


Abb. 123: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

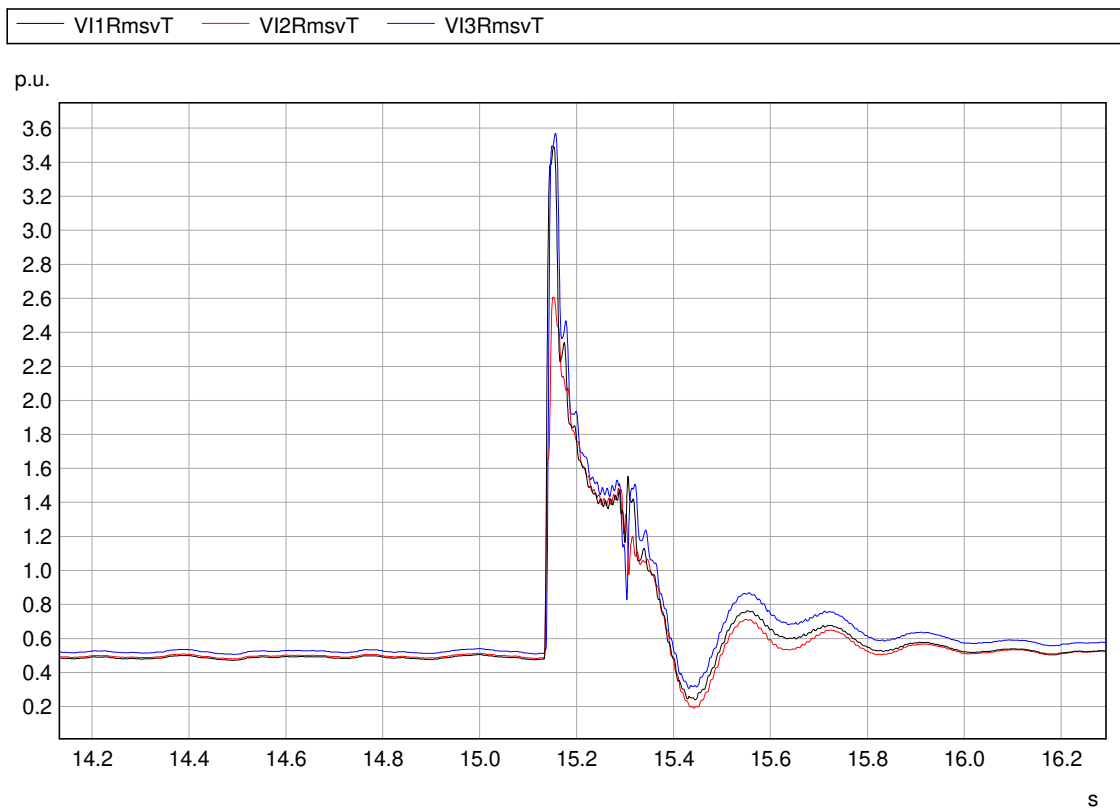


Abb. 124: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

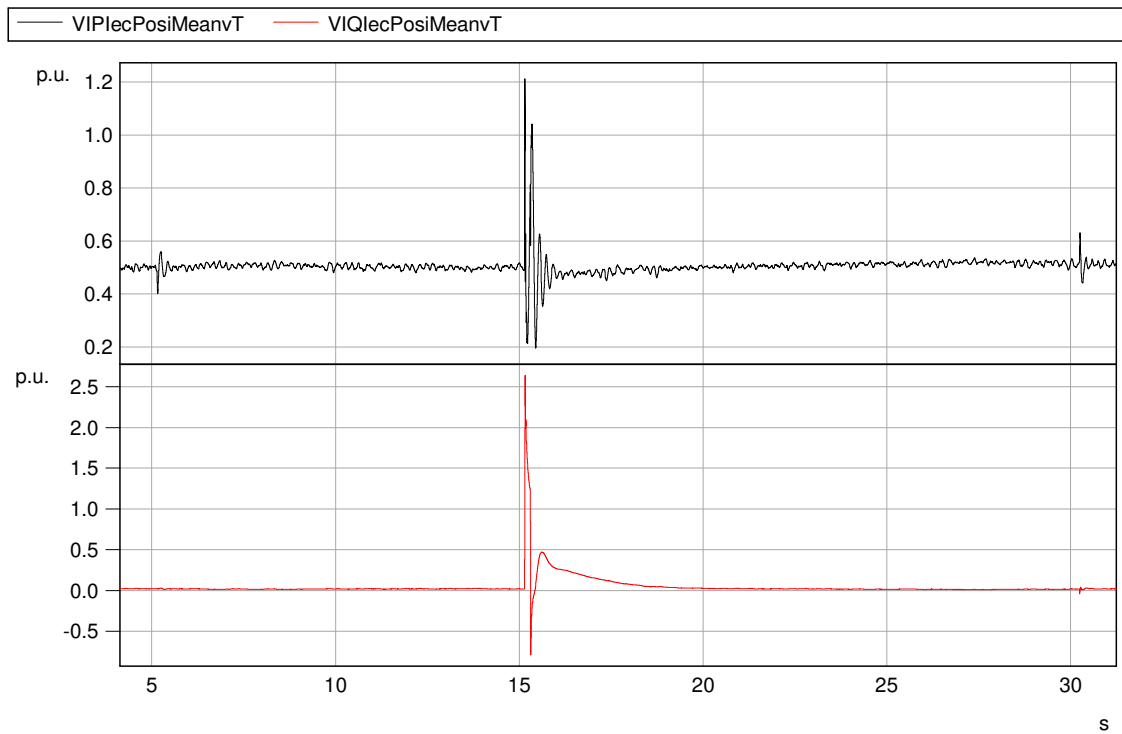


Abb. 125: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

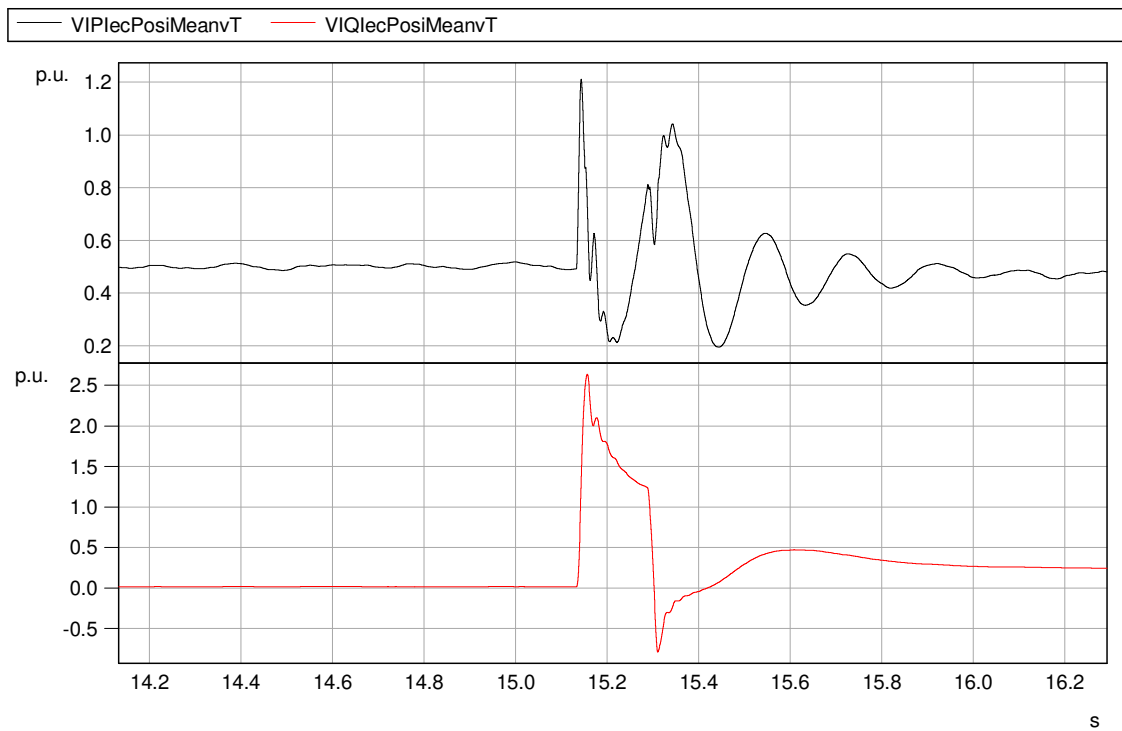


Abb. 126: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

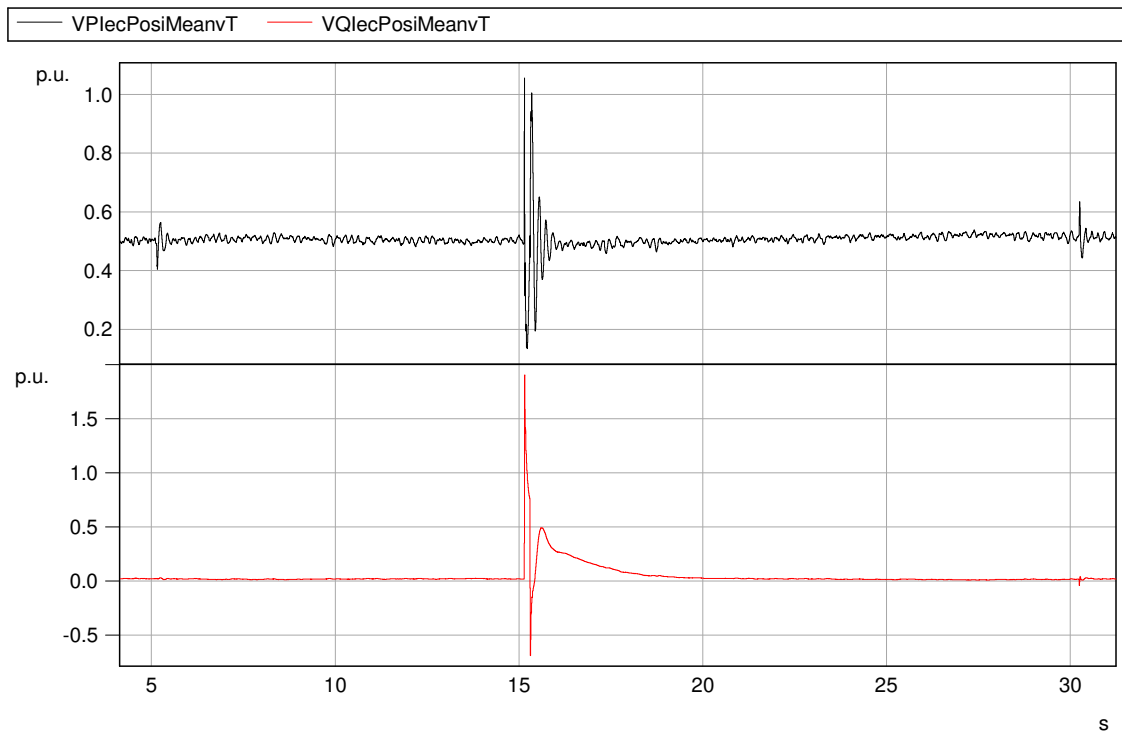


Abb. 127: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

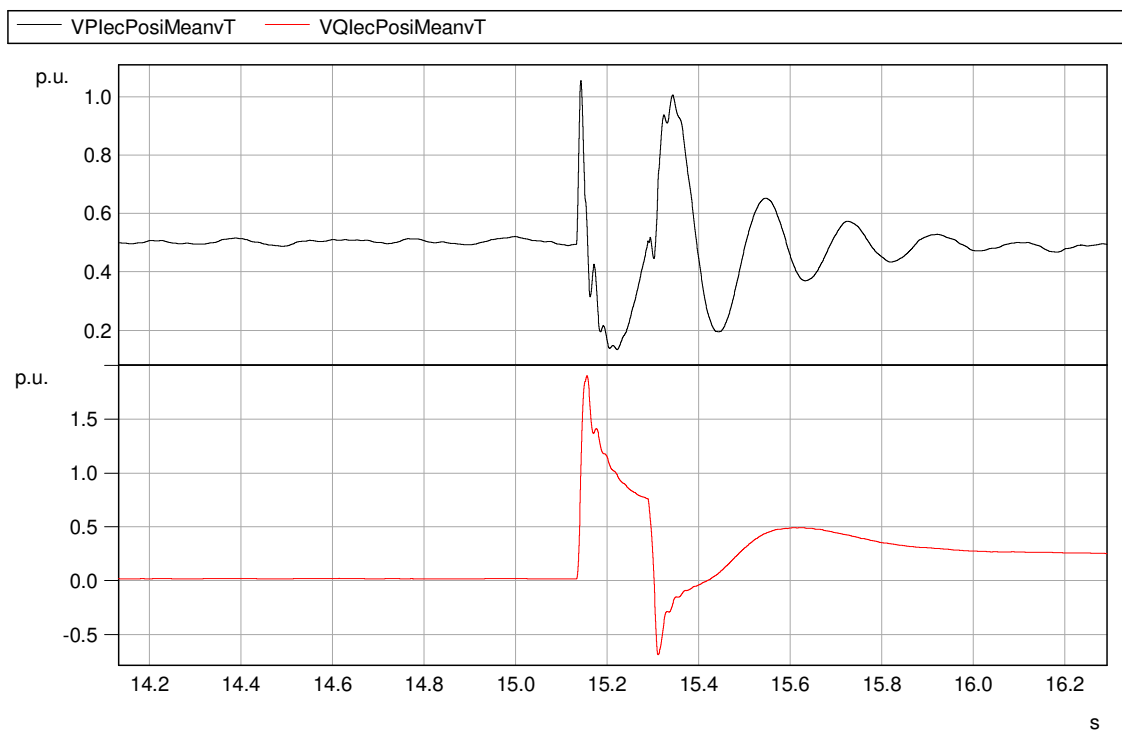


Abb. 128: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

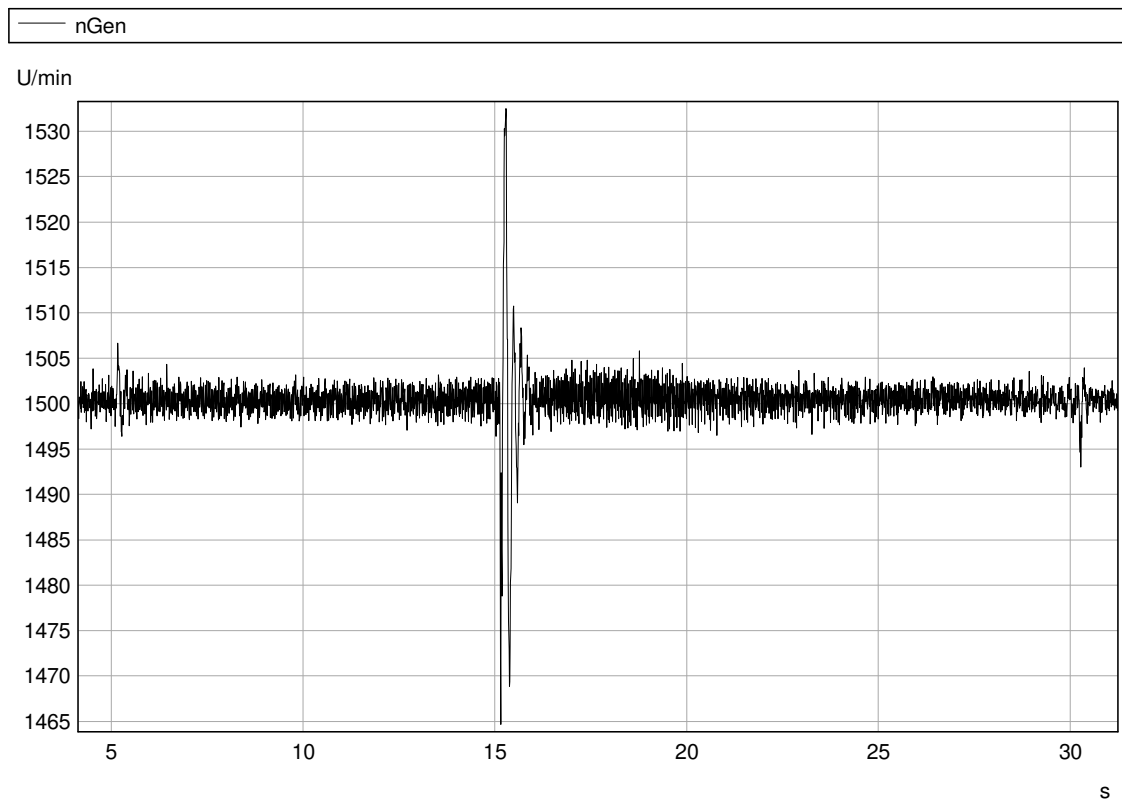


Abb. 129: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

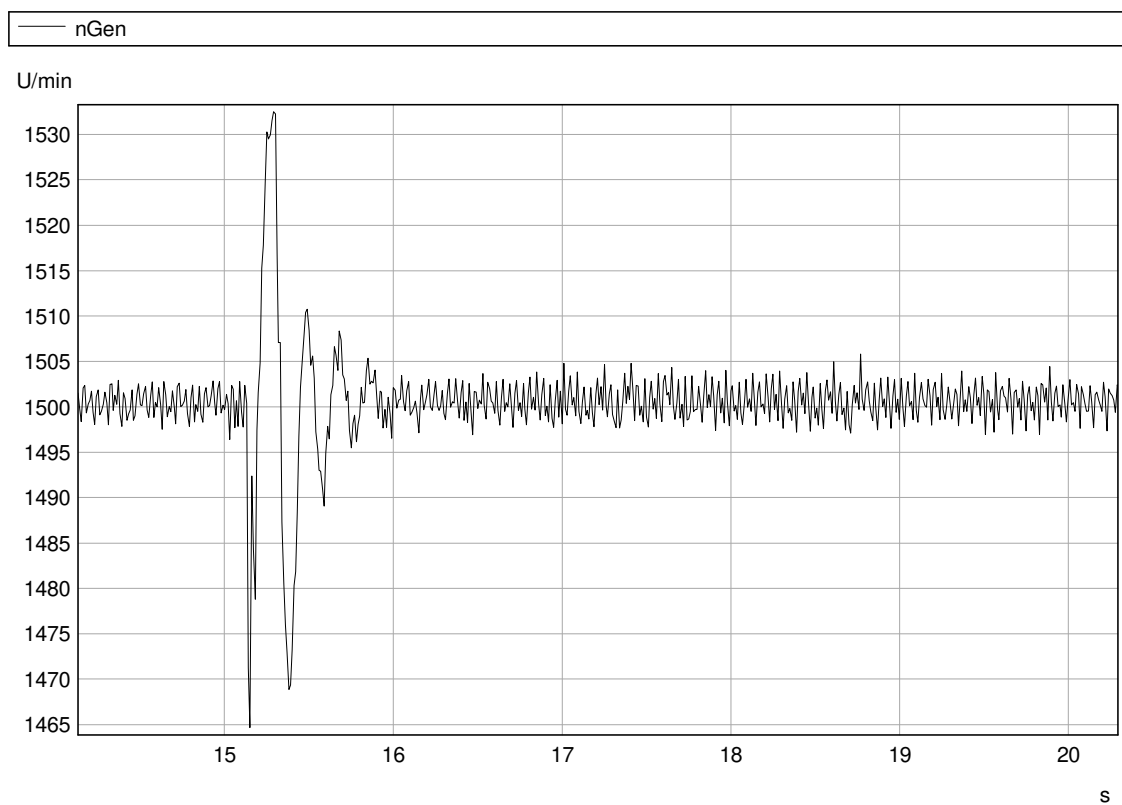


Abb. 130: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.11 Test Nr. 2.1.2

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 76: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 2.1.2

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		2.1.2	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		16:03:17	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,49	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.119,97	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.118,89	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.274,09	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.226,94	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		155,2	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,62
16		Mitsystem		0,62		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,03	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,01	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,02	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,02	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,62	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	1,29	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,93	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,94	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,98	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	6,59	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-4,81	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-5,76	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	2,72	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	2,26	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,01	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	3,79	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	2,73	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	3,04	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,97	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	2,00	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	2,03	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,83	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,84	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	1,01	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,01	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,09	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,01	[p.u.]

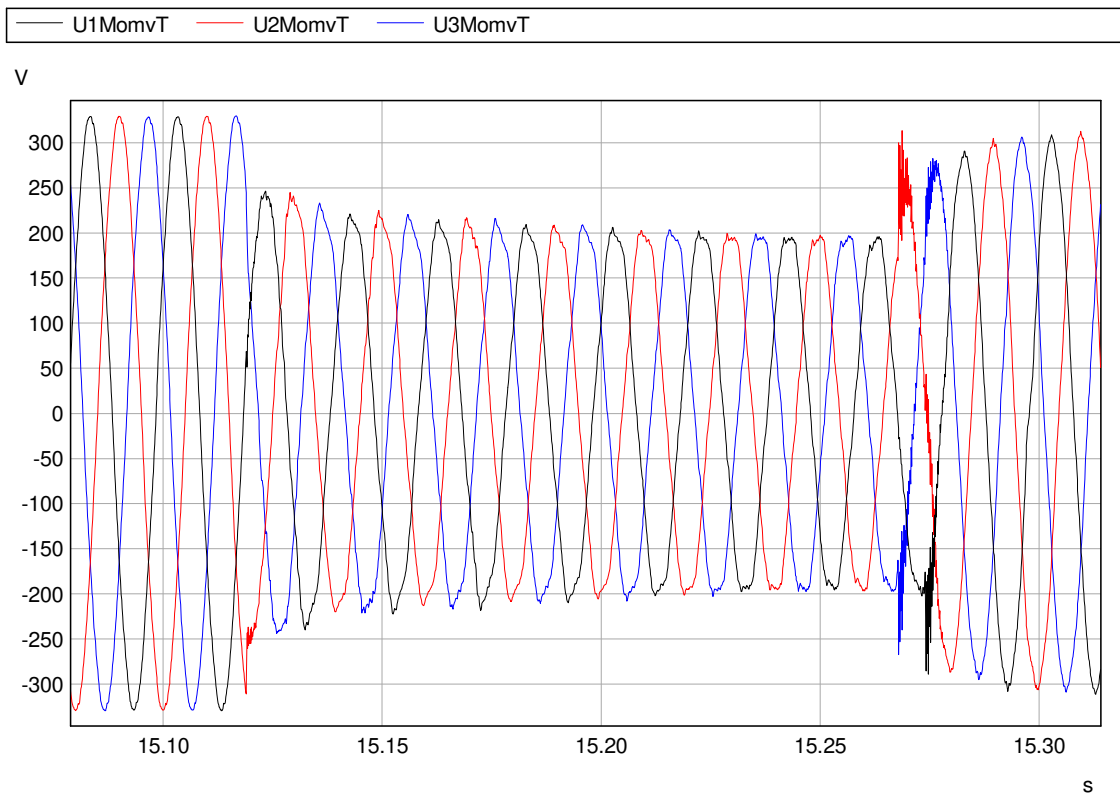


Abb. 131: Zeitverläufe der Spannungen

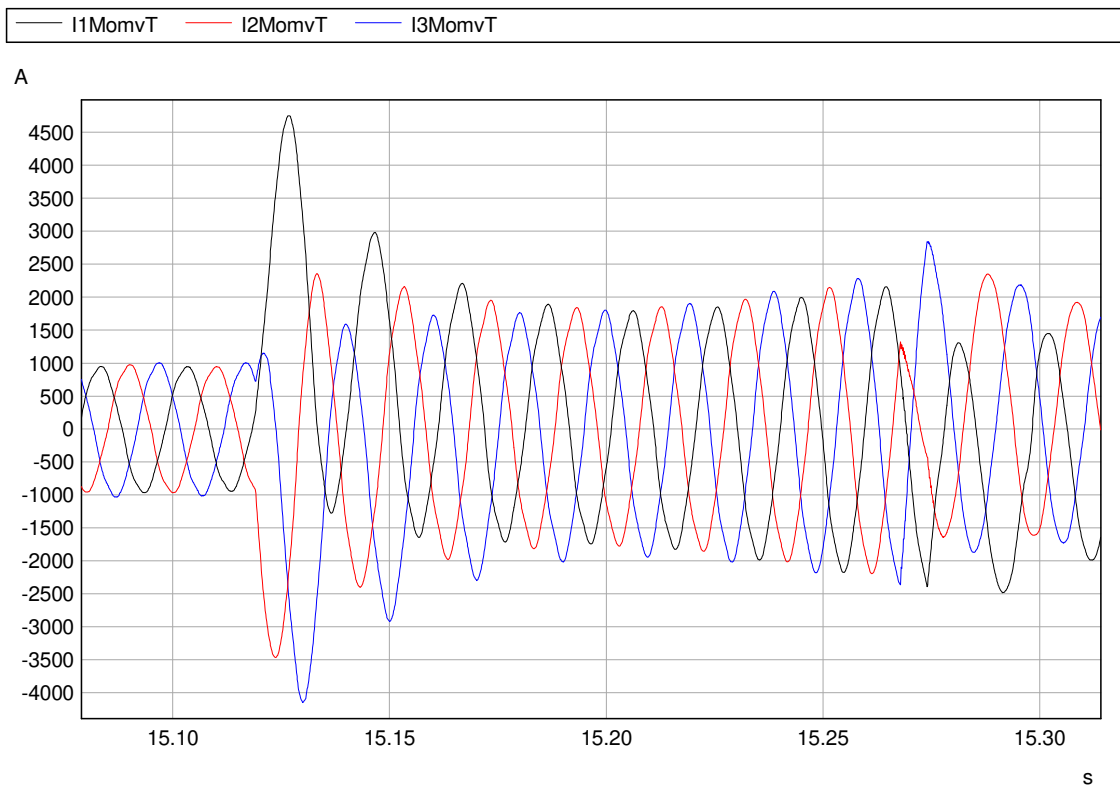


Abb. 132: Zeitverläufe der Ströme

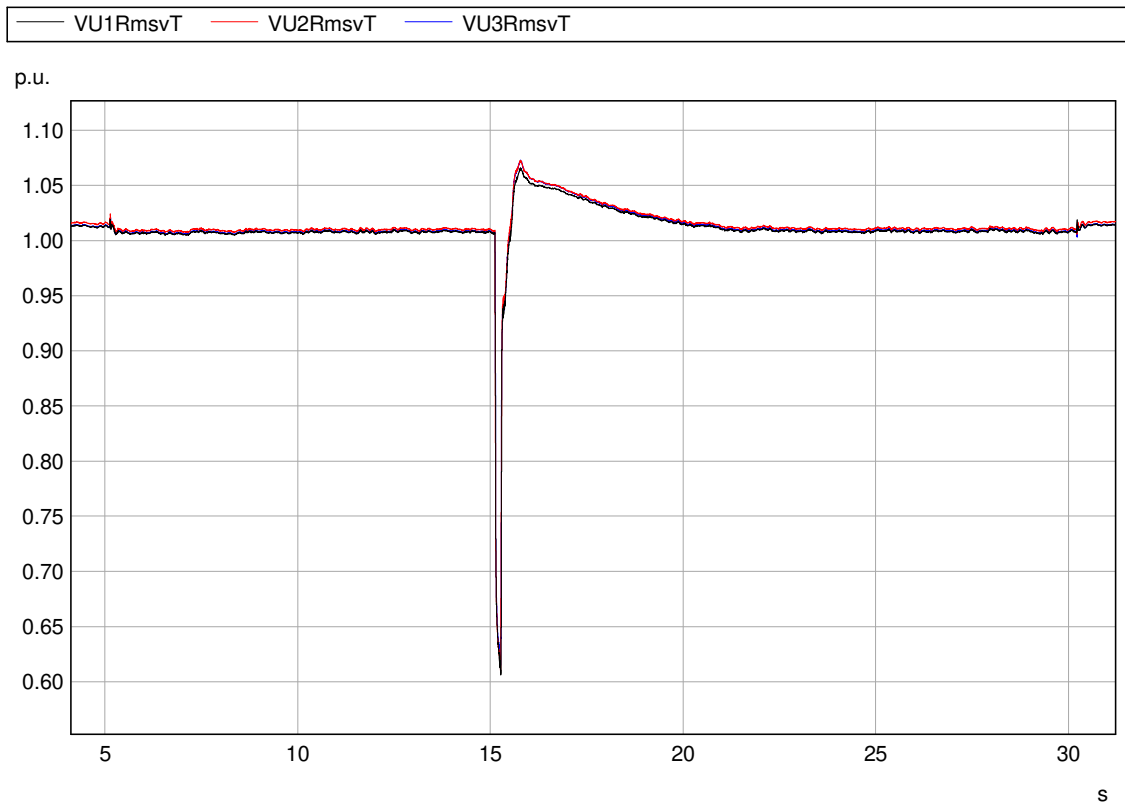


Abb. 133: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

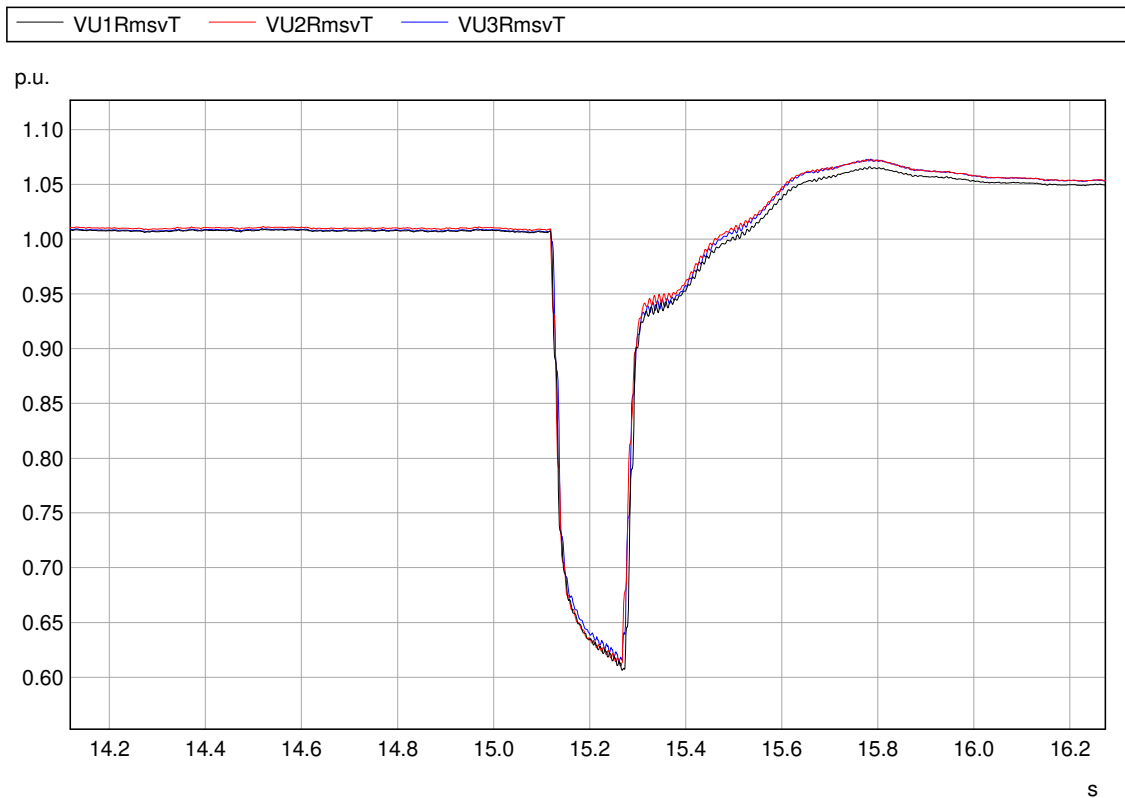


Abb. 134: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

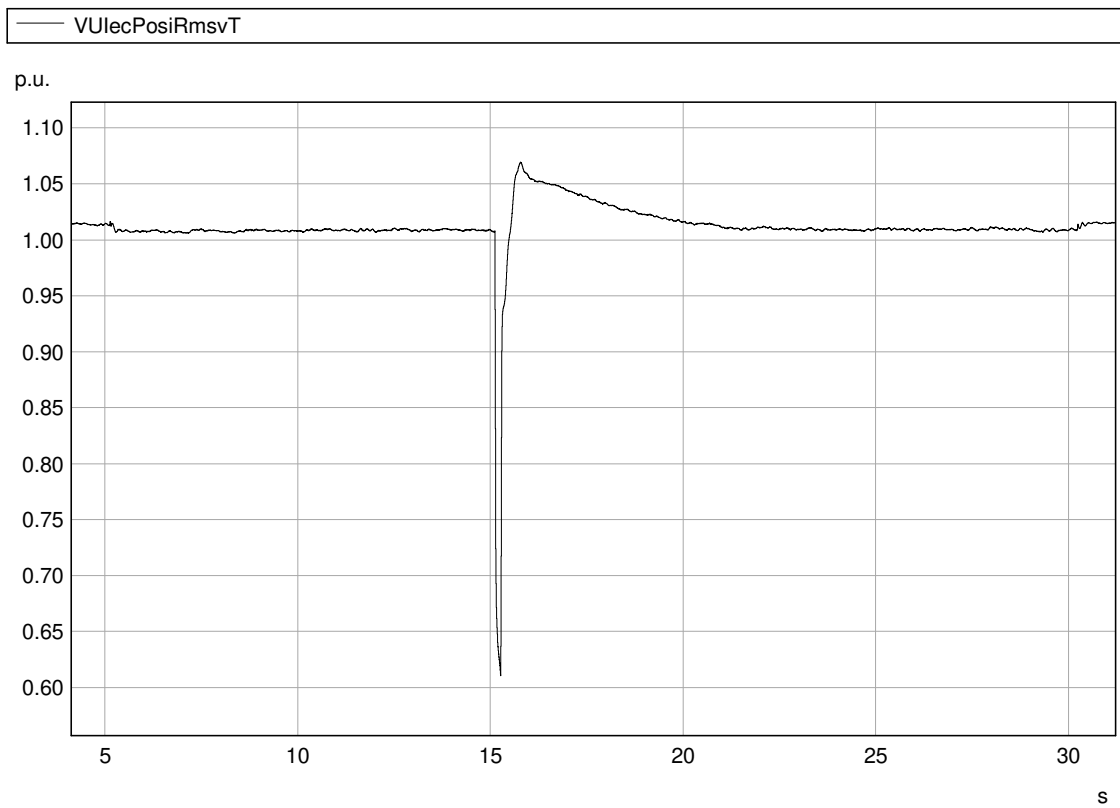


Abb. 135: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

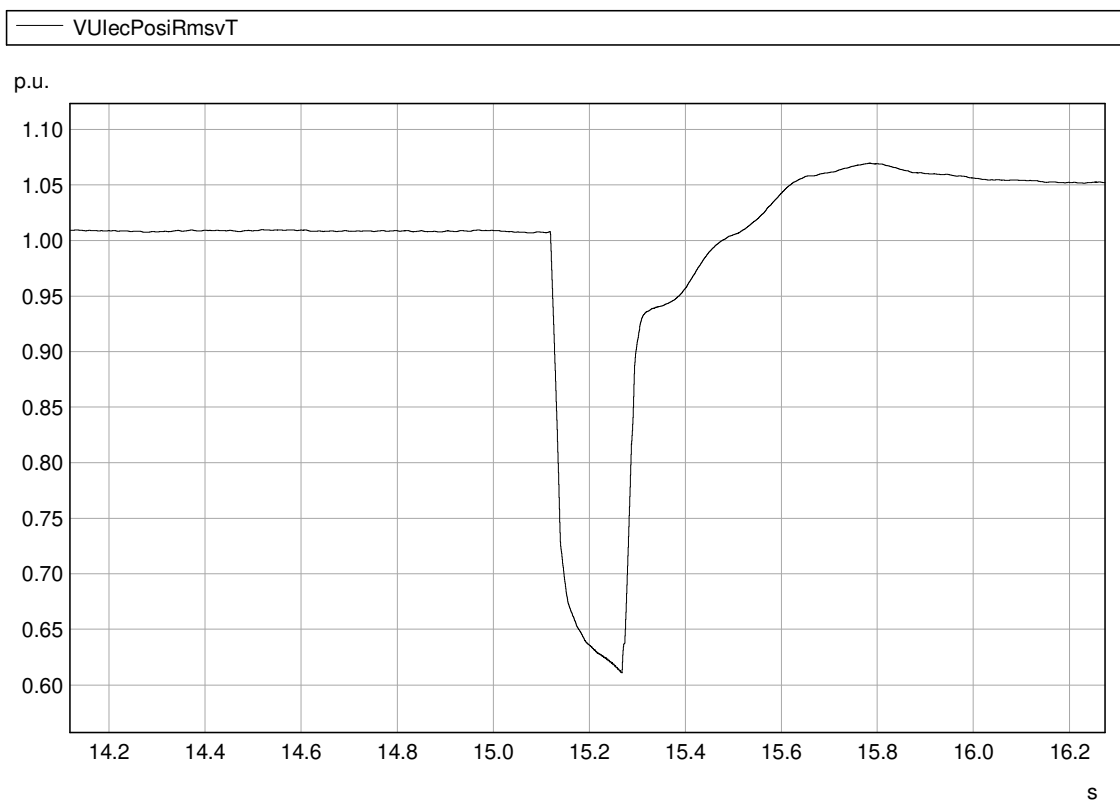


Abb. 136: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

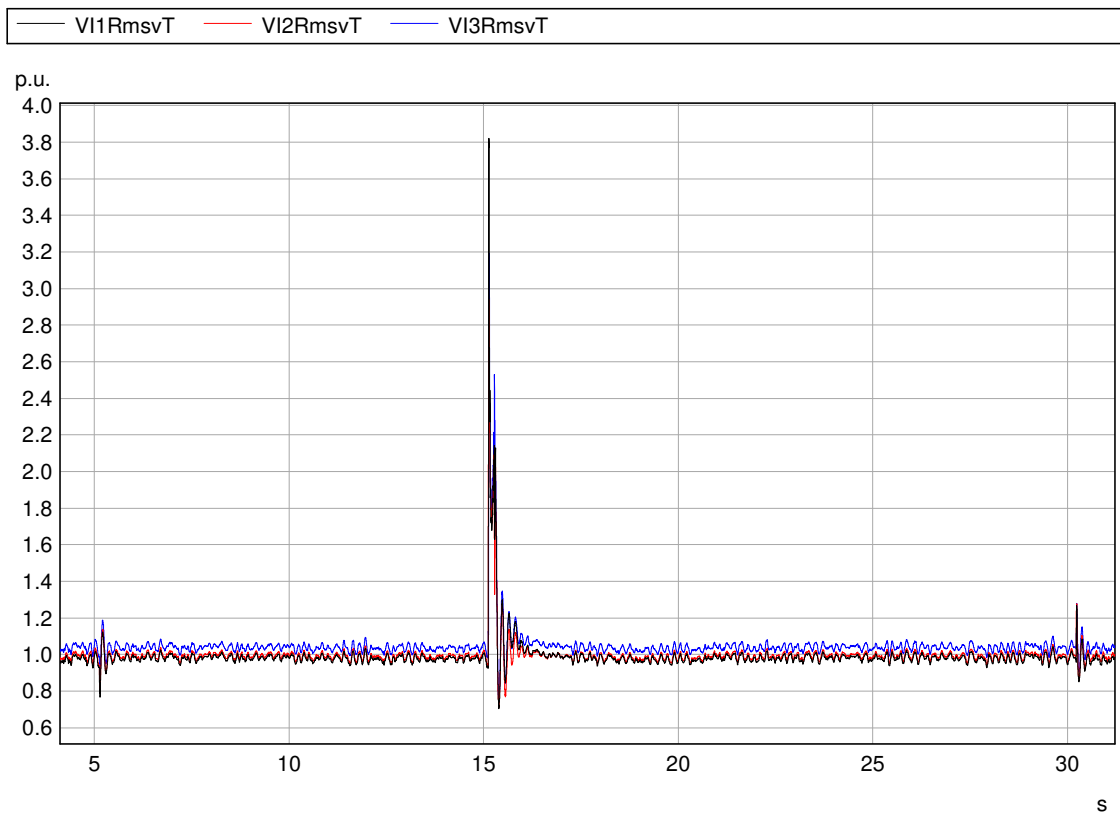


Abb. 137: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

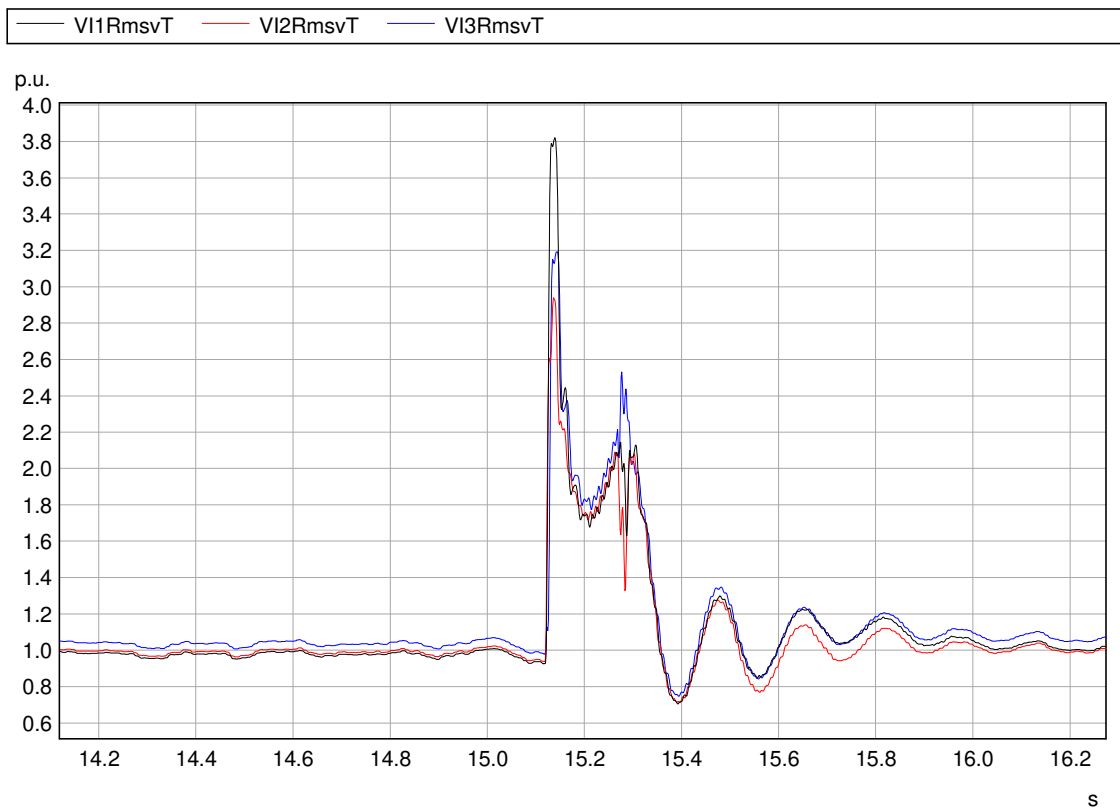


Abb. 138: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

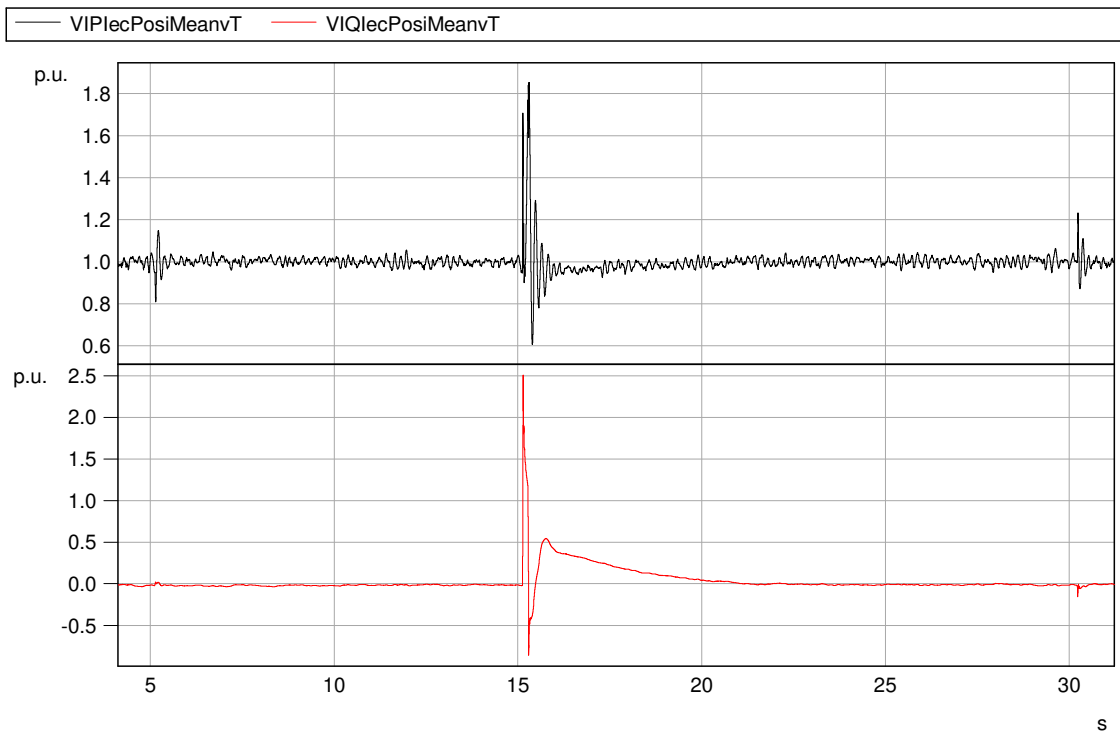


Abb. 139: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

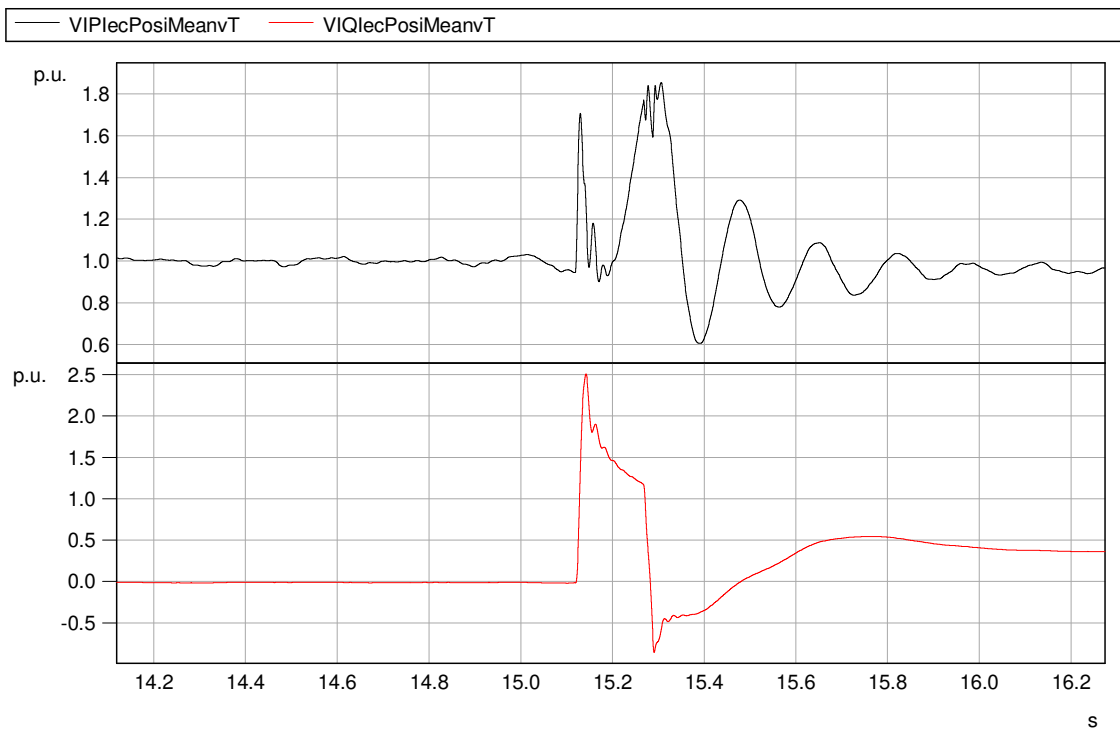


Abb. 140: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

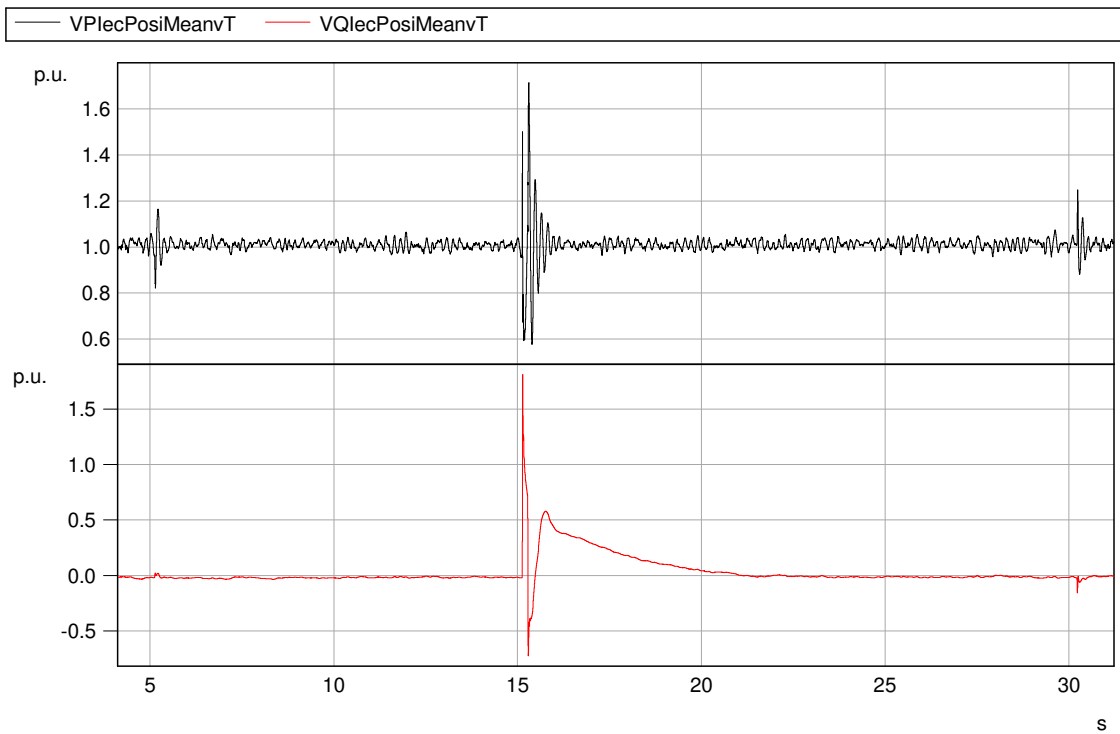


Abb. 141: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

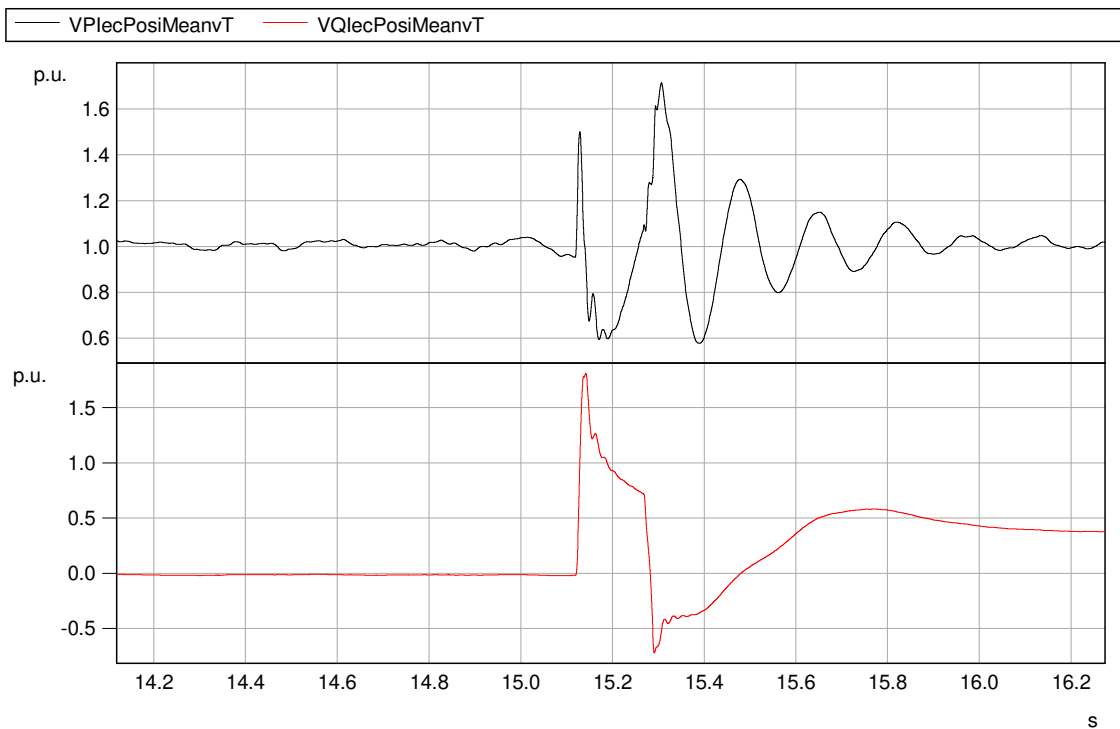


Abb. 142: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

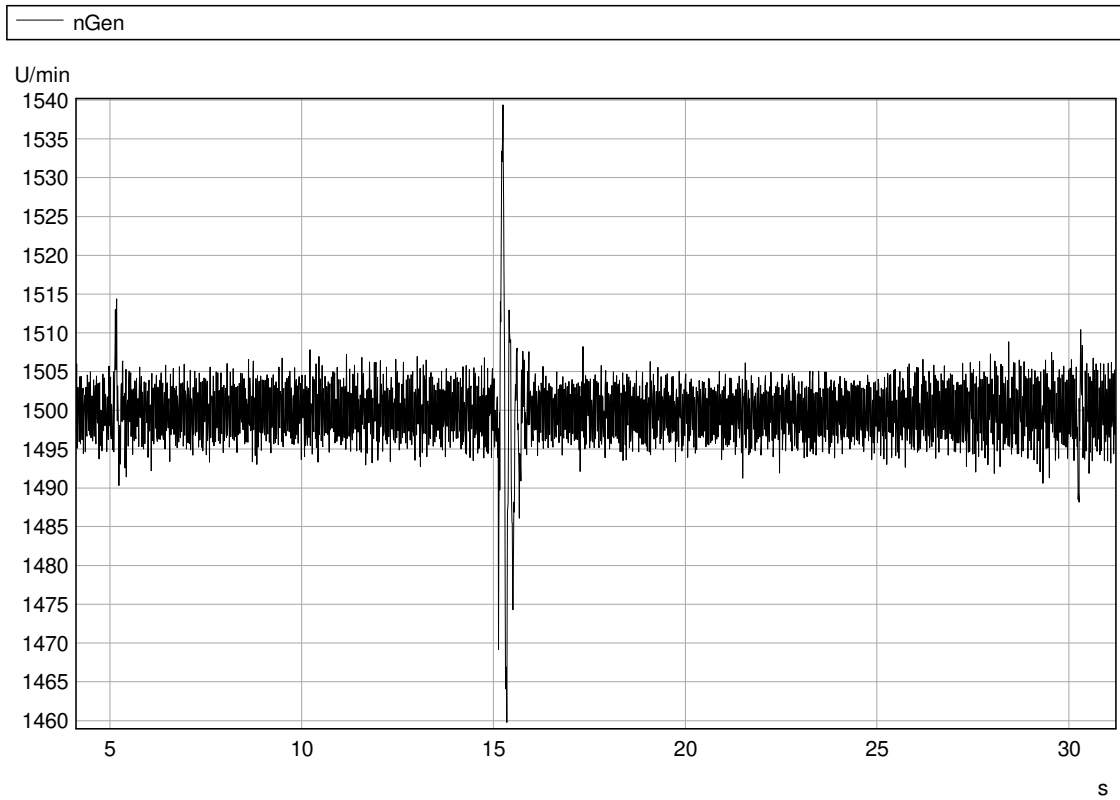


Abb. 143: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

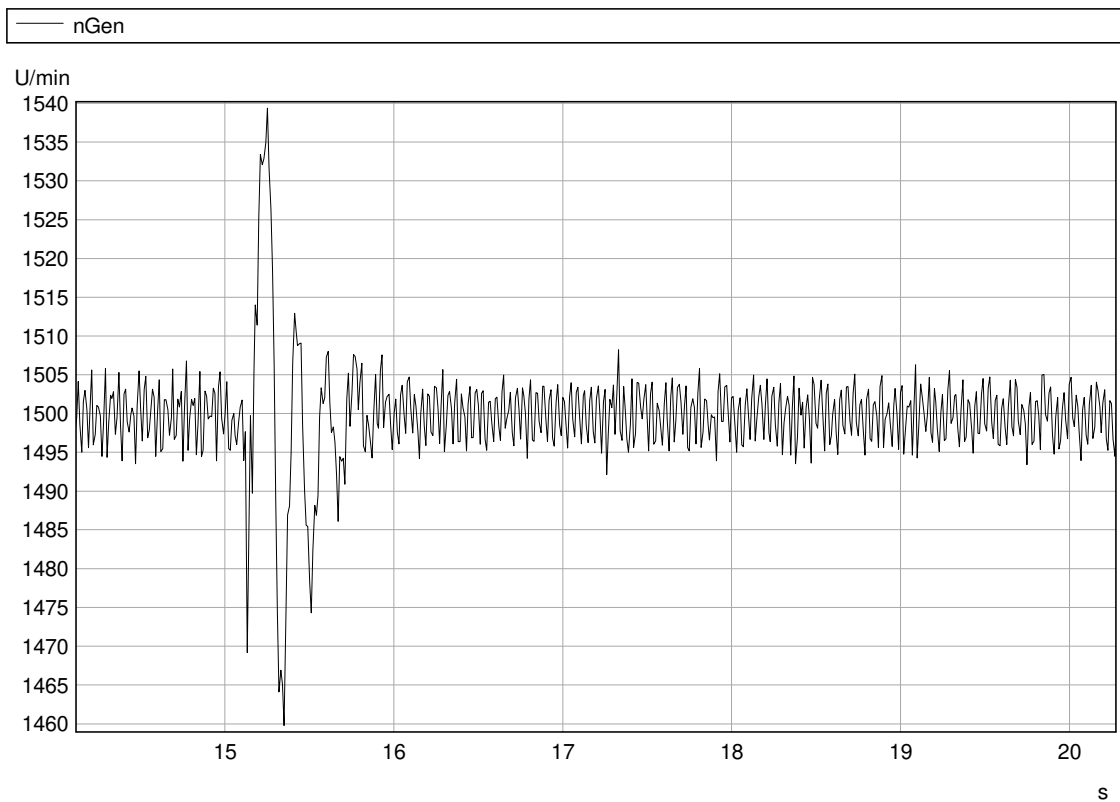


Abb. 144: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.12 Test Nr. 2.2.0 Leerversuch

Tab. 77: Versuch Nr. 2.2.0

Messdatensatz	2016-08-23 12-22-39
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	155 ms

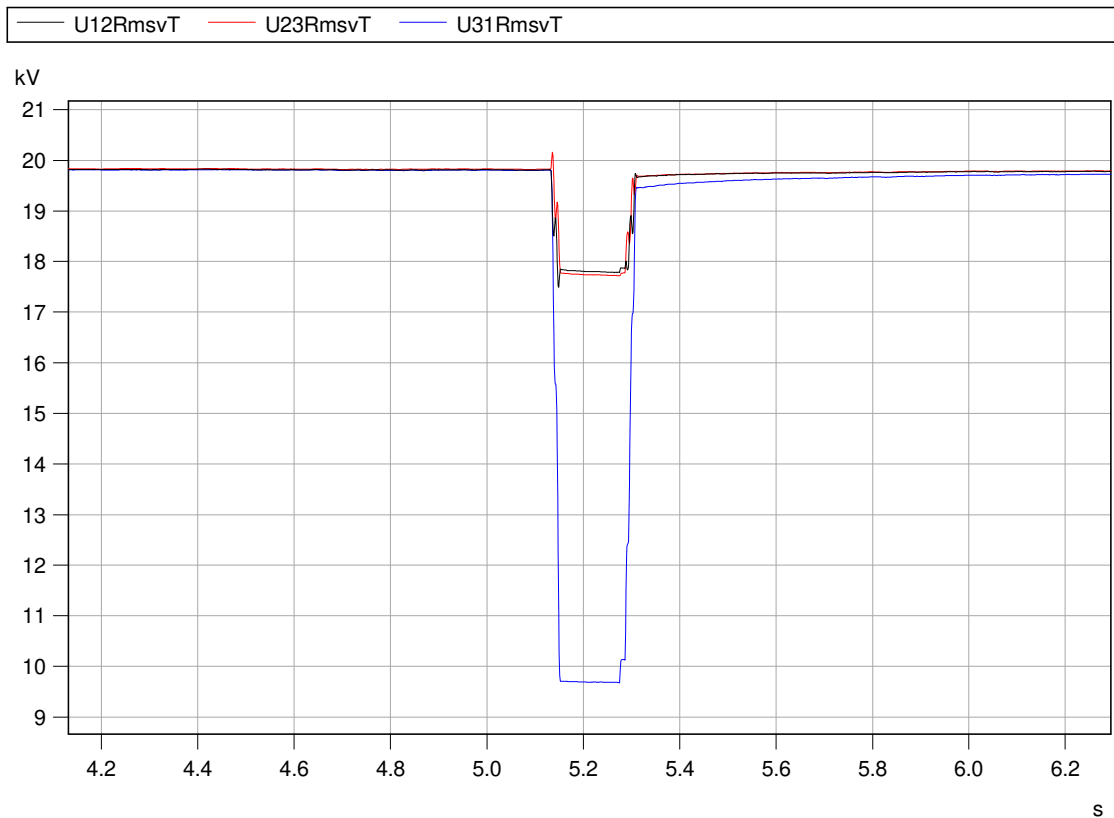


Abb. 145: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

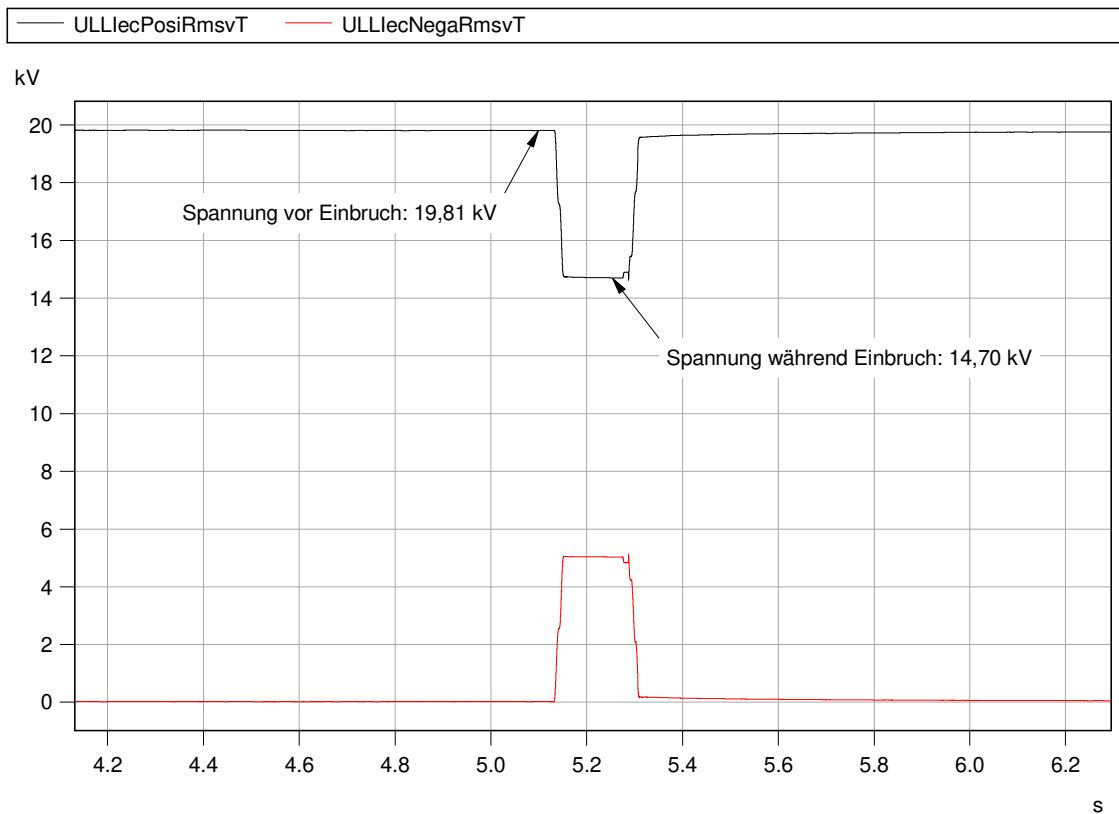


Abb. 146: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 78: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	19,81 kV
Spannung während Spannungseinbruch	14,70 kV
Ermittelte Restspannung	74,20 %



4.6.13 Test Nr. 2.2.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 79: Versuchstabelle Lvrt Test Nr.: 2.2.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		2.2.1	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		15:49:04	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,49	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.064,99	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.067,71	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.225,19	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.173,02	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		157,48	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,82
16		Mitsystem		0,81		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,52	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,52	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,01	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,49	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,02	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,51	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,49	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,50	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,02	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,999	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,81	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,83	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,48	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,49	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,55	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-3,07	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-3,24	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	6,41	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,10	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,17	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,09	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,68	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,81	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	3,48	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	0,80	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,47	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	2,26	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,30	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,35	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,52	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,51	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,51	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,05	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,02	[p.u.]

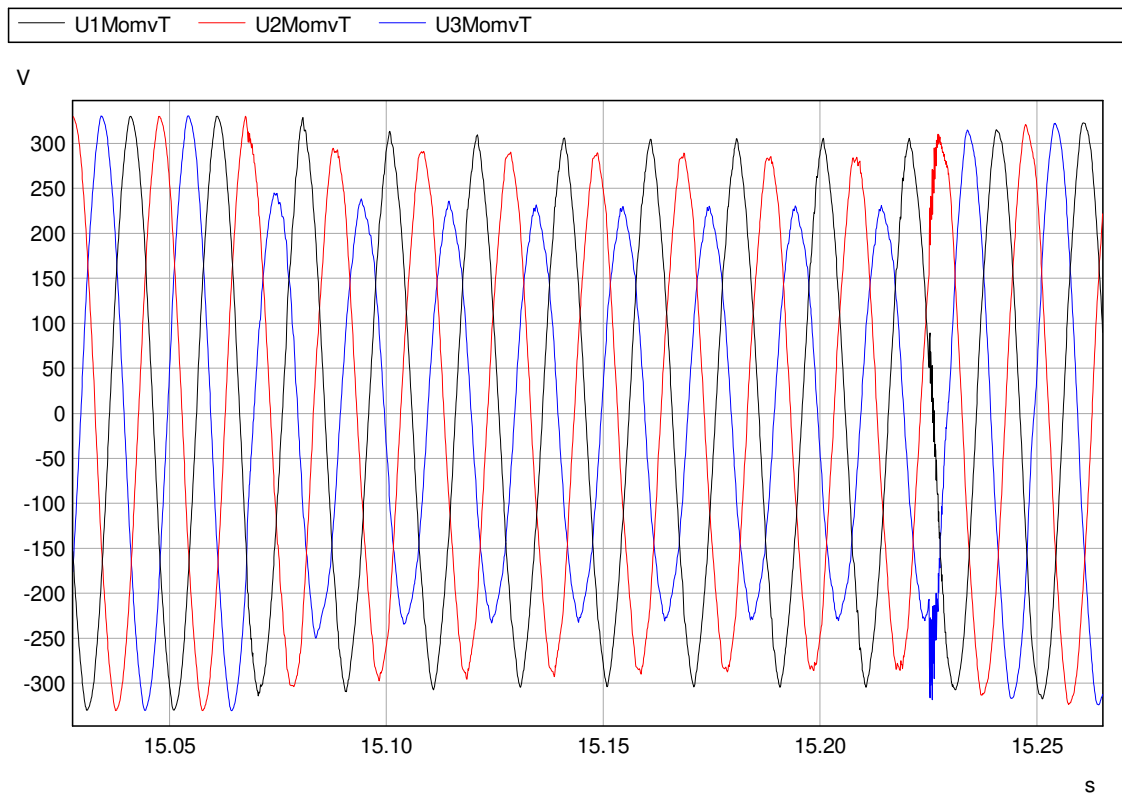


Abb. 147: Zeitverläufe der Spannungen

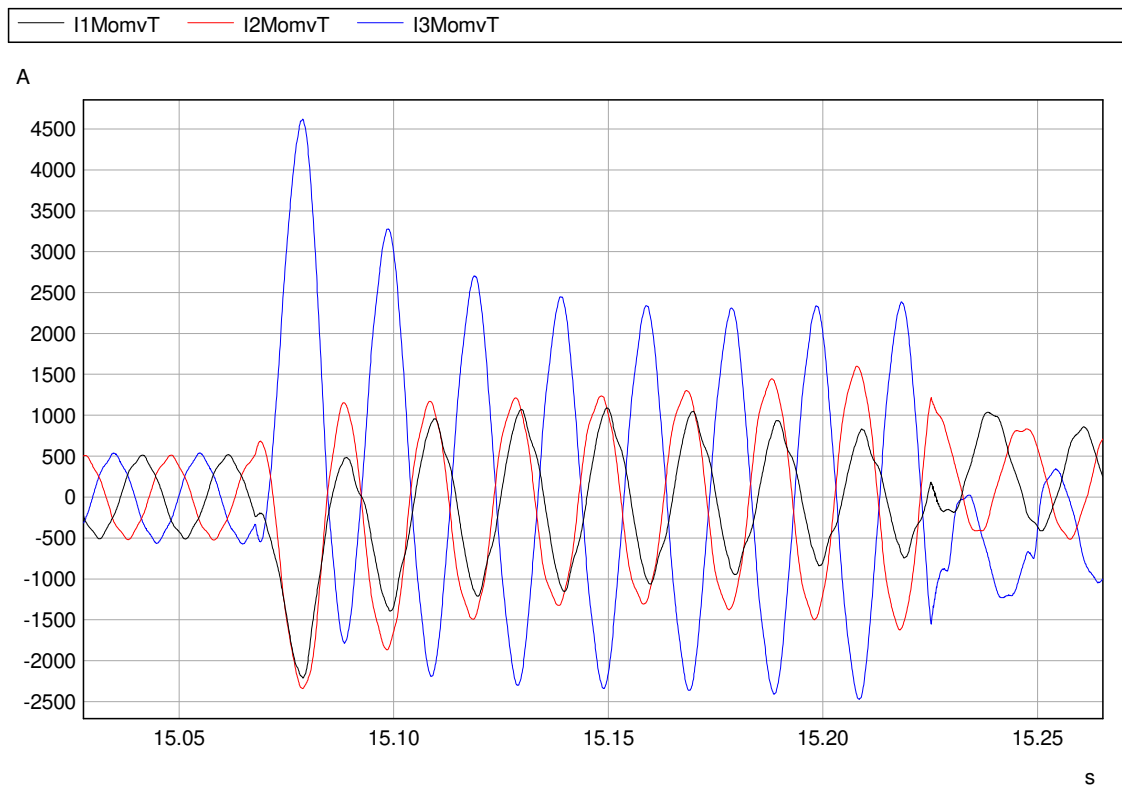


Abb. 148: Zeitverläufe der Ströme

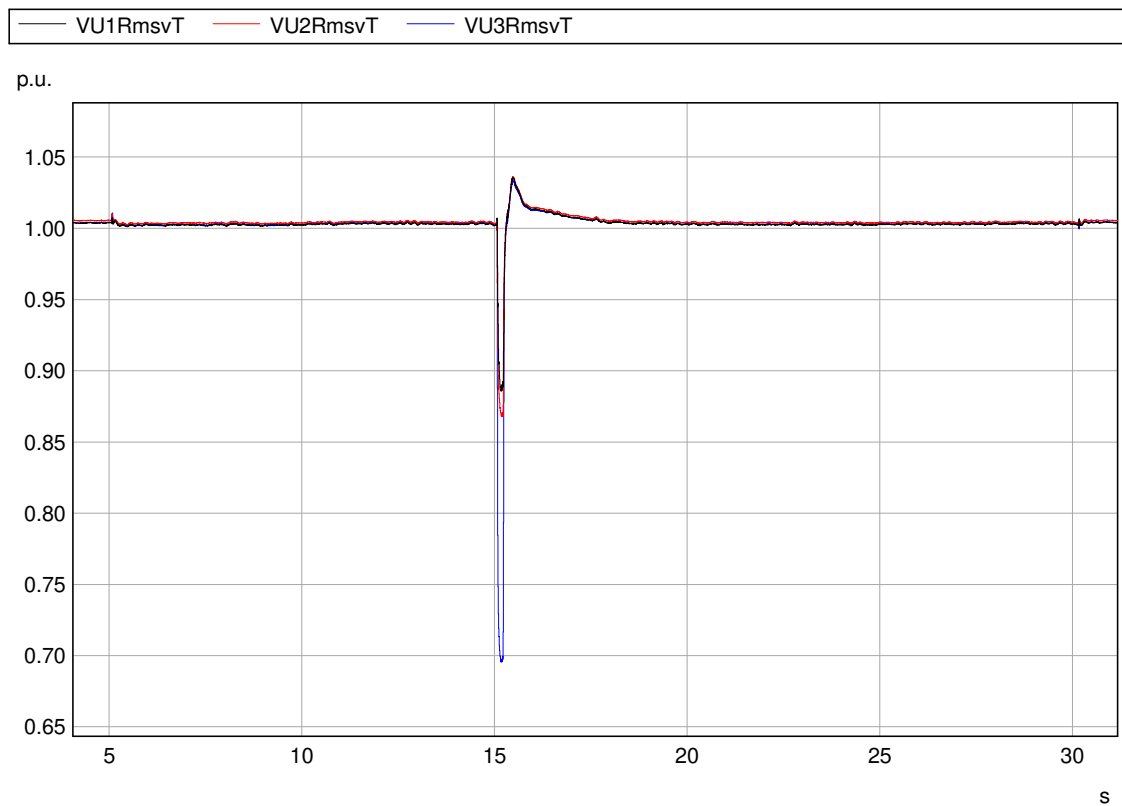


Abb. 149: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

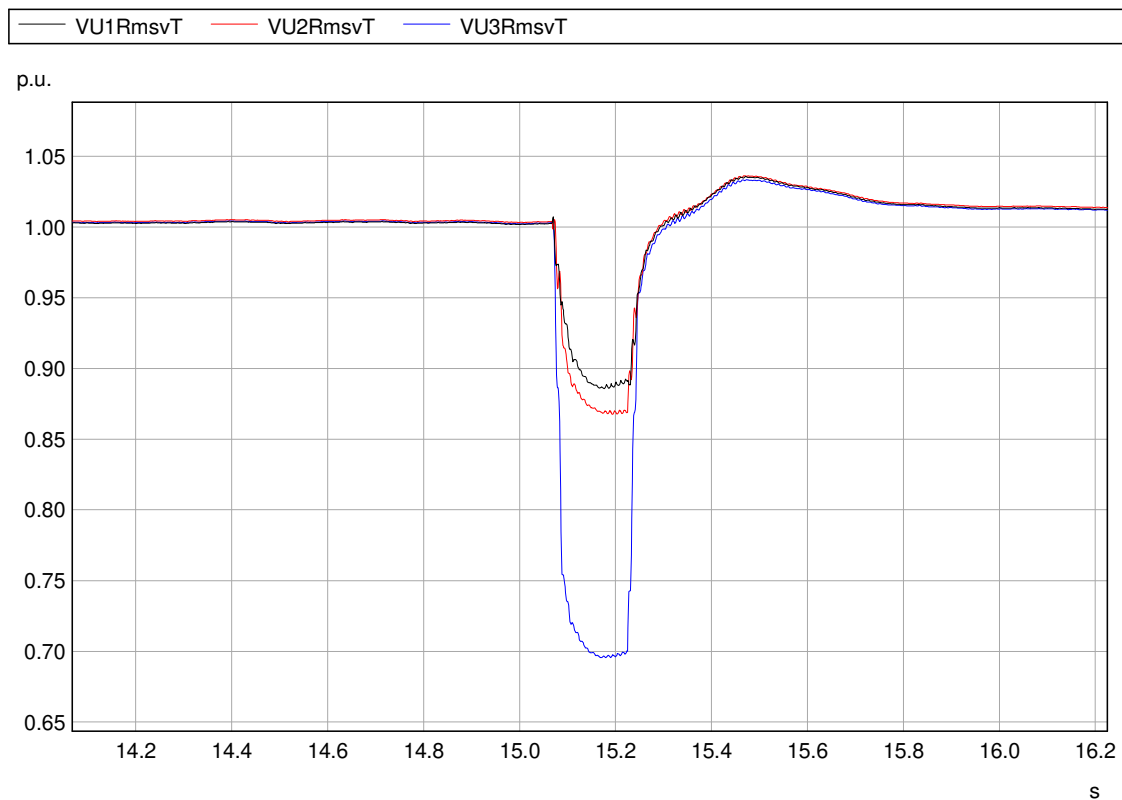


Abb. 150: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

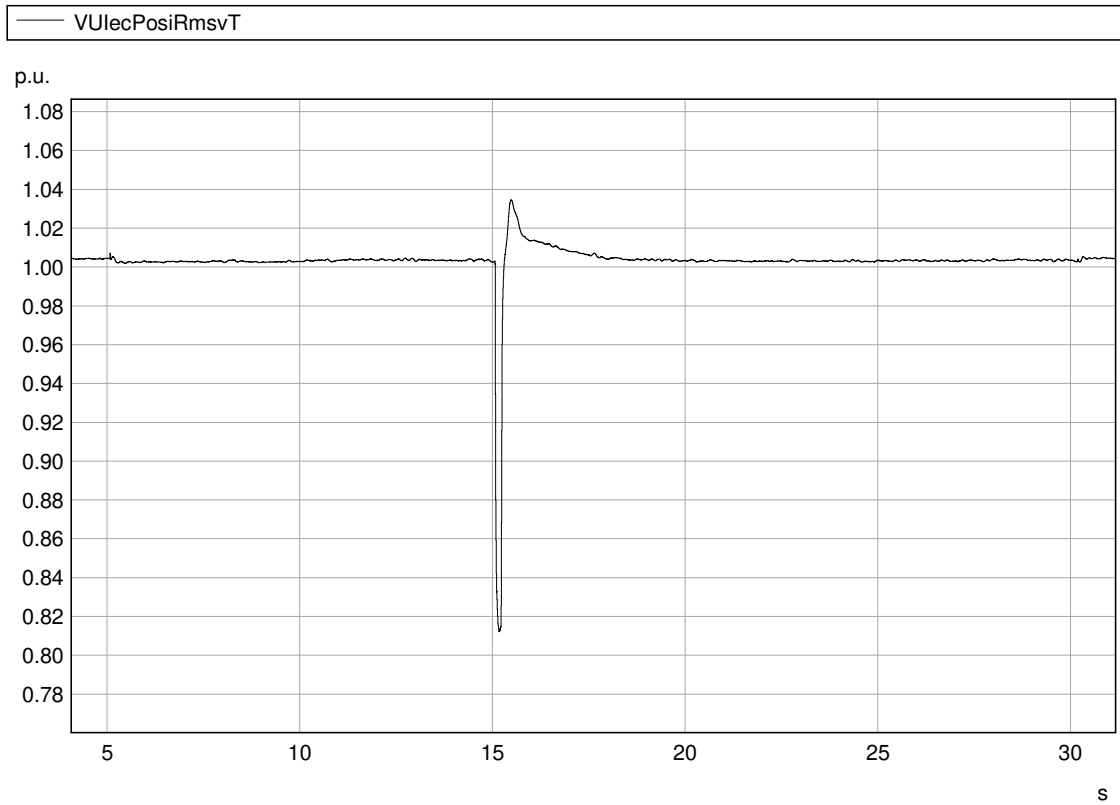


Abb. 151: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

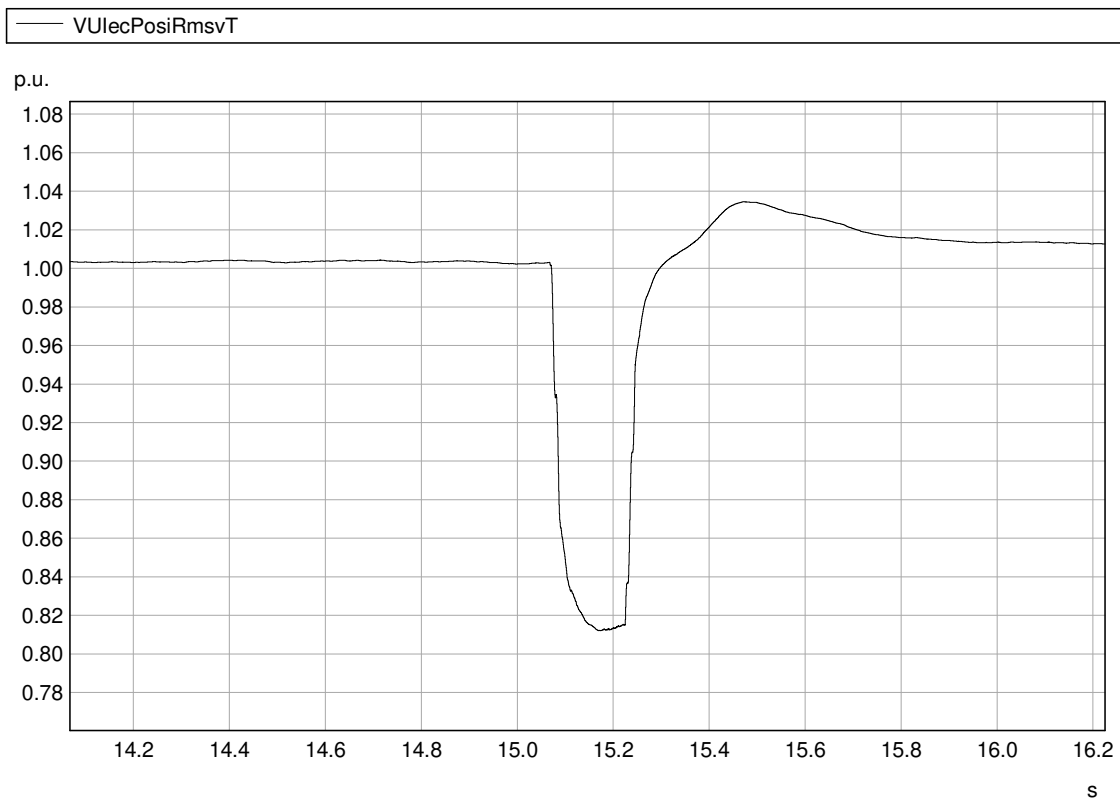


Abb. 152: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

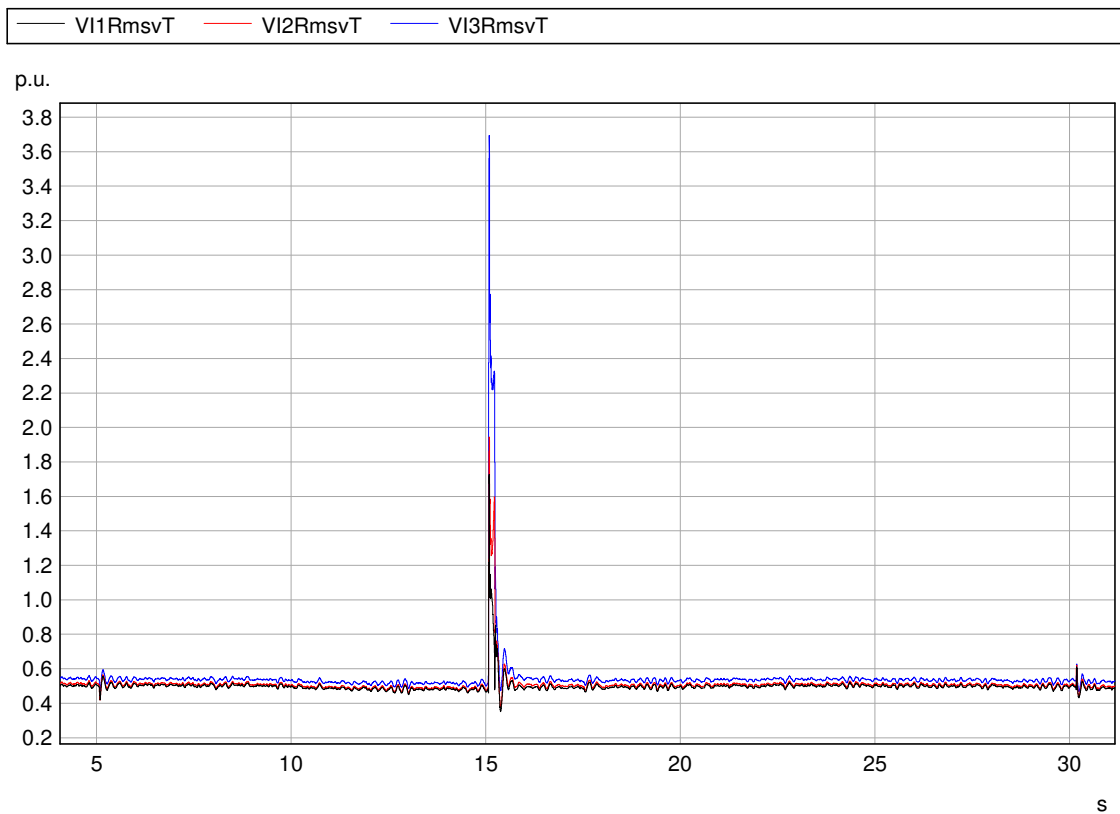


Abb. 153: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

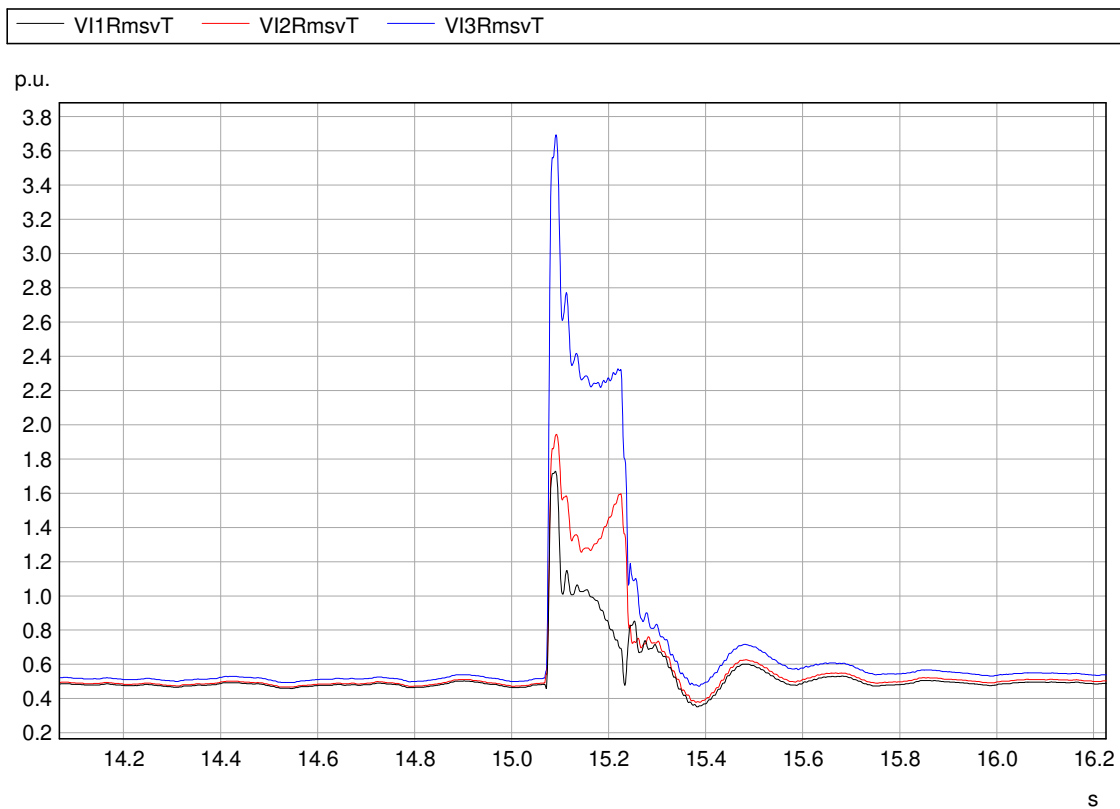


Abb. 154: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

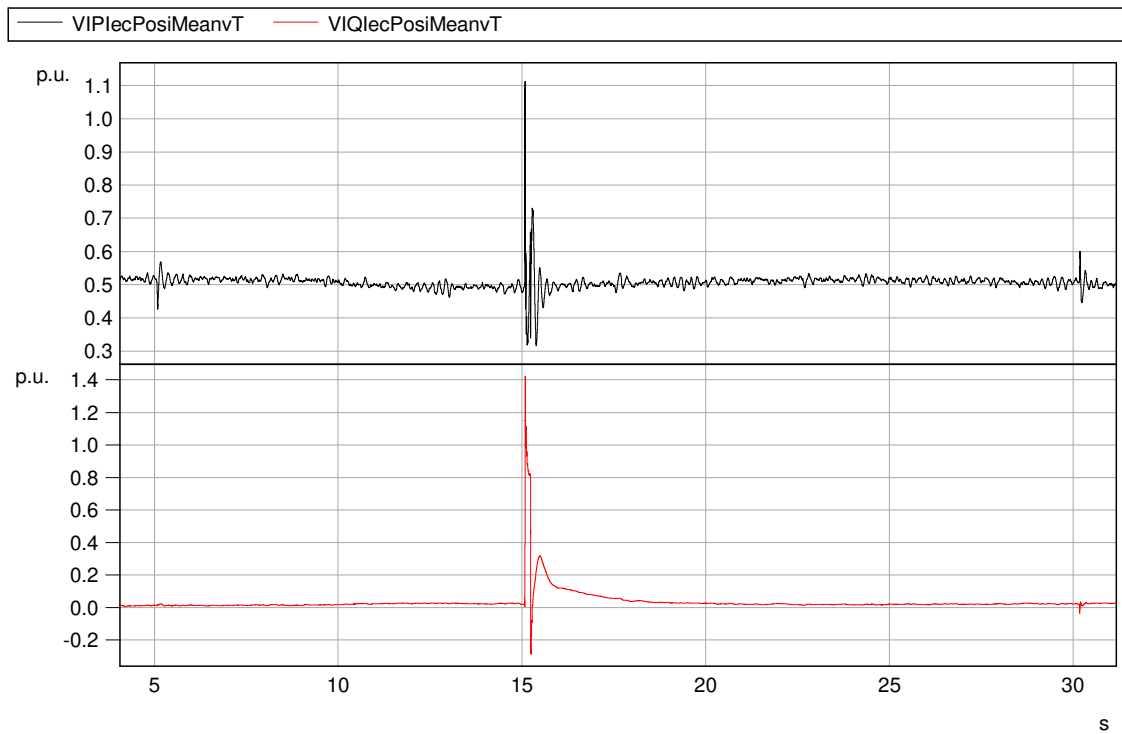


Abb. 155: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

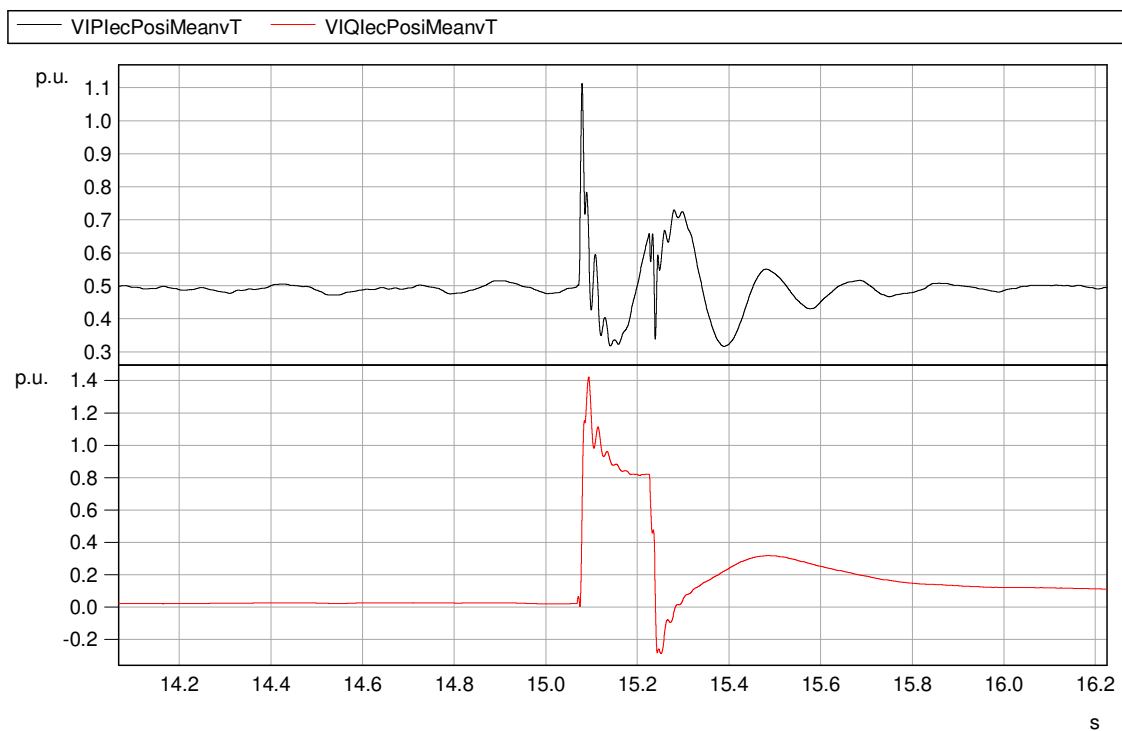


Abb. 156: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

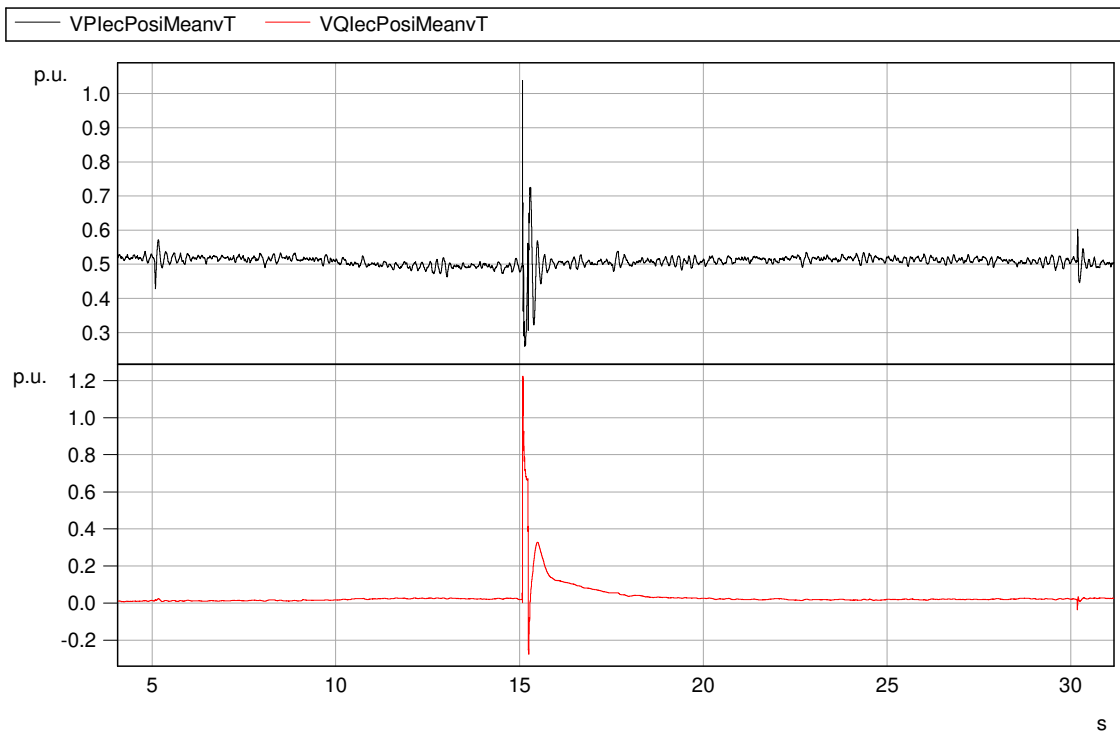


Abb. 157: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

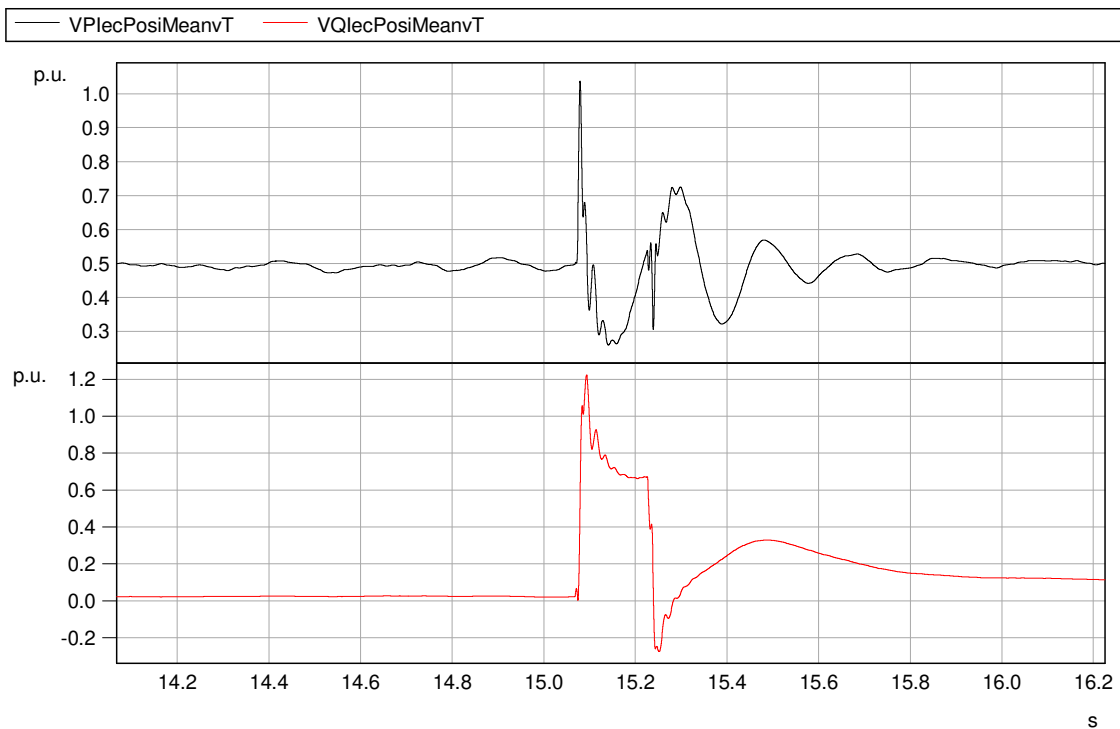


Abb. 158: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

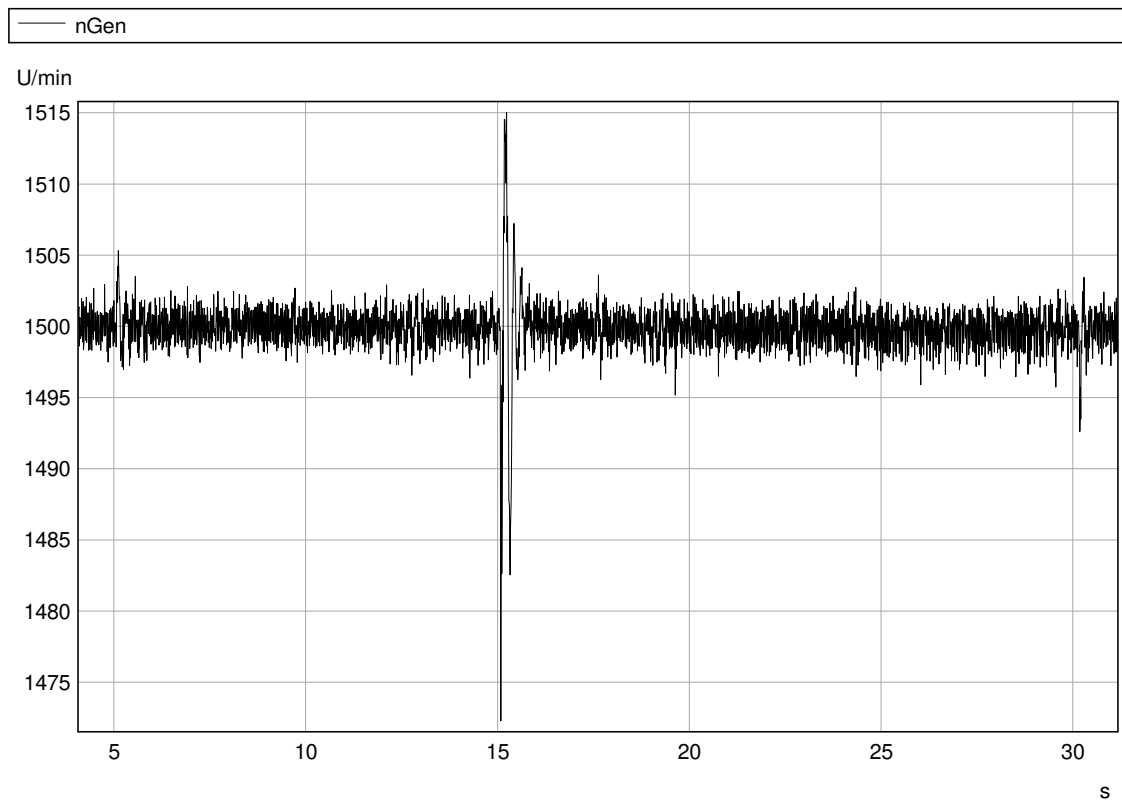


Abb. 159: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

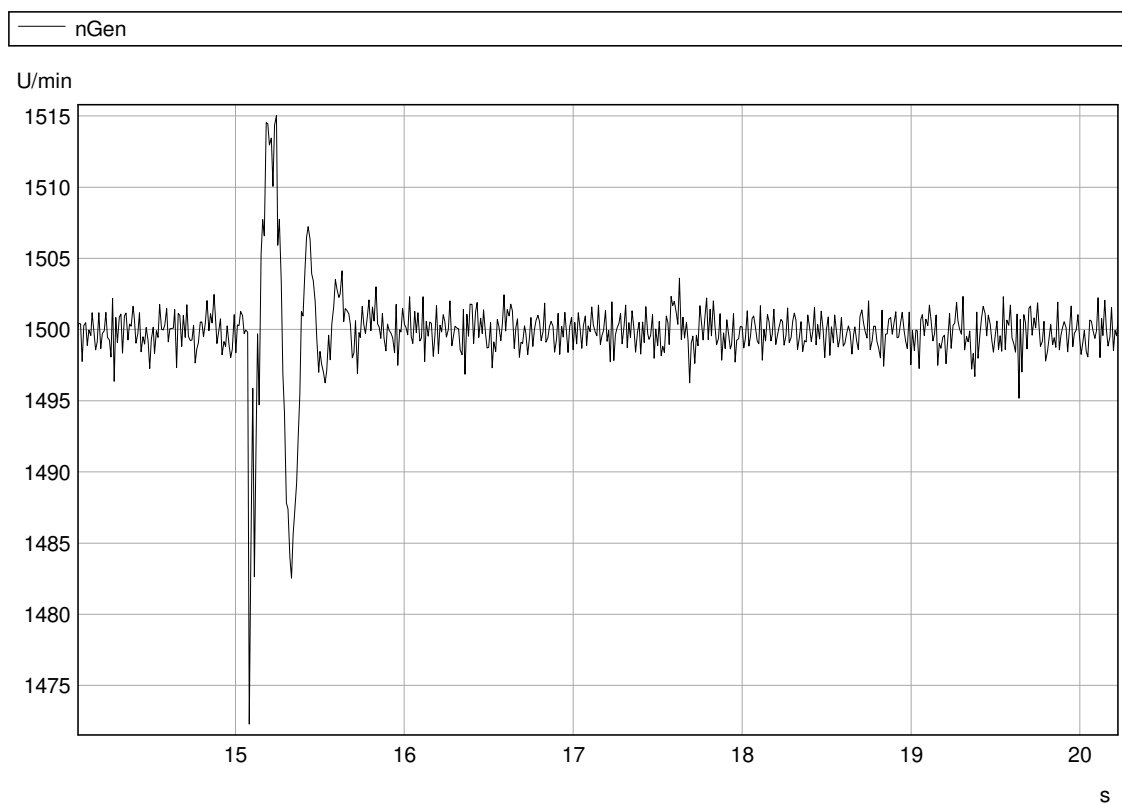


Abb. 160: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.14 Test Nr. 2.2.2

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 80: Versuchstabelle Lvrt Test Nr.: 2.2.2

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		2.2.2	[-]
	1	Datum	-		24.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		17:09:49	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,49	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		155	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		51,67	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,87	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.086,07	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.086,98	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.243,70	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.190,97	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		156,72	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,82
16		Mitsystem		0,82		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,99	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,02	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,03	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,02	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,04	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,82	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,79	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,99	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	1,03	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,05	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	2,66	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	4,10	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-6,92	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,39	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,69	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,61	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,69	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	2,33	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	3,90	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	0,30	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	2,27	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	2,64	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,90	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,96	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,99	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,02	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,05	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,01	[p.u.]

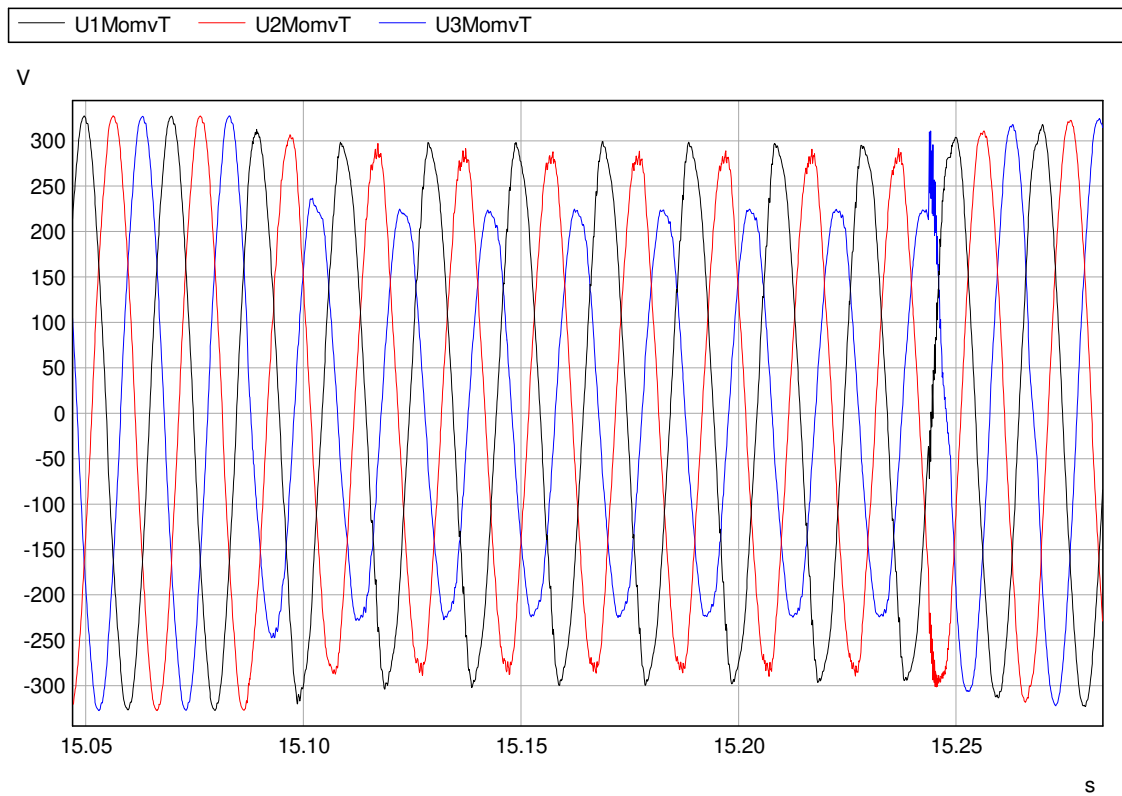


Abb. 161: Zeitverläufe der Spannungen

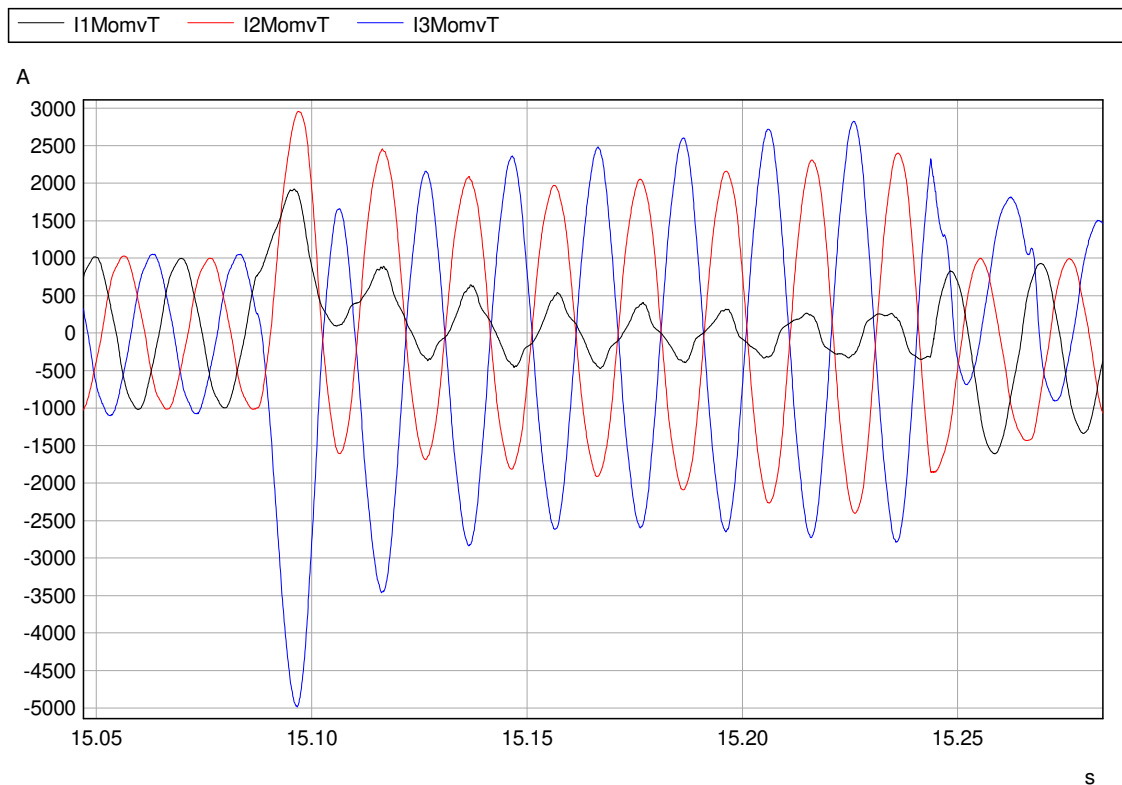


Abb. 162: Zeitverläufe der Ströme

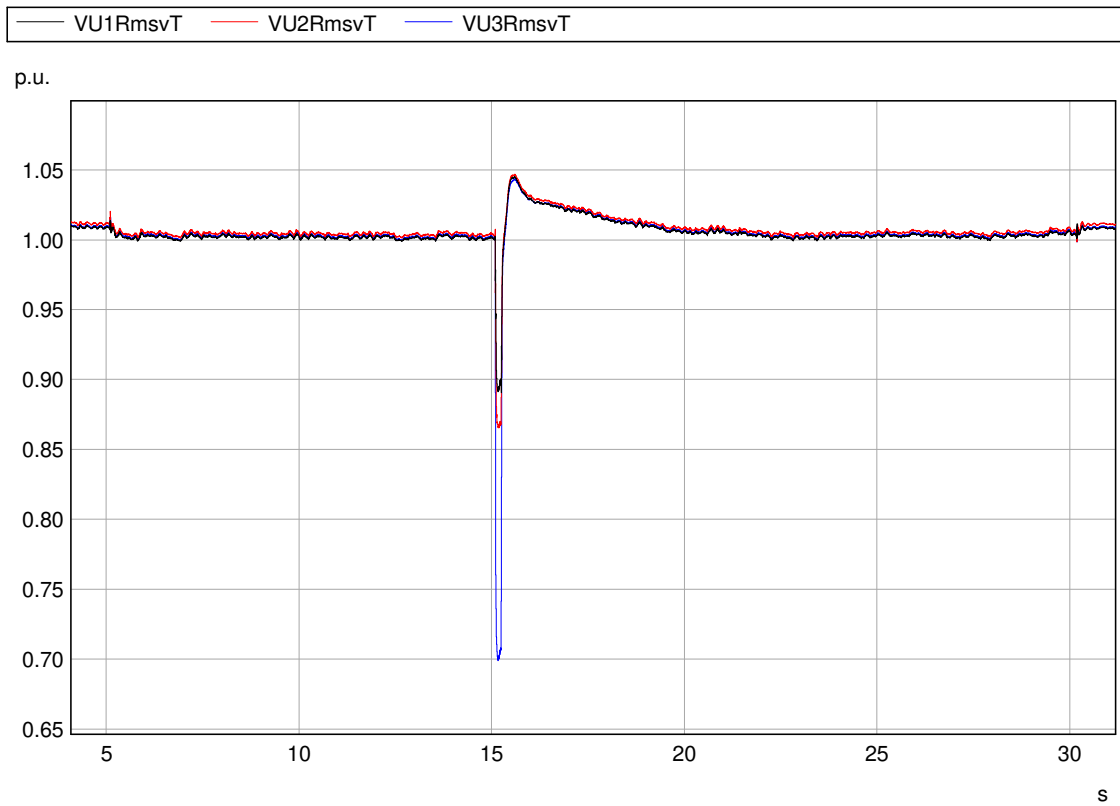


Abb. 163: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

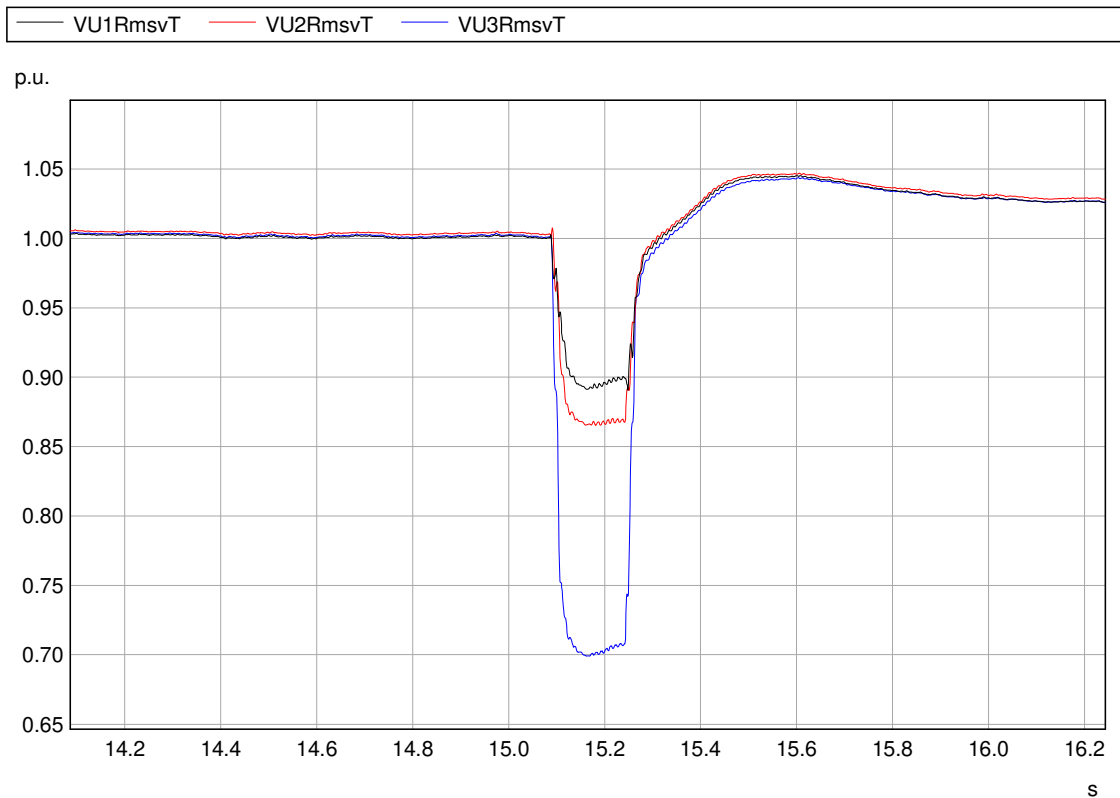


Abb. 164: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

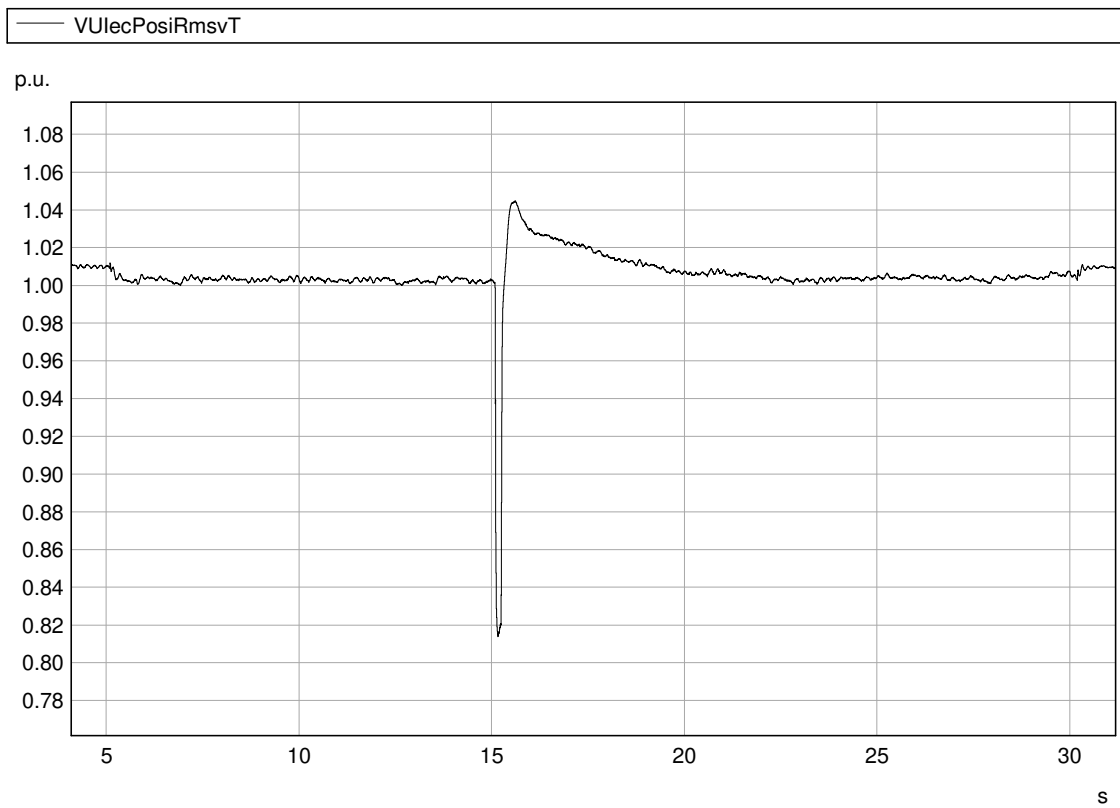


Abb. 165: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

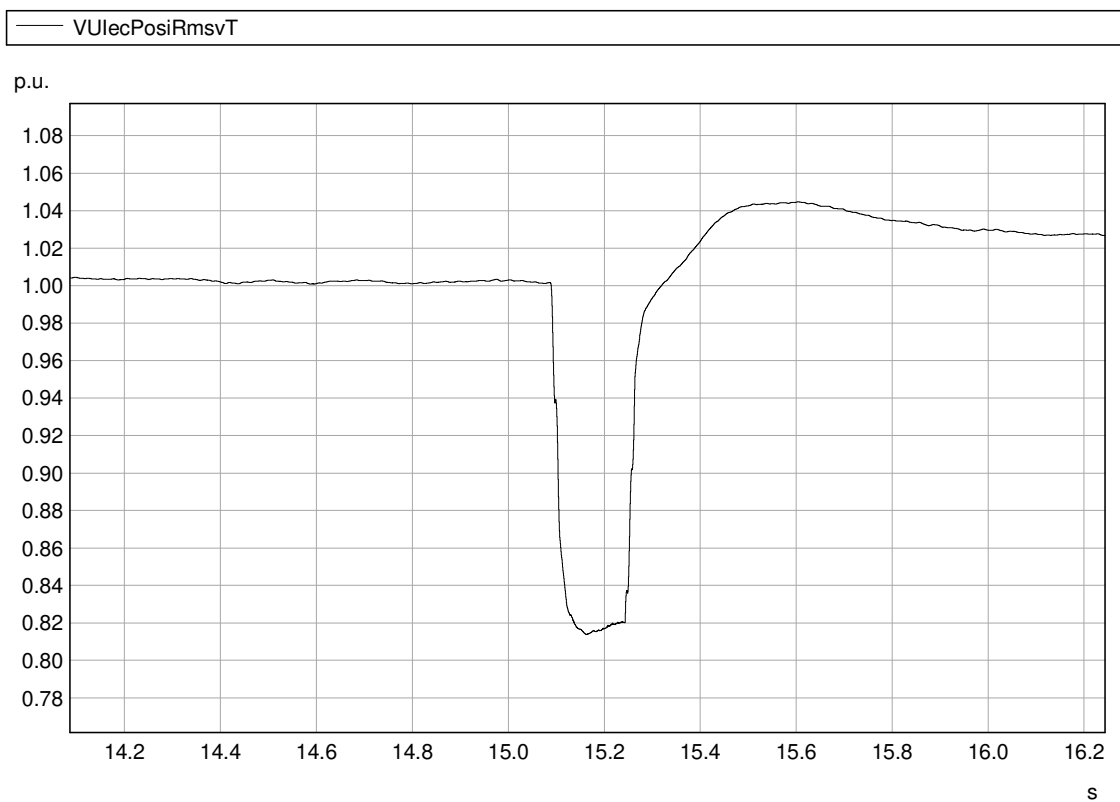


Abb. 166: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

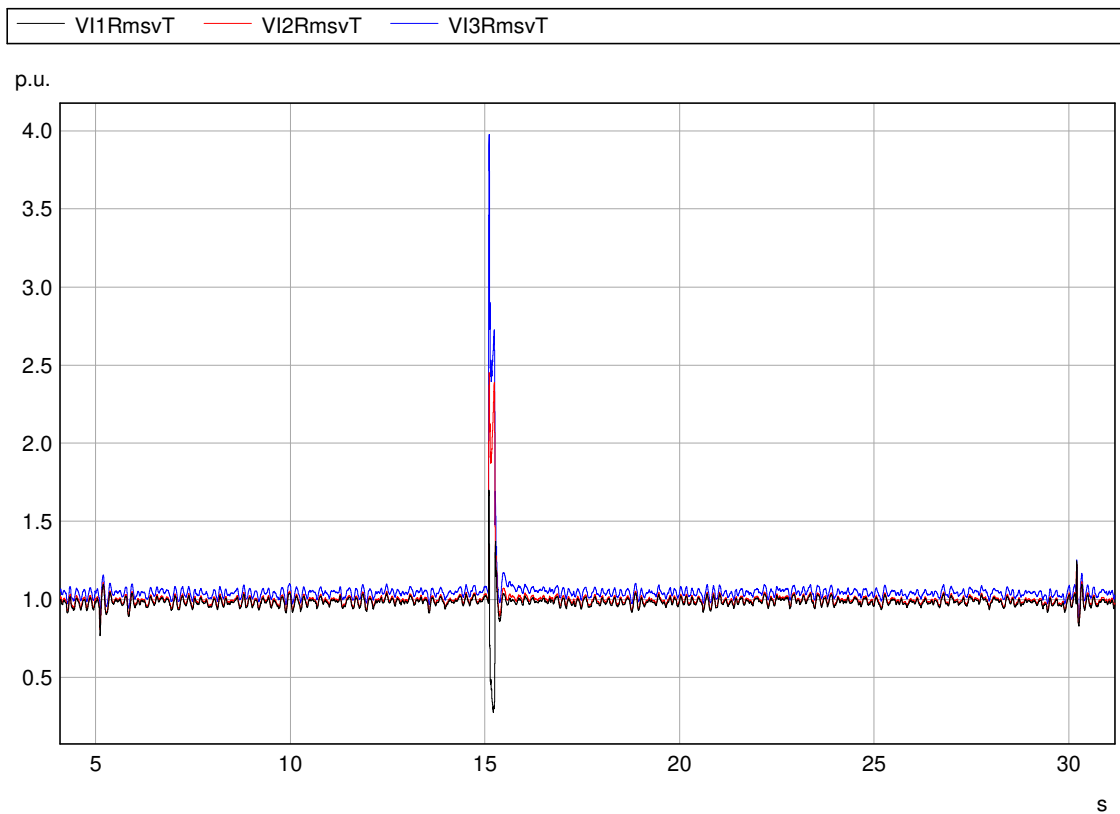


Abb. 167: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

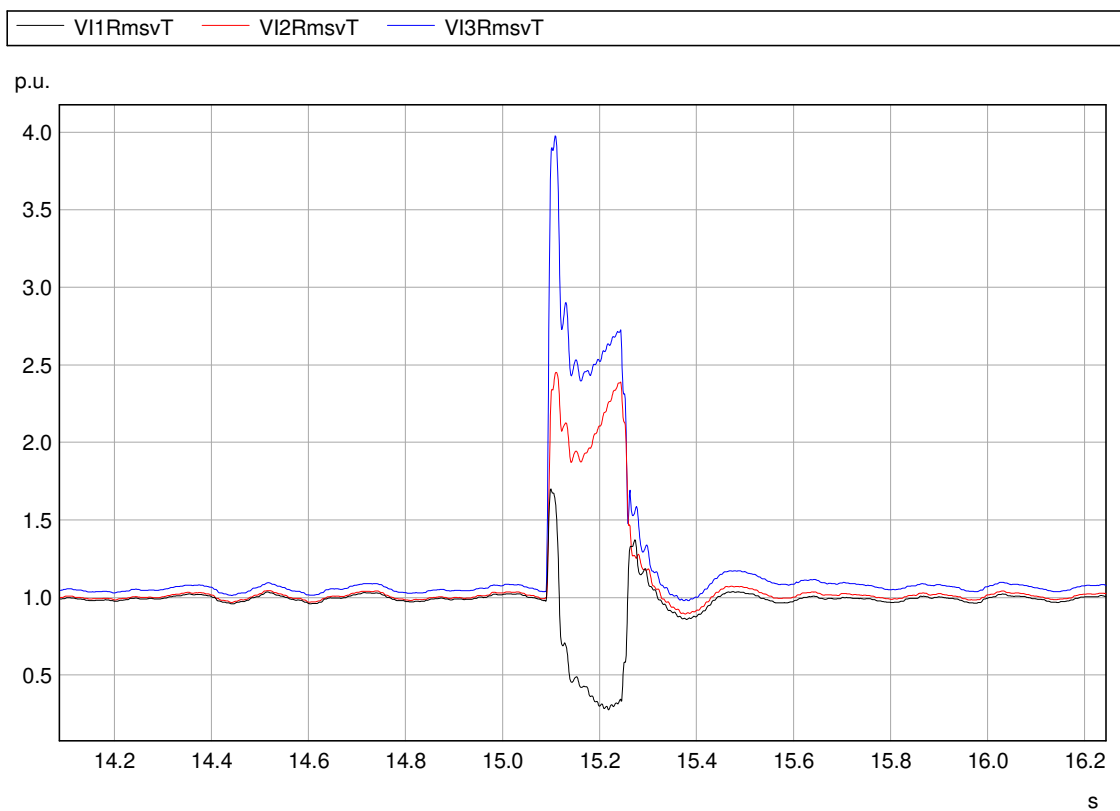


Abb. 168: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

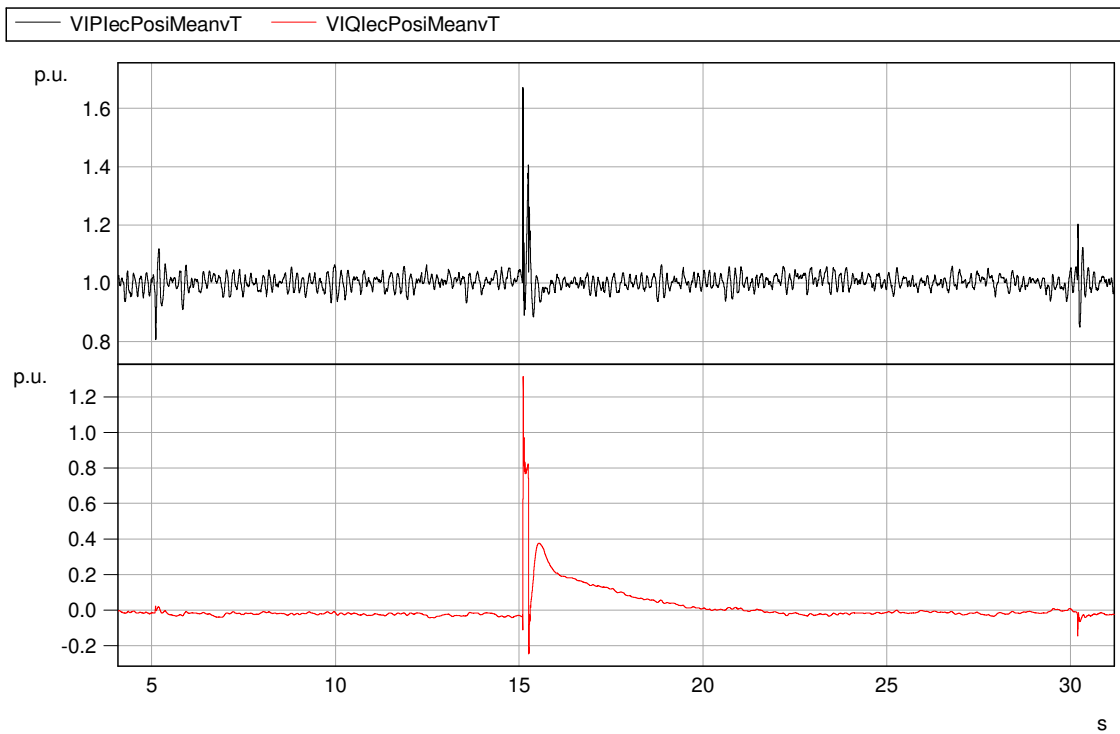


Abb. 169: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

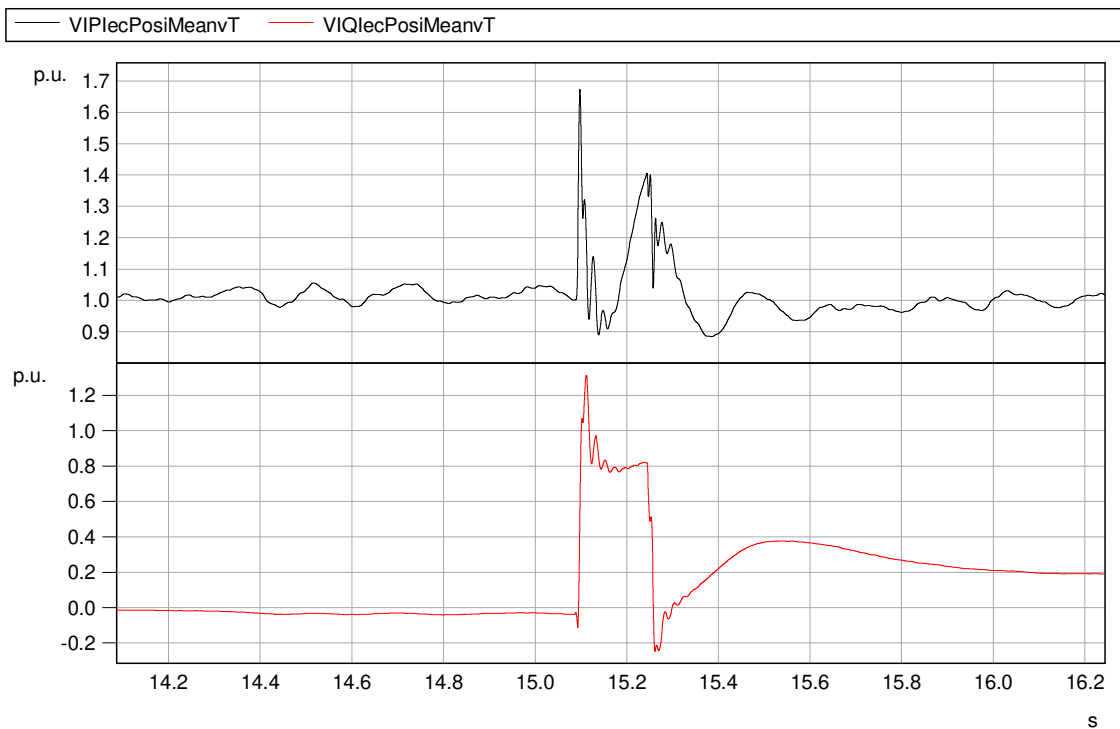


Abb. 170: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

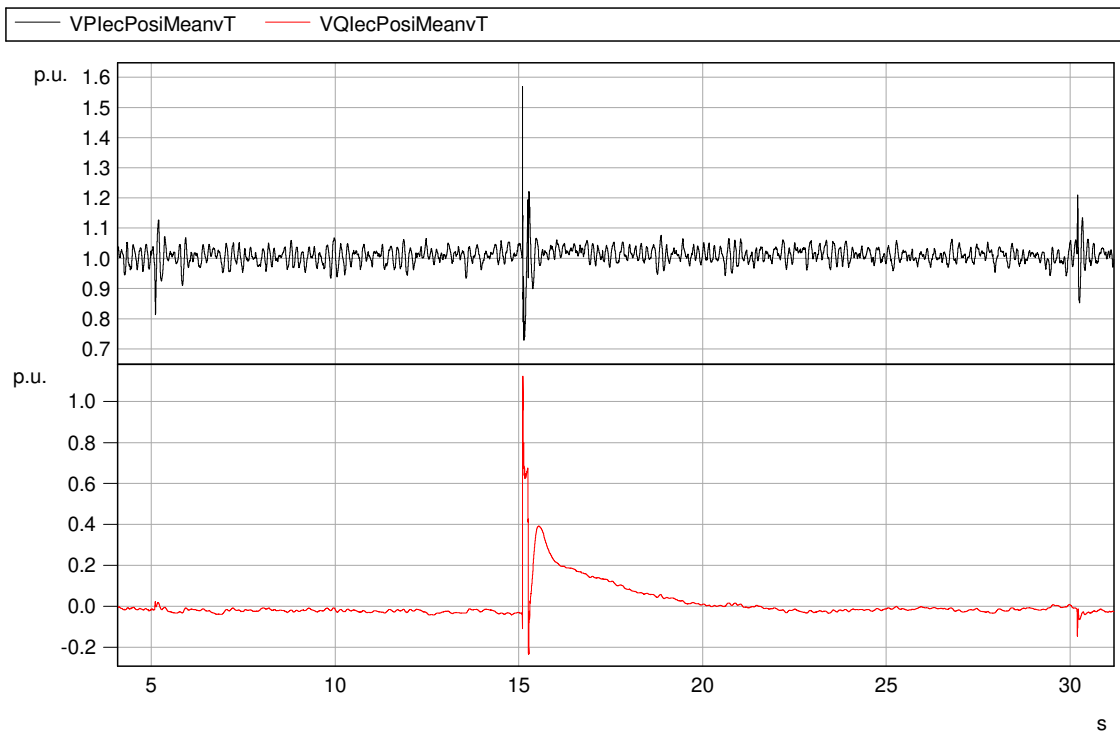


Abb. 171: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

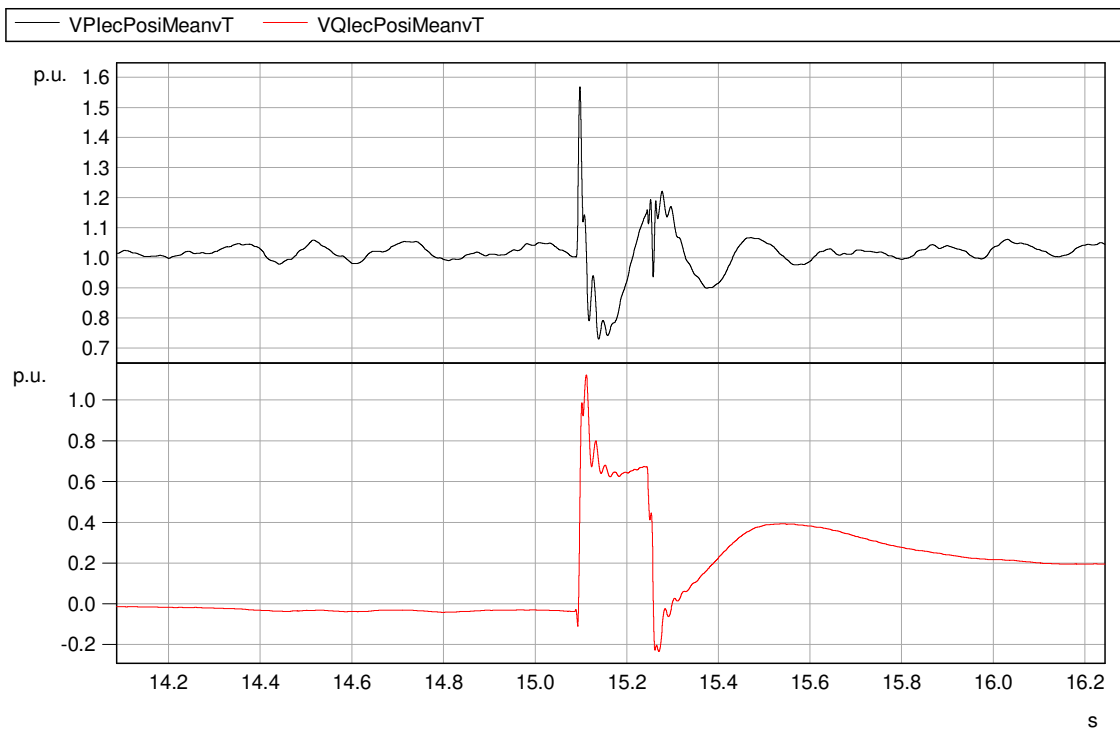


Abb. 172: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

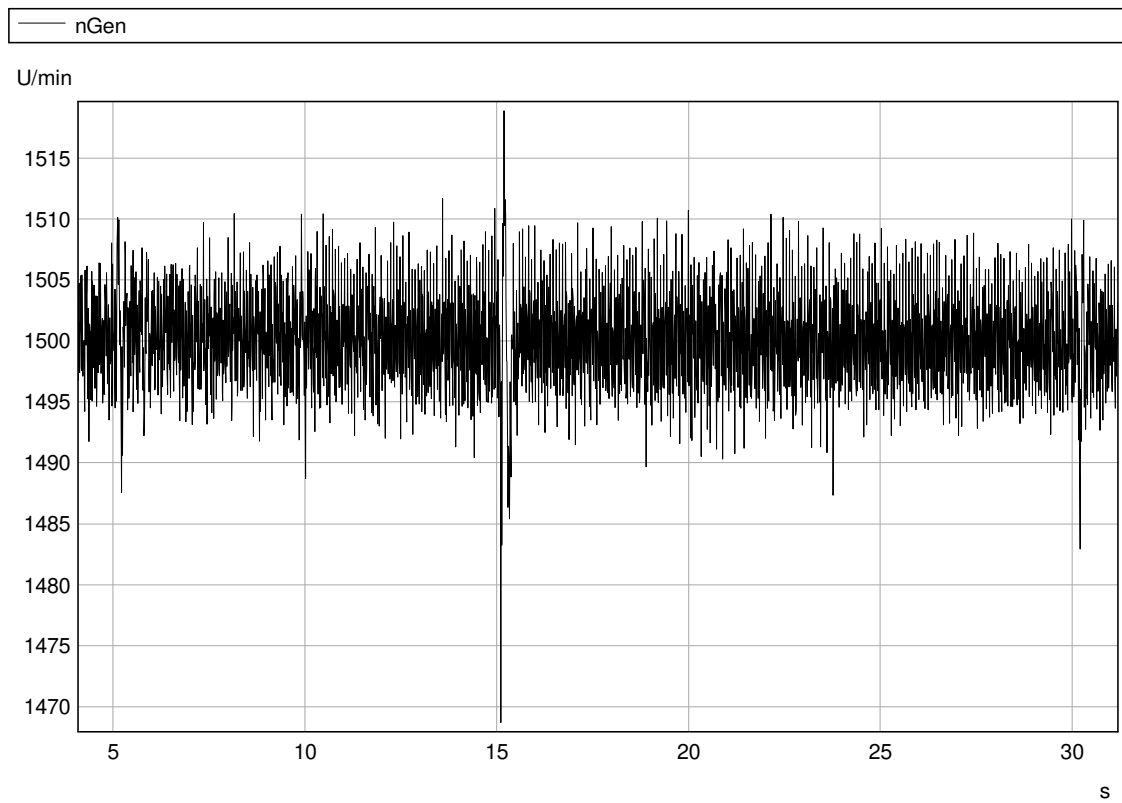


Abb. 173: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

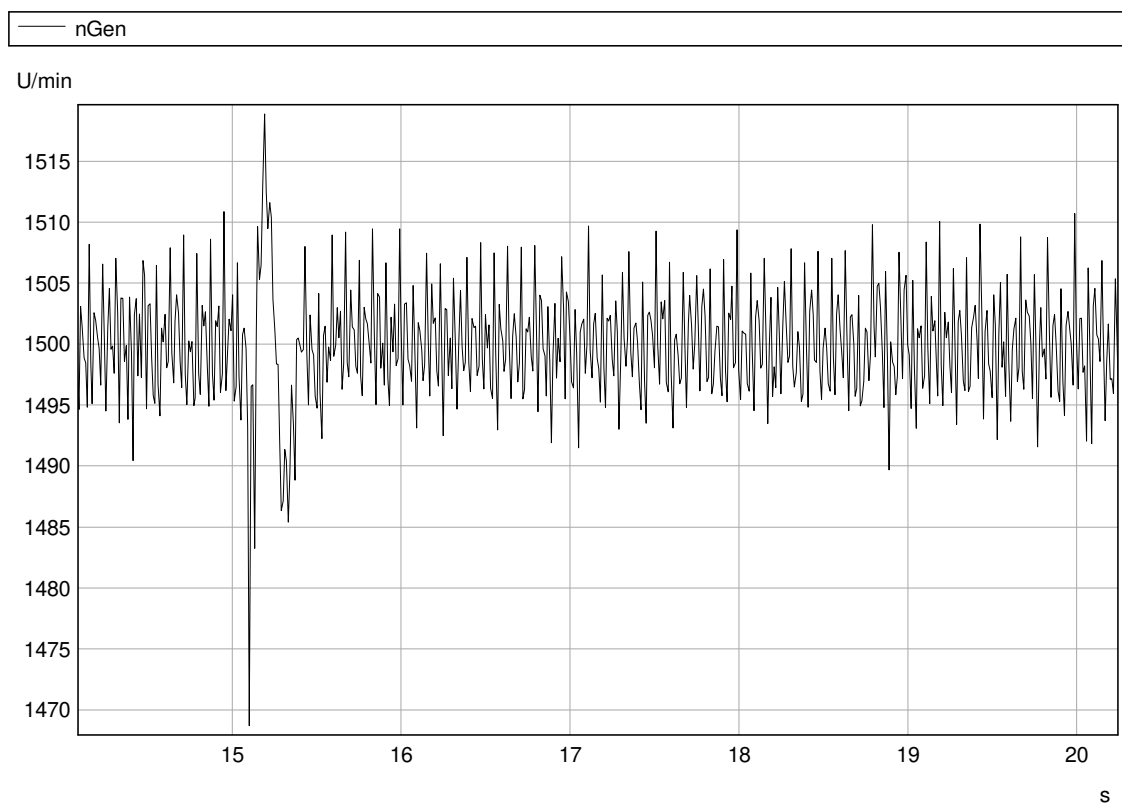


Abb. 174: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.15 Test Nr. 3.1.0 Leerversuch

Tab. 81: Versuch Nr. 3.1.0

Messdatensatz	2016-08-25 10-33-46
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	150 ms

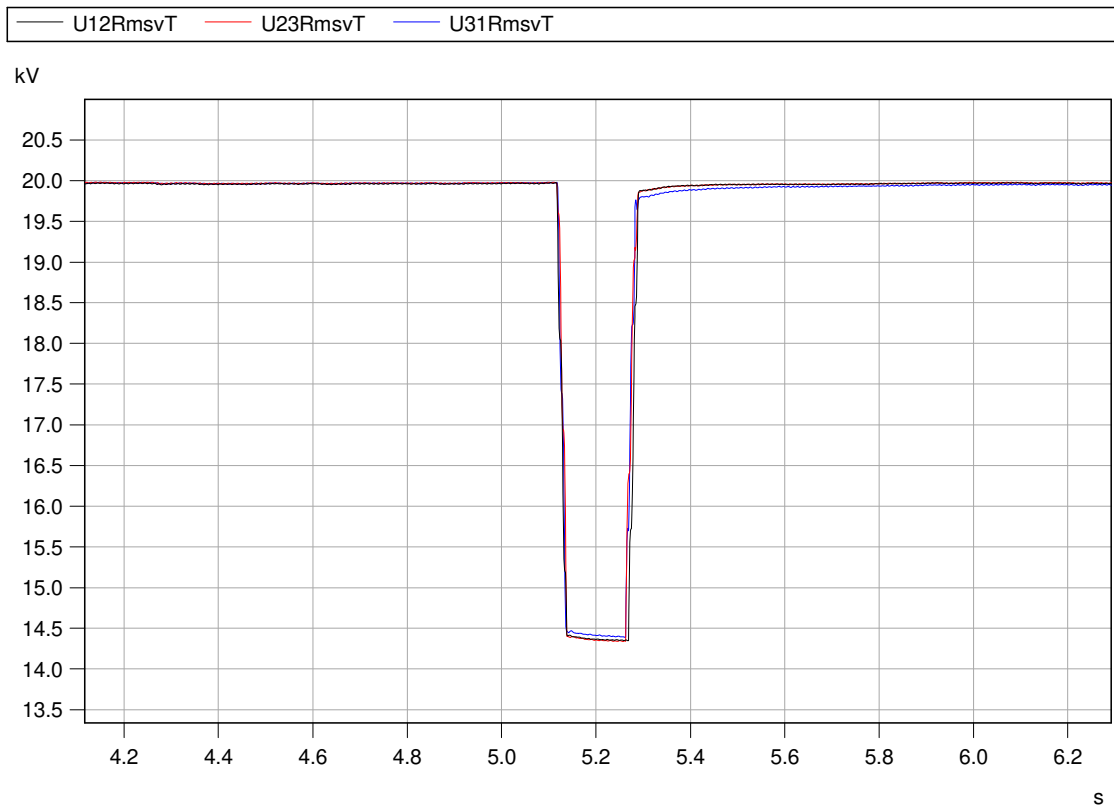


Abb. 175: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

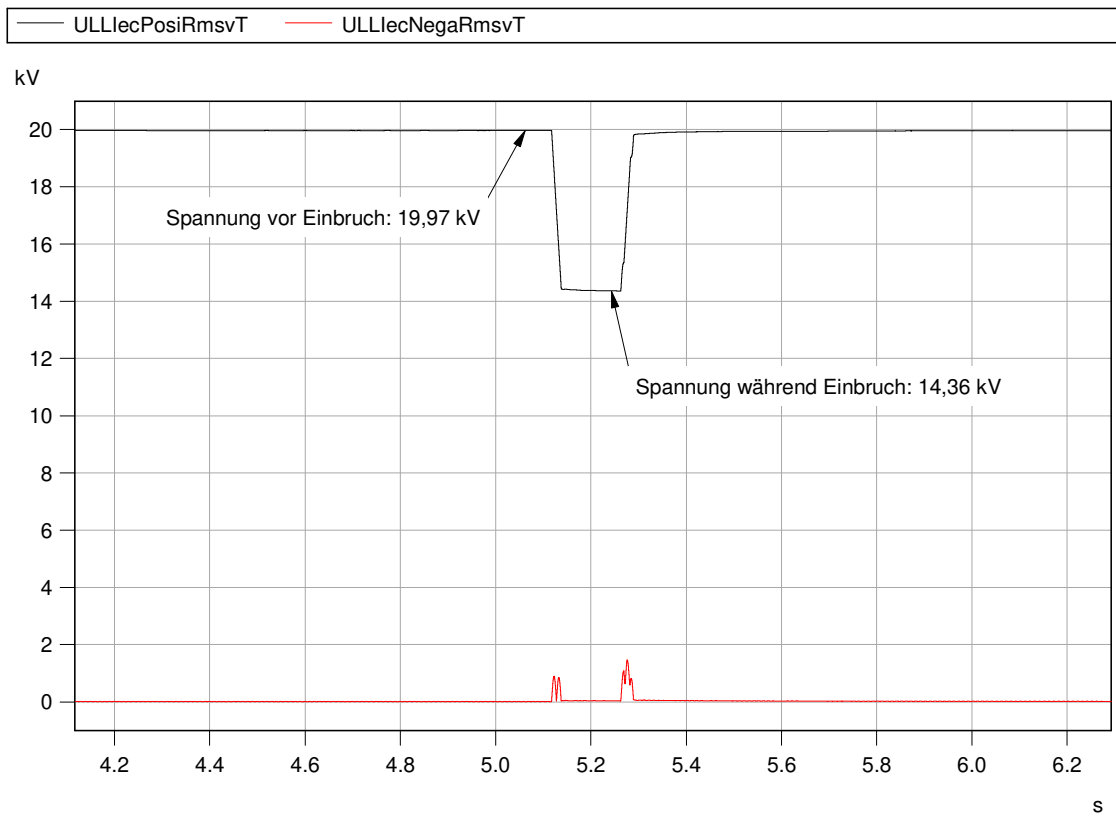


Abb. 176: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 82: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	19,97 kV
Spannung während Spannungseinbruch	14,36 kV
Ermittelte Restspannung	71,91 %



4.6.16 Test Nr. 3.1.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 83: Versuchstabelle Lvrt Test Nr.: 3.1.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.1.1	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		11:04:58	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.056,05	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.058,50	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.909,90	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.860,02	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		851,4	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,79
16		Mitsystem		0,79		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,02	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,01	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,50	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,50	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,01	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,999	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,79	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,89	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,50	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,50	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,54	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	3,07	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	3,19	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-4,06	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,39	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,07	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	1,58	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,72	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,66	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,32	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,21	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,22	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,28	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,50	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,50	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,51	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,50	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,51	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,20	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,02	[p.u.]

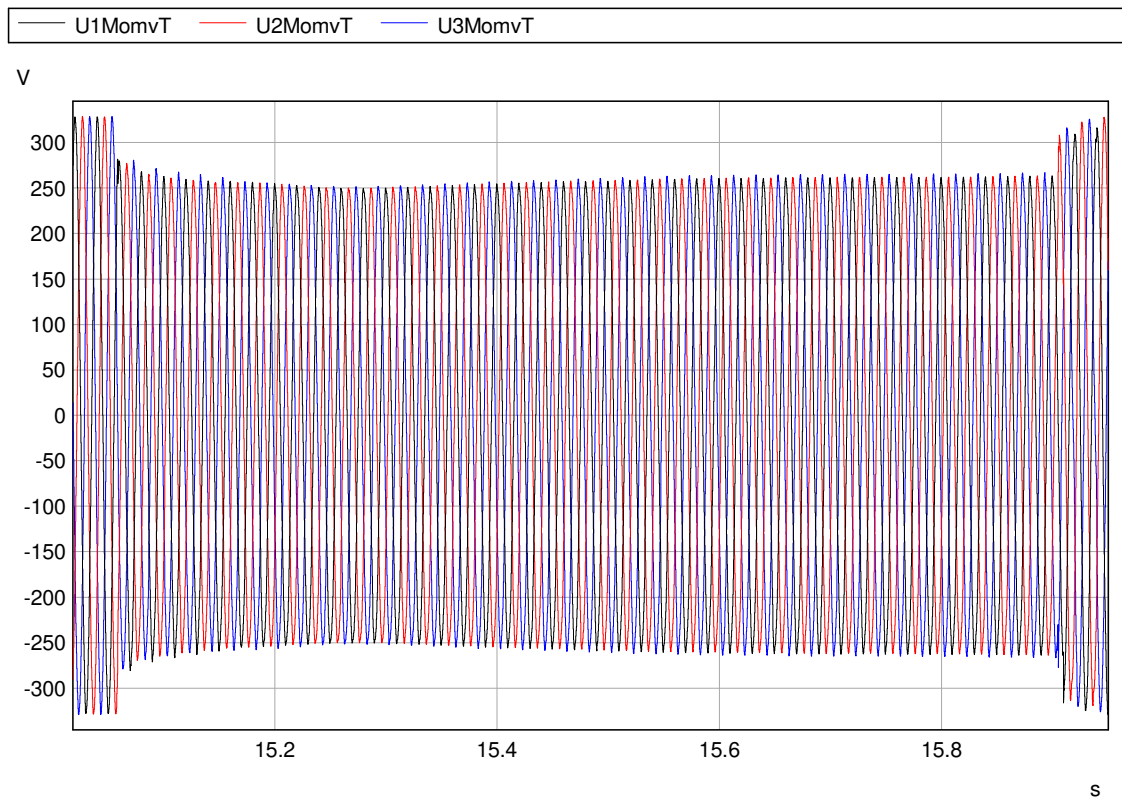


Abb. 177: Zeitverläufe der Spannungen

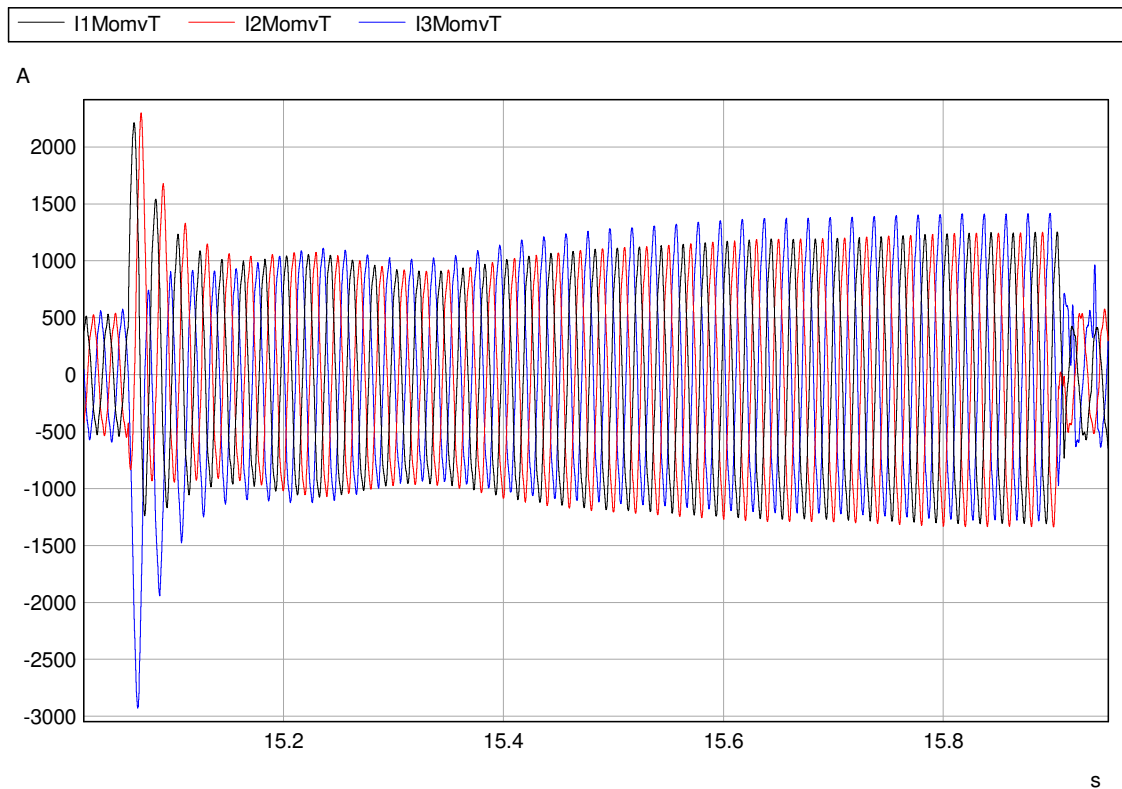


Abb. 178: Zeitverläufe der Ströme

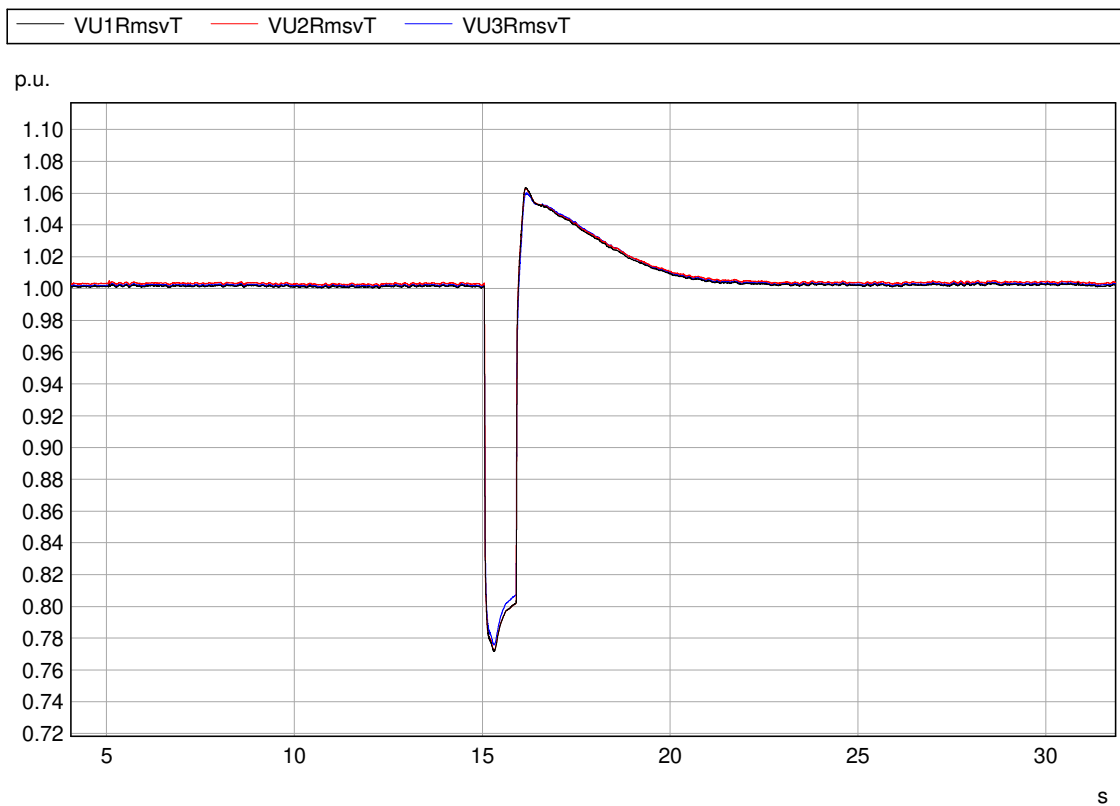


Abb. 179: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

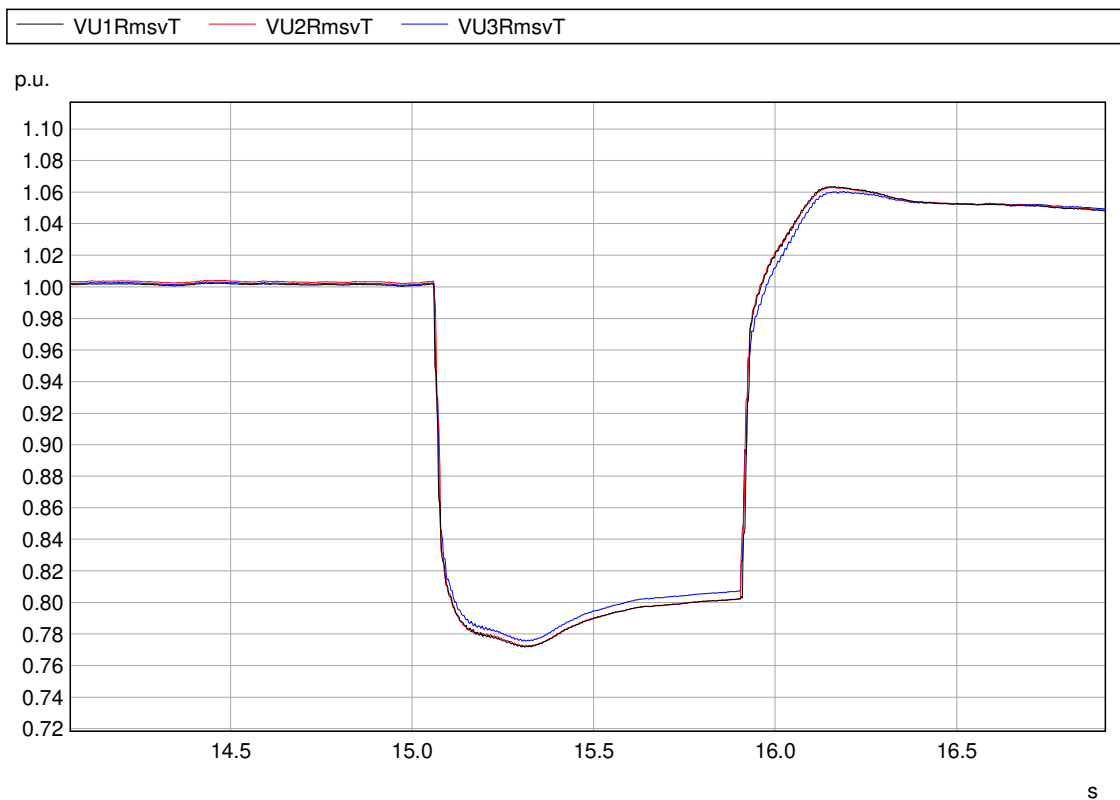


Abb. 180: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

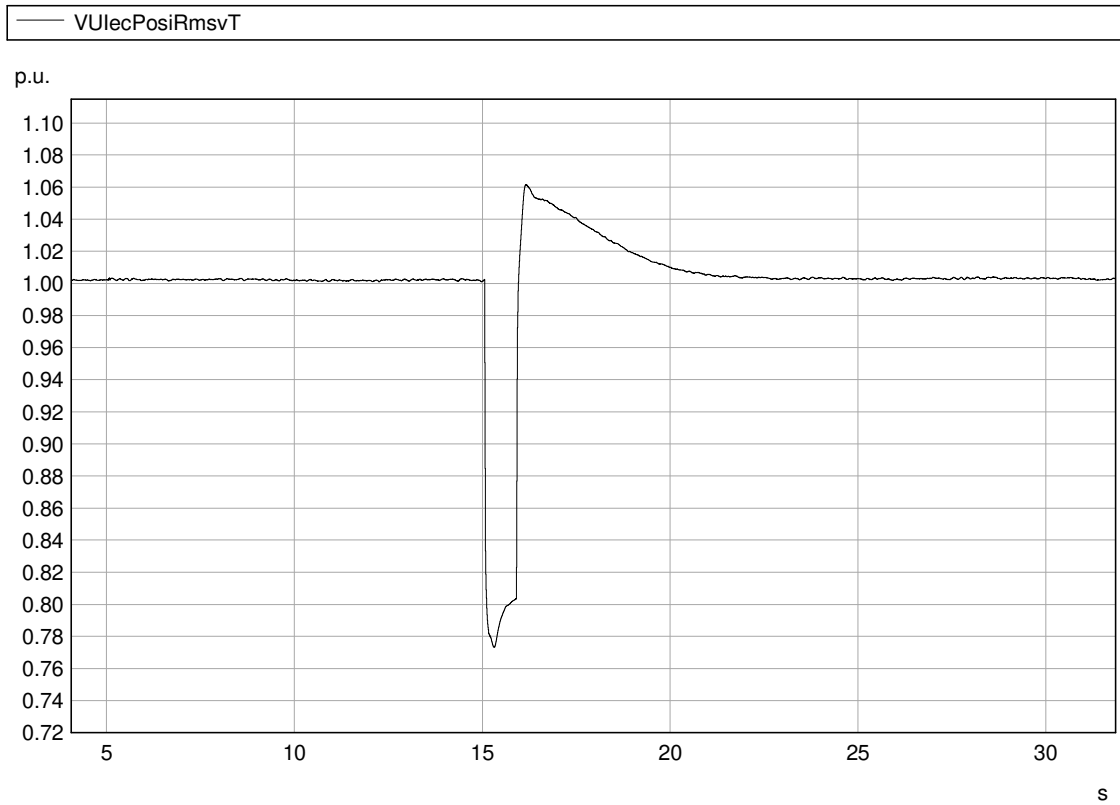


Abb. 181: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

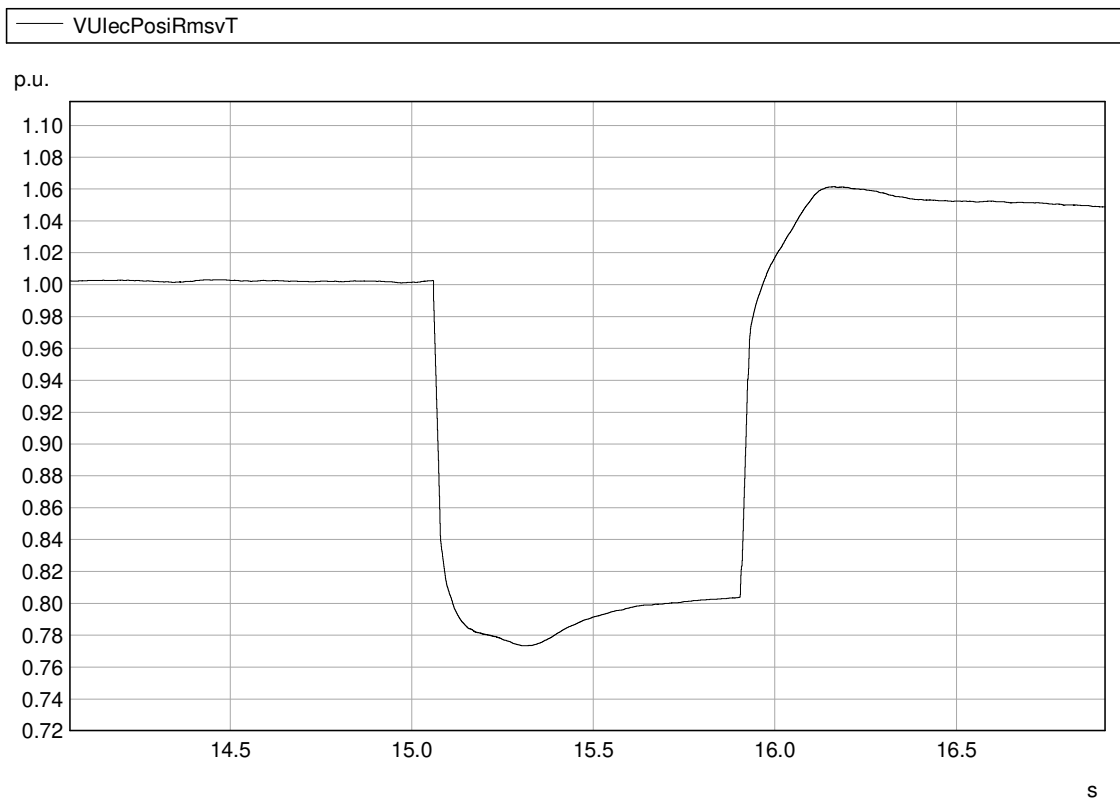


Abb. 182: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

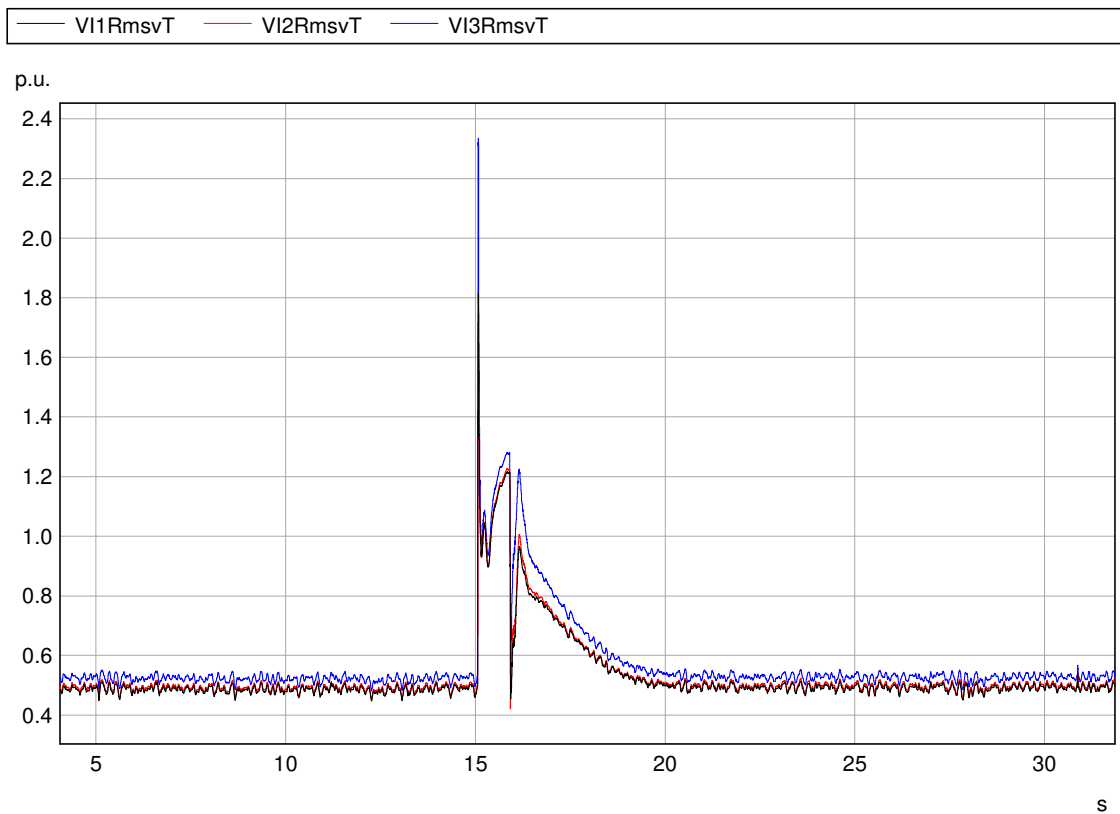


Abb. 183: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t_0 bis t_3)

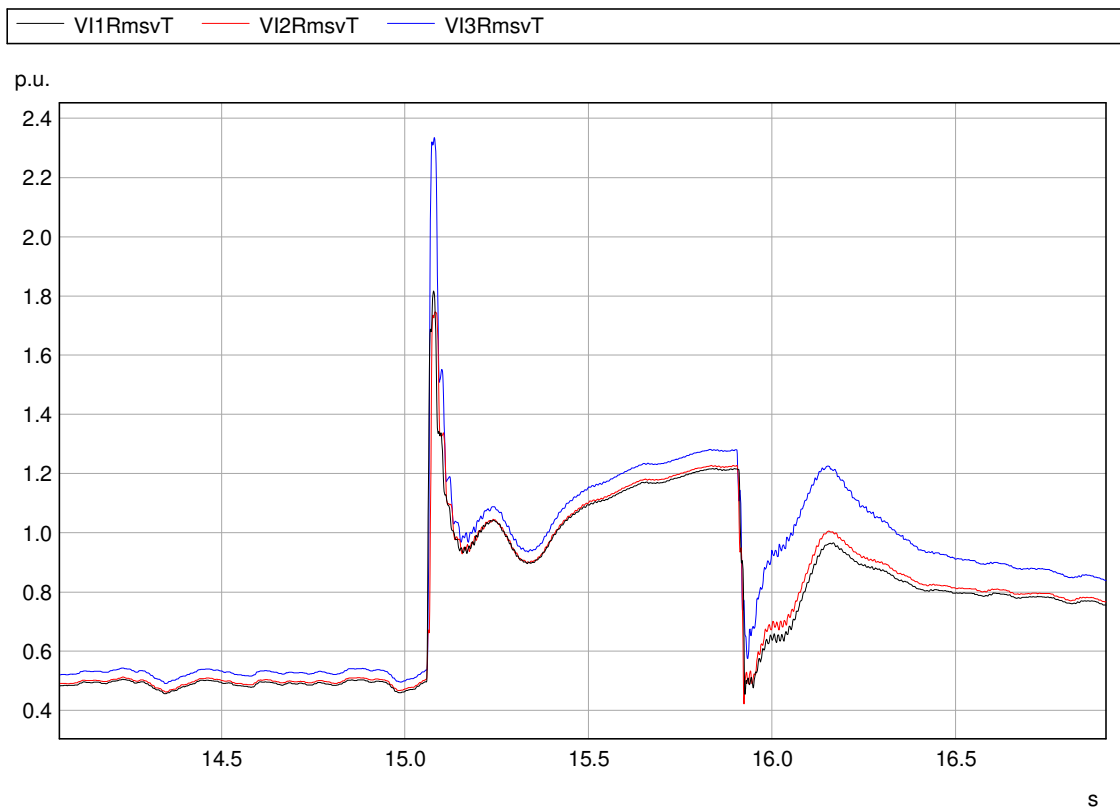


Abb. 184: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t_1 bis t_2)

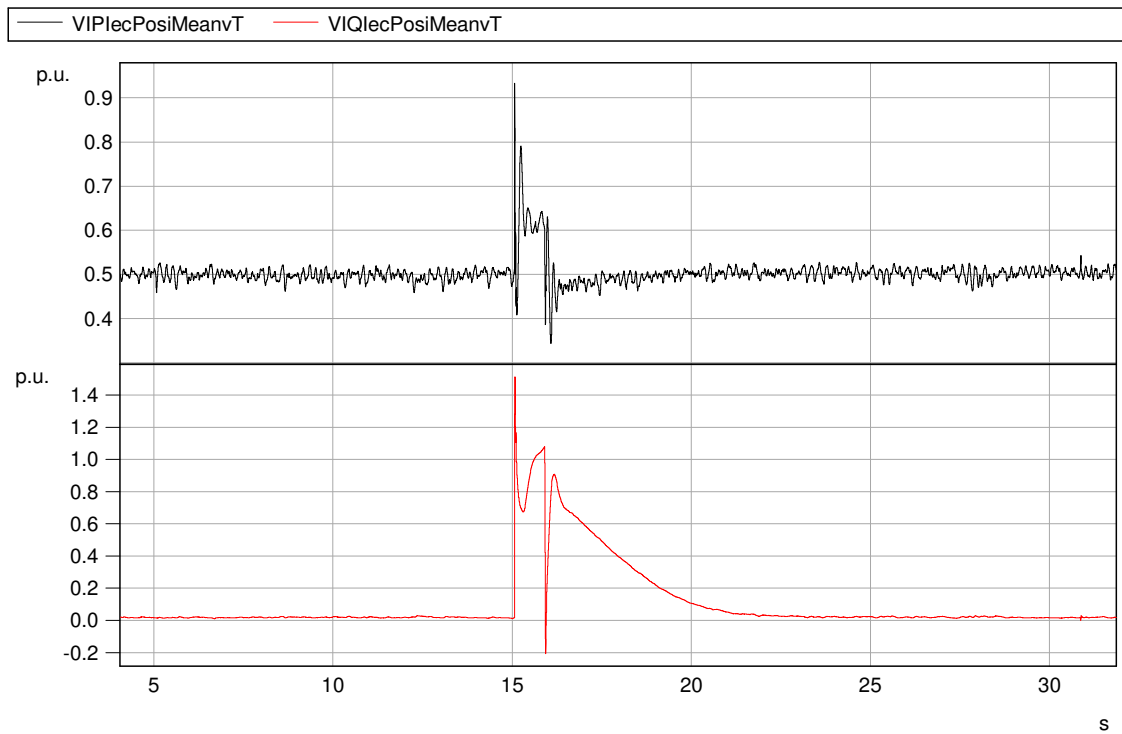


Abb. 185: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

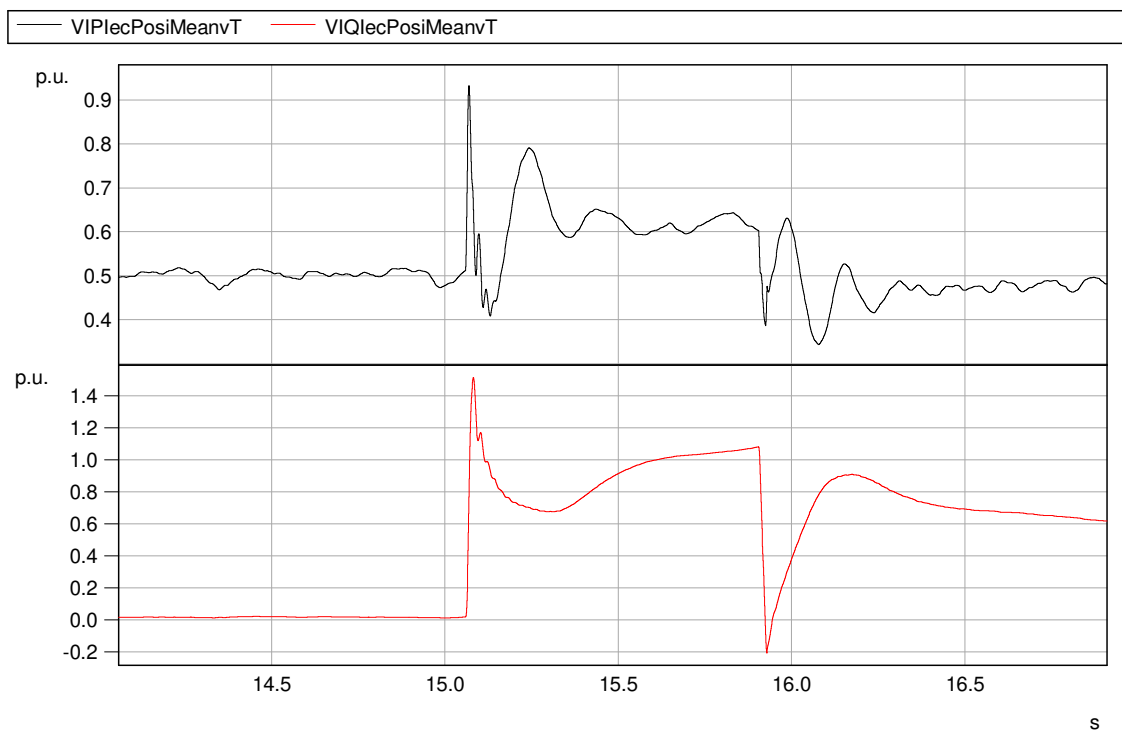


Abb. 186: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

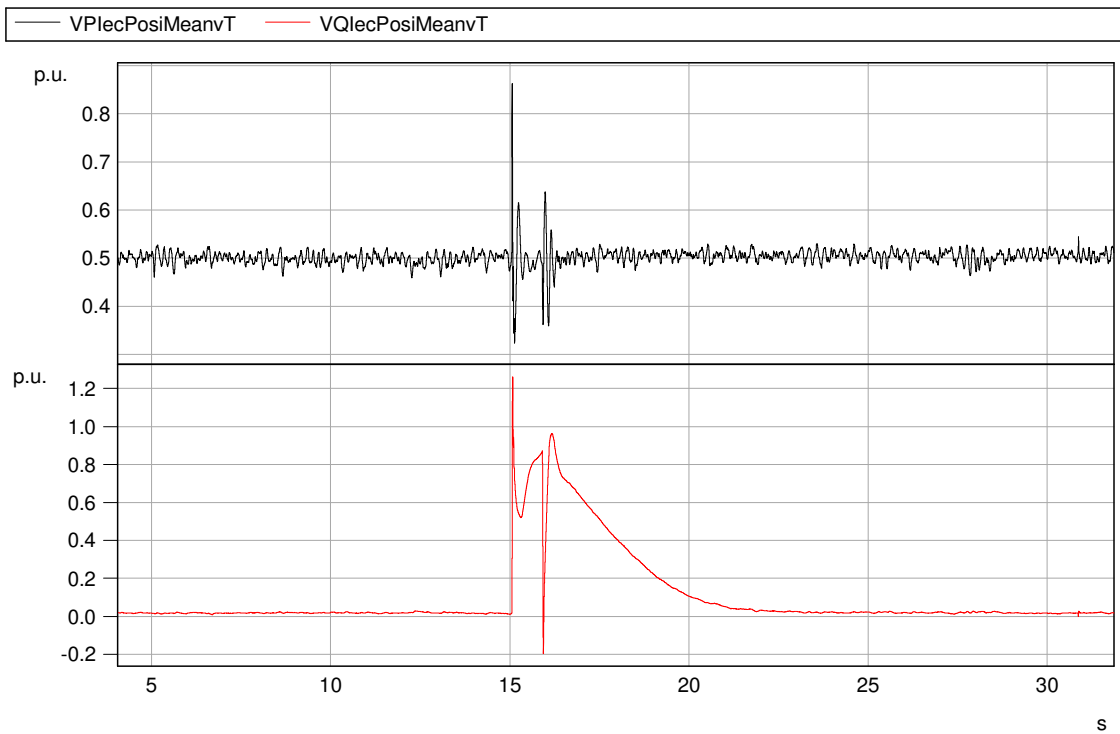


Abb. 187: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

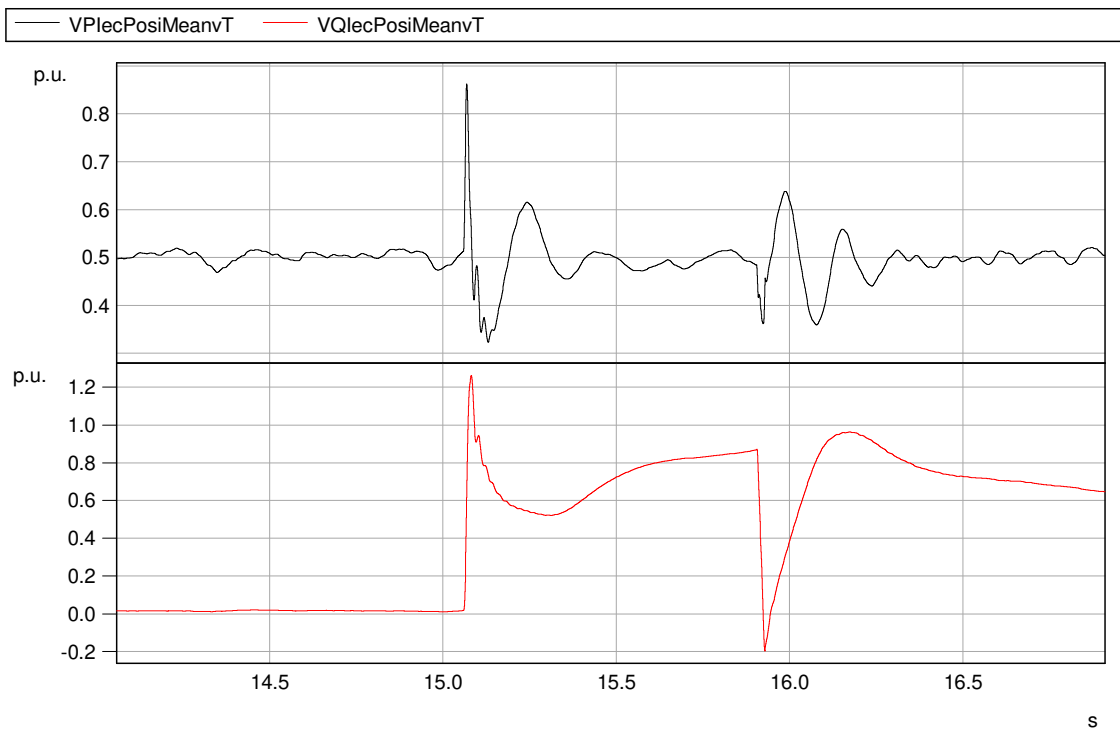


Abb. 188: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

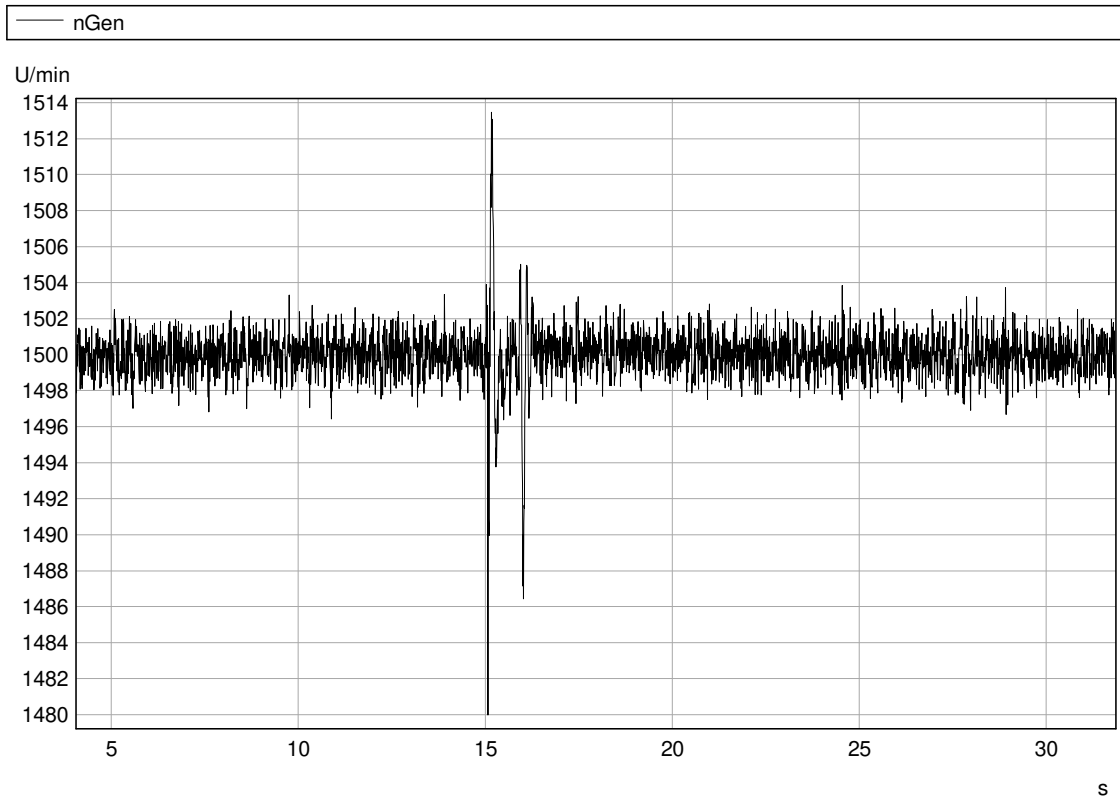


Abb. 189: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

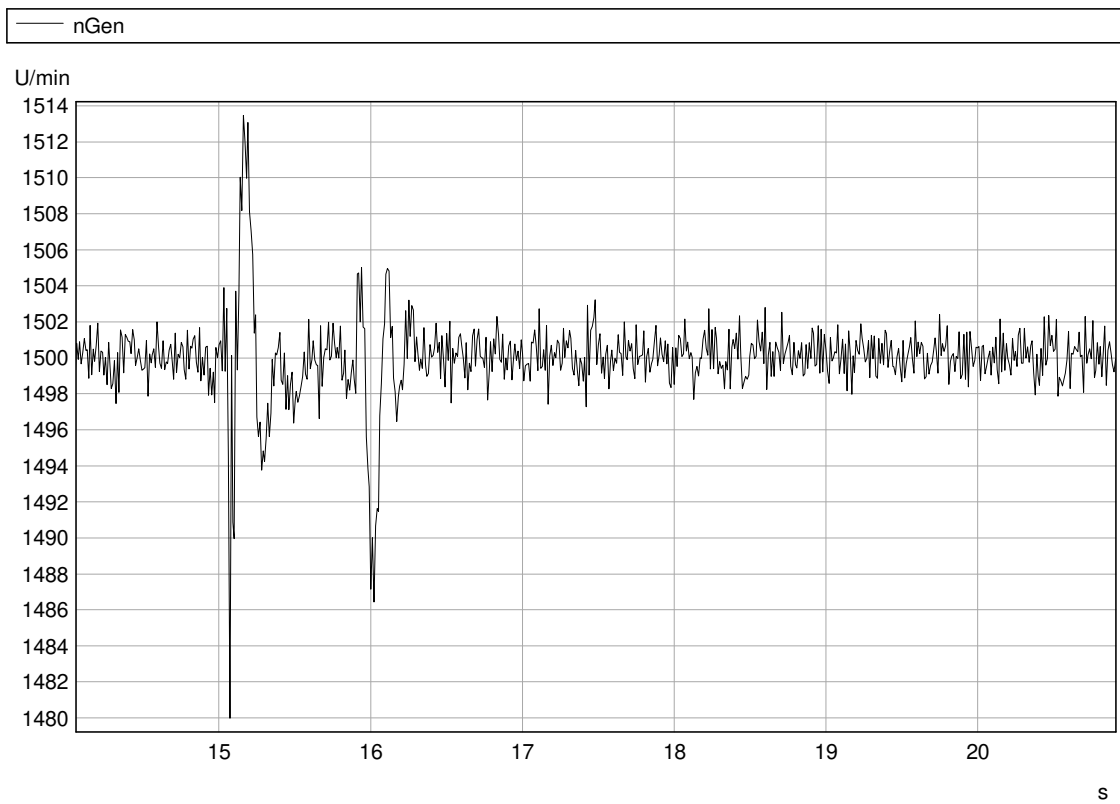


Abb. 190: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.17 Test Nr. 3.1.2.a

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 84: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 3.1.2.a

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.1.2.a	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		10:44:27	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchstiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.114,18	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.120,79	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.972,58	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.927,05	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		851,79	[ms]
		15	Spannungseinbruchstiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,79
16		Mitsystem		0,79		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,03	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,01	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,03	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,00	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,03	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,79	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,82	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,97	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,98	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,04	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	3,37	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	3,33	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-4,34	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,69	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,43	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	1,93	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,93	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,89	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,52	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,61	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,62	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,70	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	1,00	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	1,00	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,99	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,00	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,29	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,02	[p.u.]

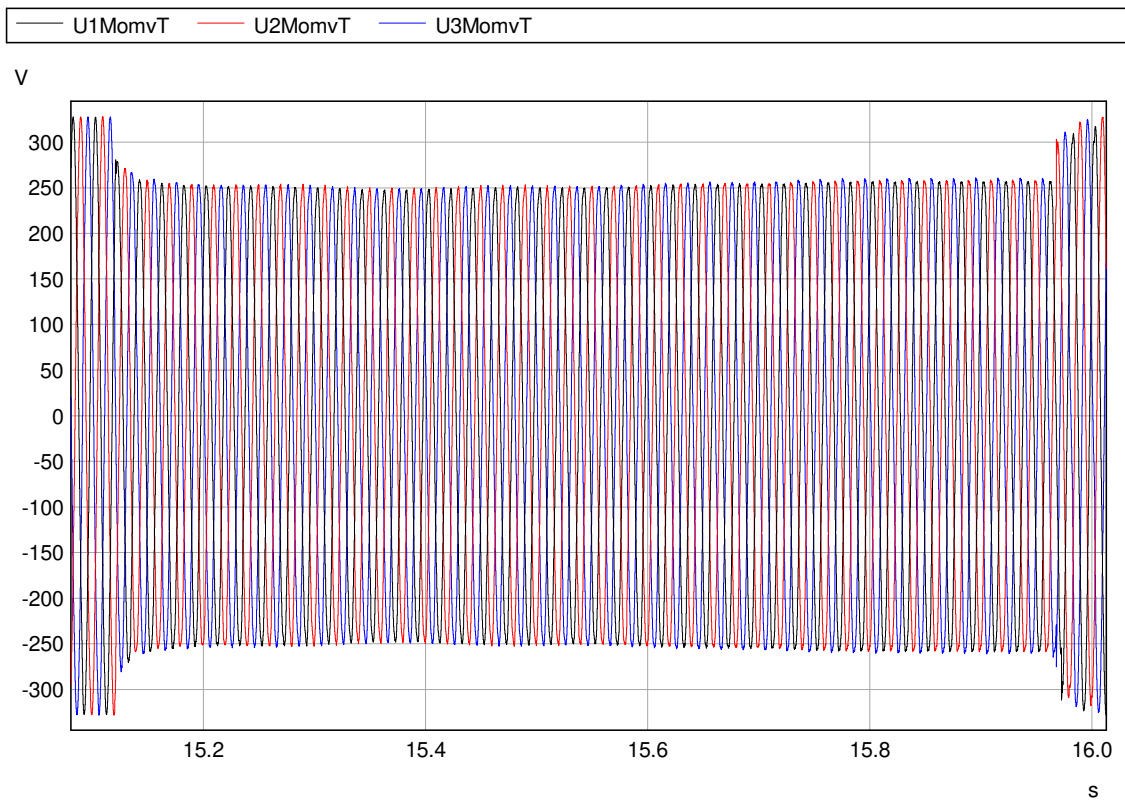


Abb. 191: Zeitverläufe der Spannungen

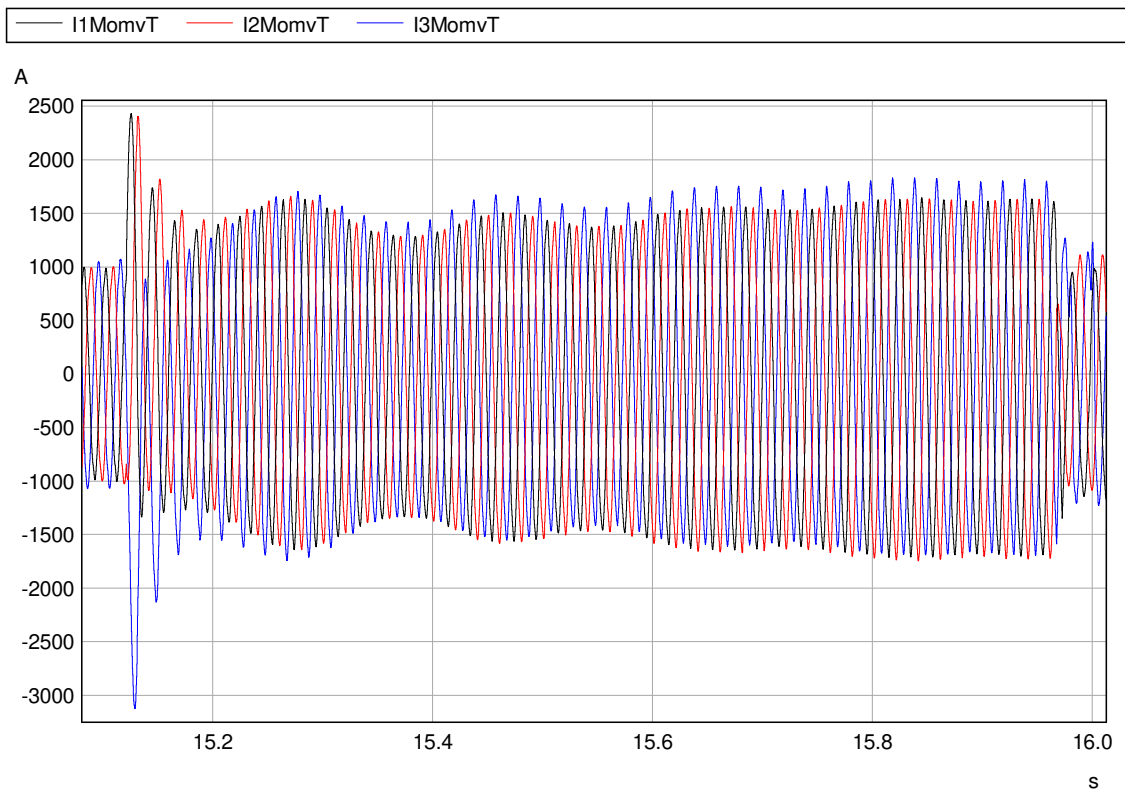


Abb. 192: Zeitverläufe der Ströme

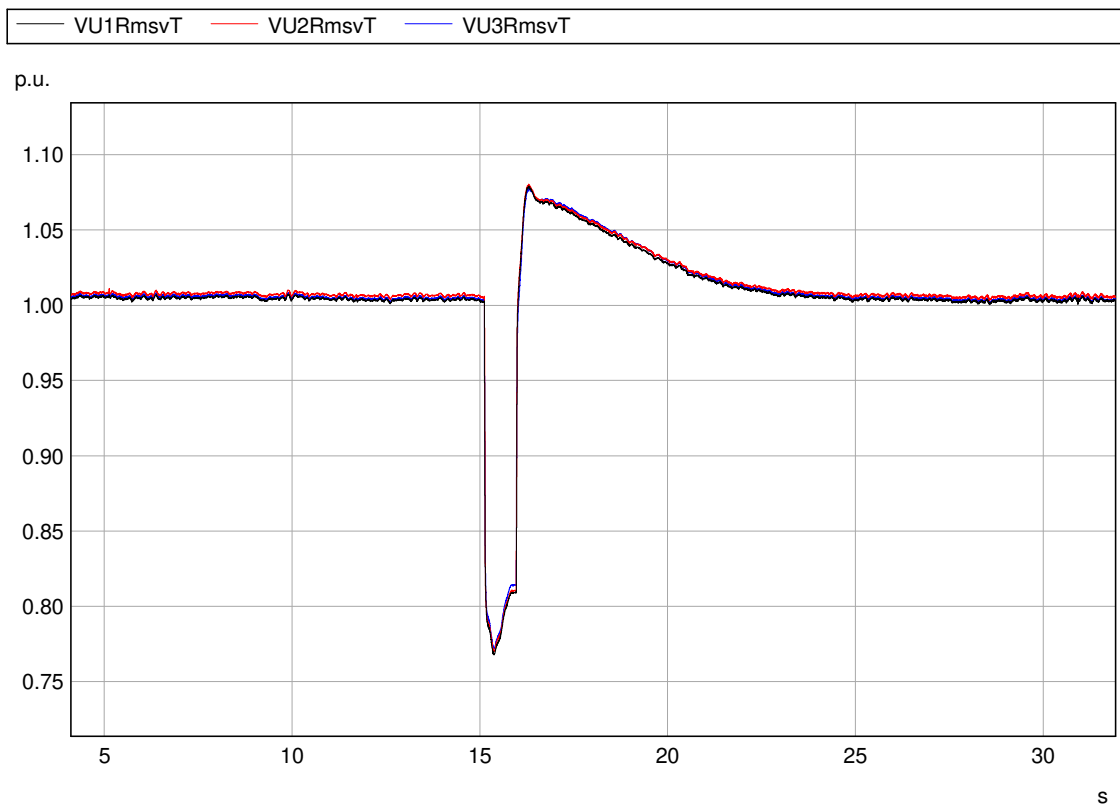


Abb. 193: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

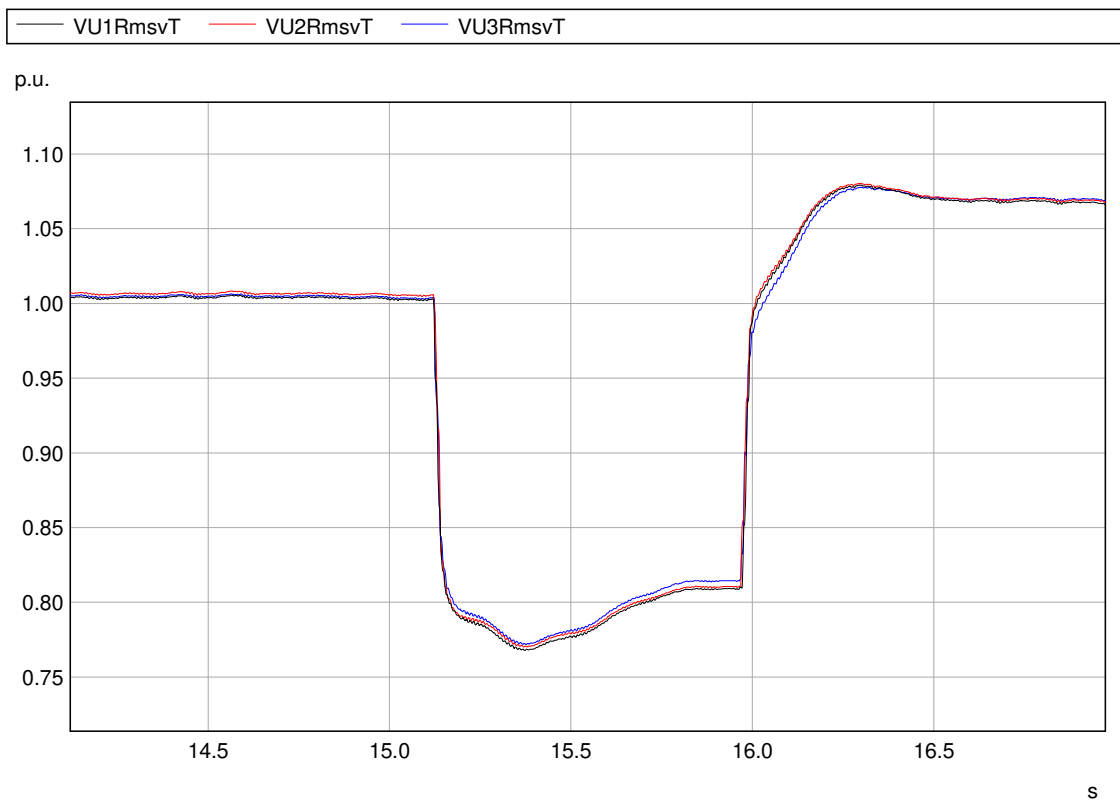


Abb. 194: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

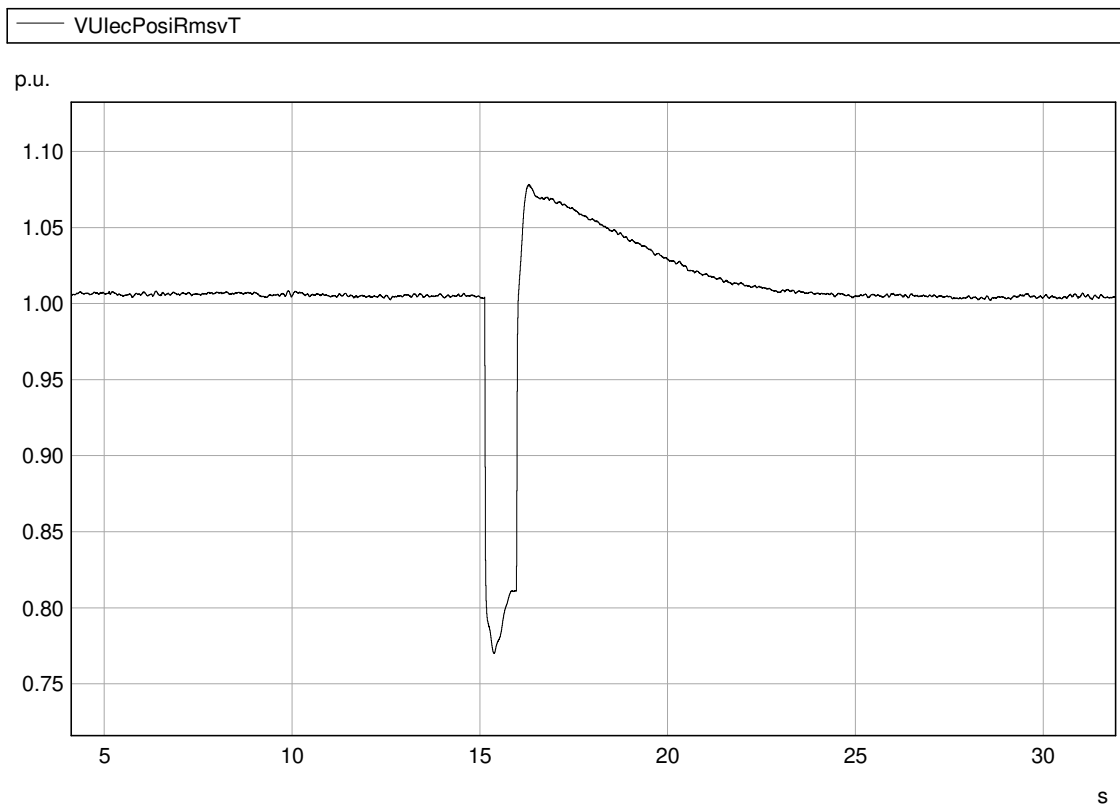


Abb. 195: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

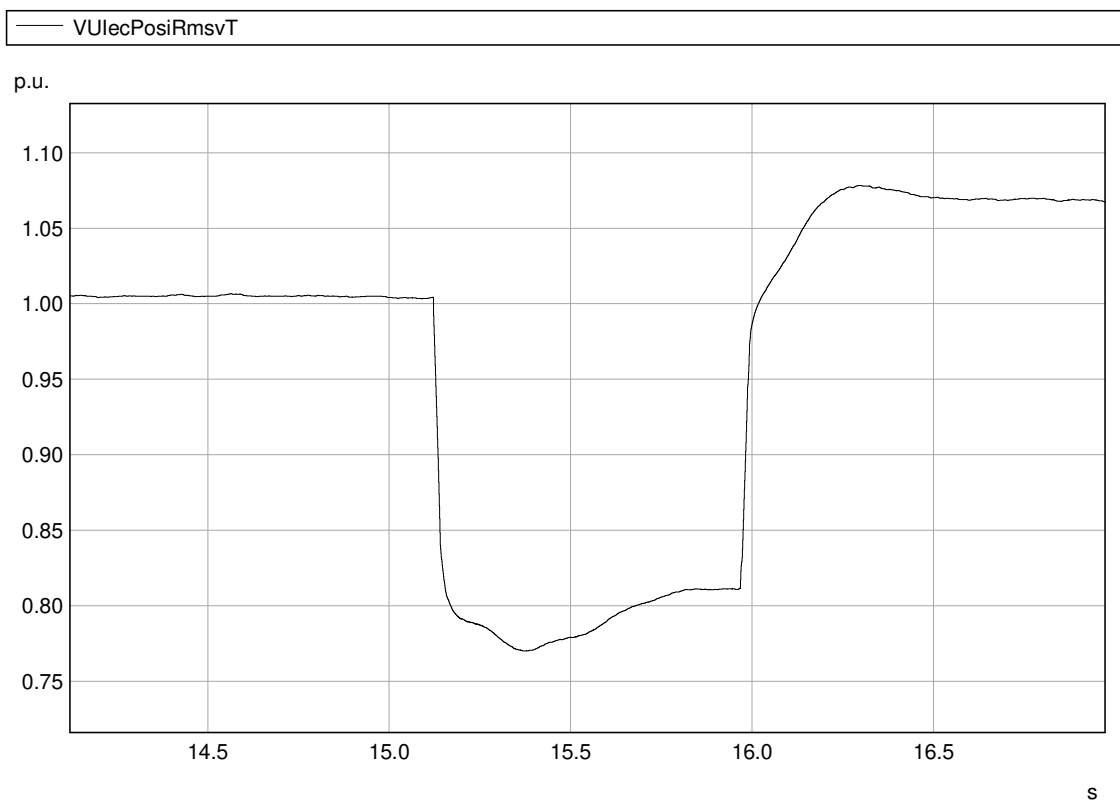


Abb. 196: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

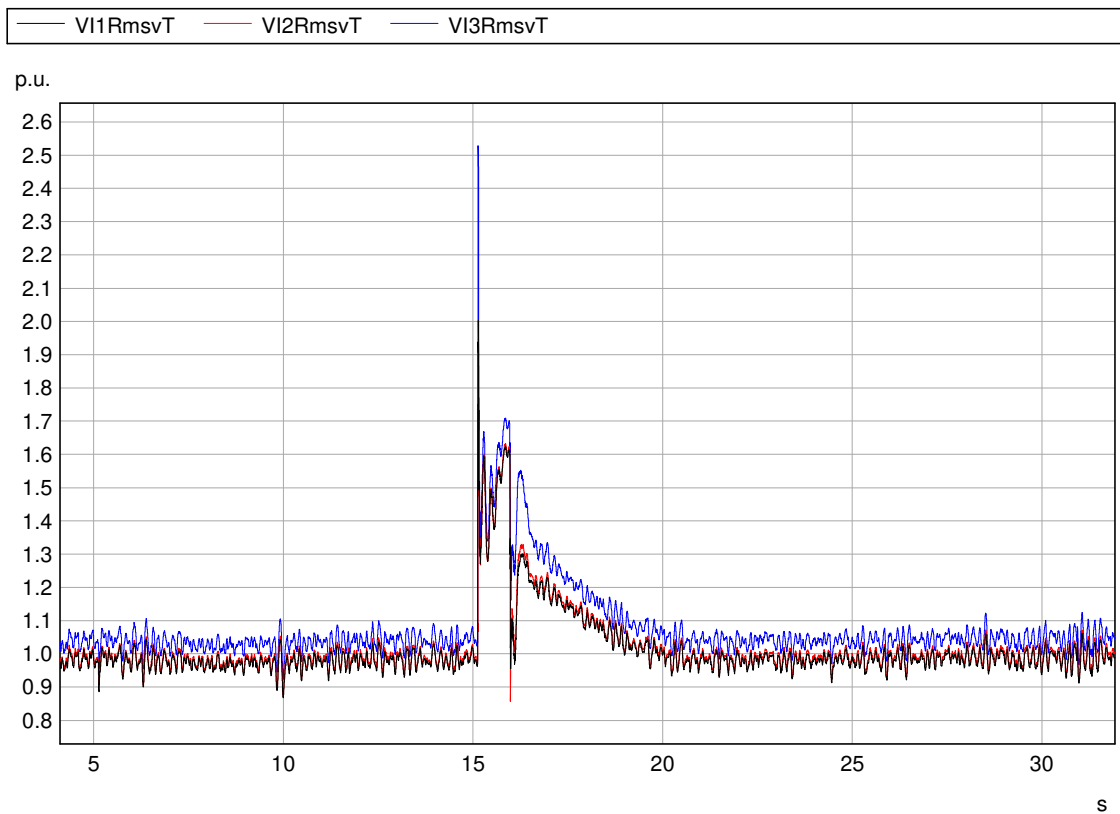


Abb. 197: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

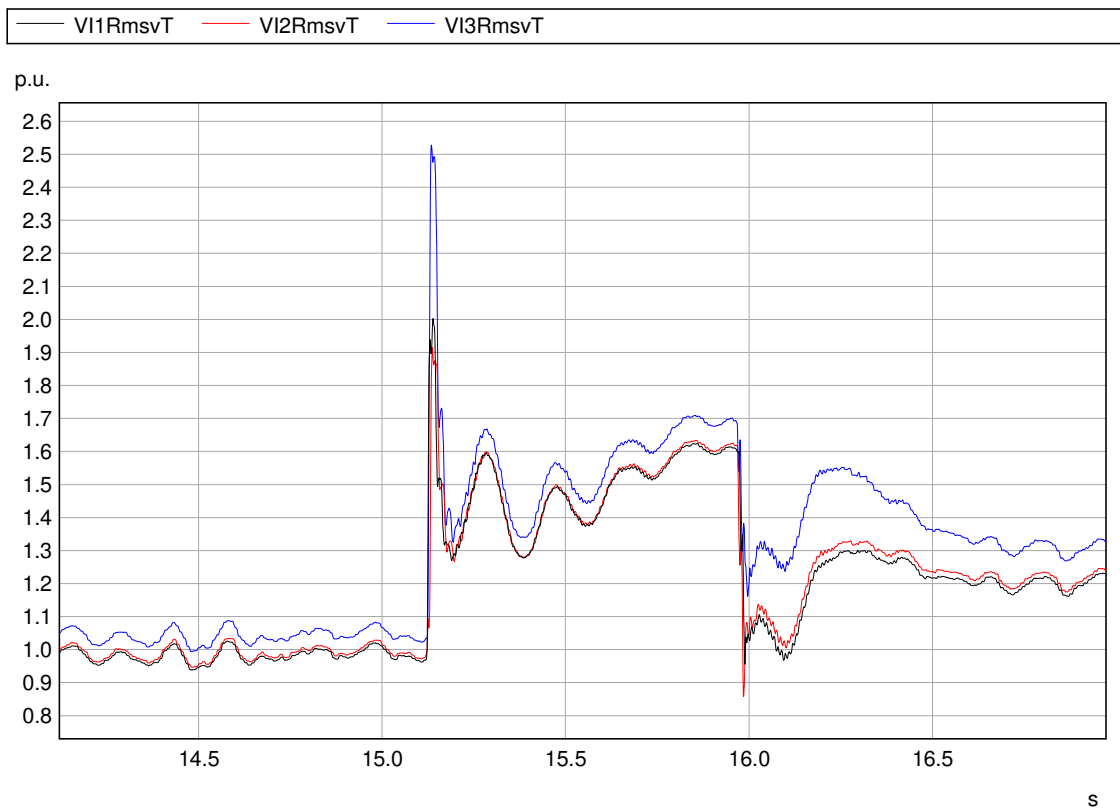


Abb. 198: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

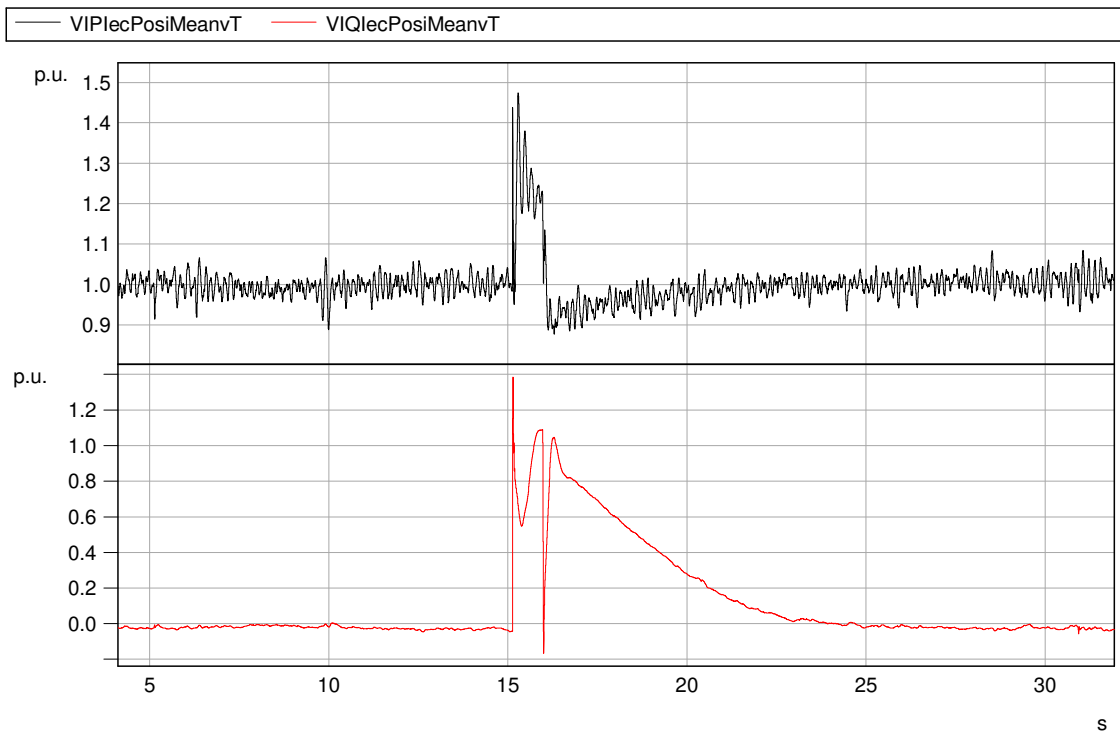


Abb. 199: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

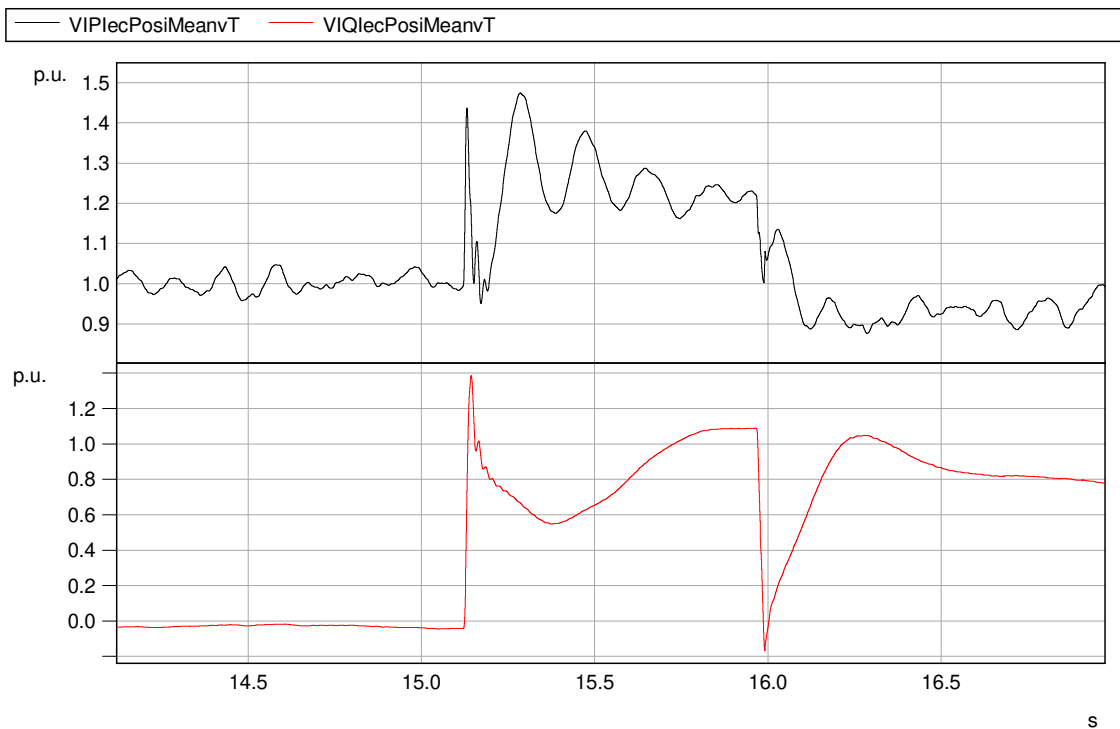


Abb. 200: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

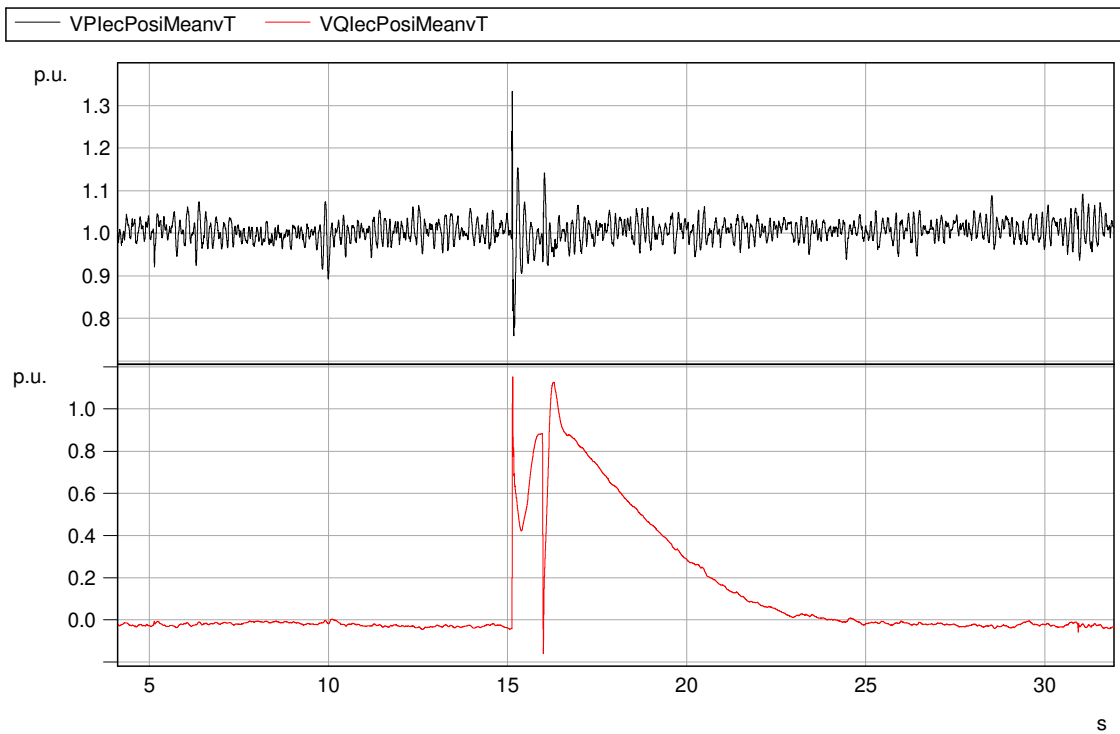


Abb. 201: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

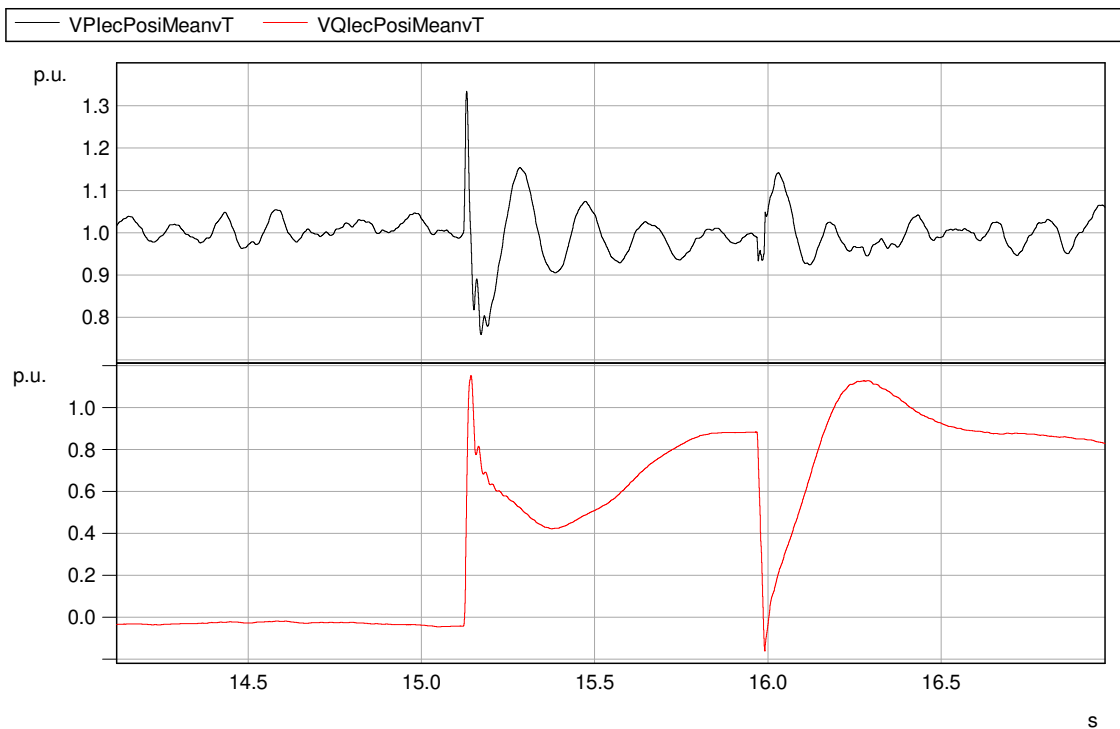


Abb. 202: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

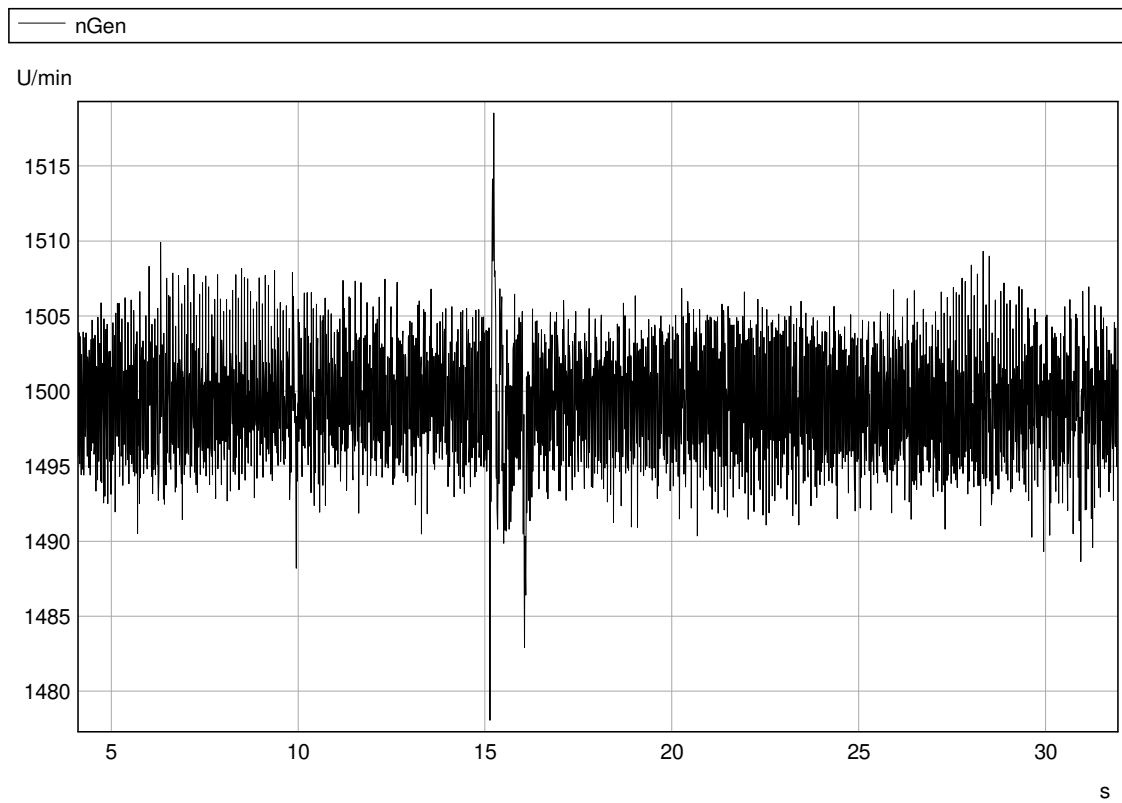


Abb. 203: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

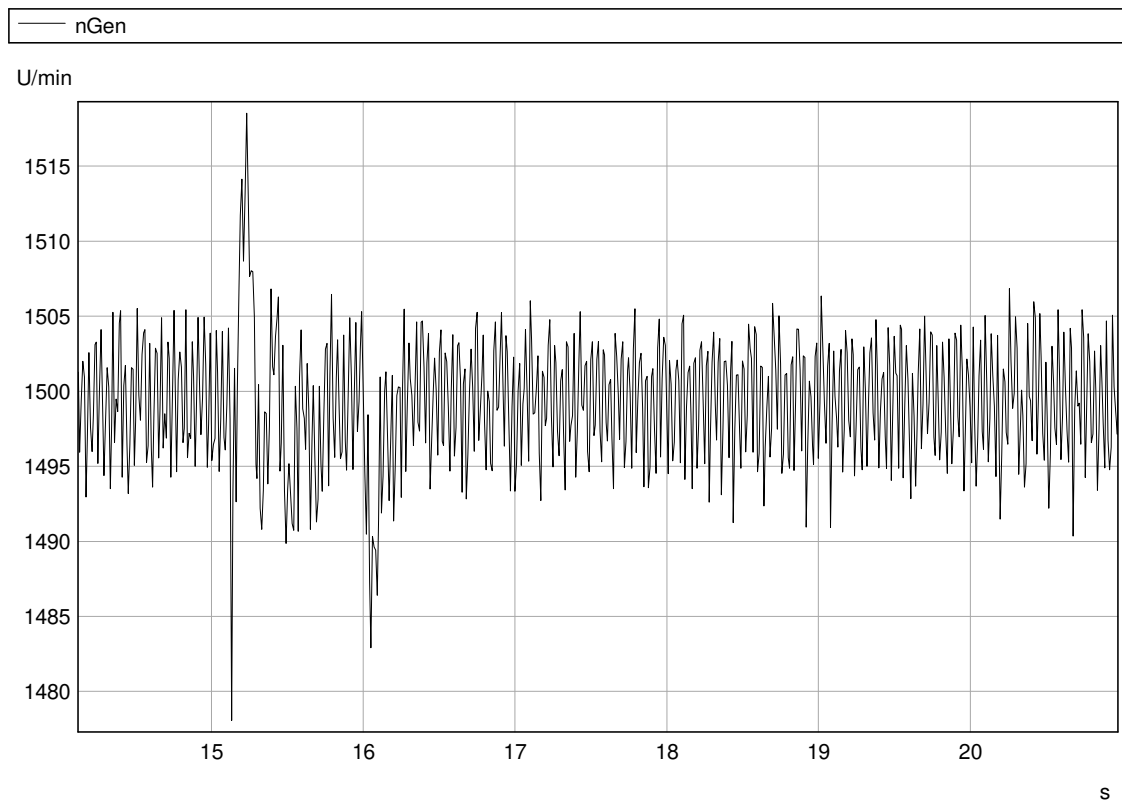


Abb. 204: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.18 Test Nr. 3.1.2.b

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 85: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 3.1.2.b

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.1.2.b	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		11:24:05	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.104,02	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.117,79	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.970,31	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.919,65	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		852,52	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,81
16		Mitsystem		0,81		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,98	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,09	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,35	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,98	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,98	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,09	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	-0,36	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	-0,34	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,945	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,79	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,78	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	1,04	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	1,06	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,10	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-3,17	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-2,79	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	3,86	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,64	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,32	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	1,81	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,83	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,64	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,27	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,57	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,58	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,66	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	1,01	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	1,01	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,99	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,02	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,00	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,36	[p.u.]

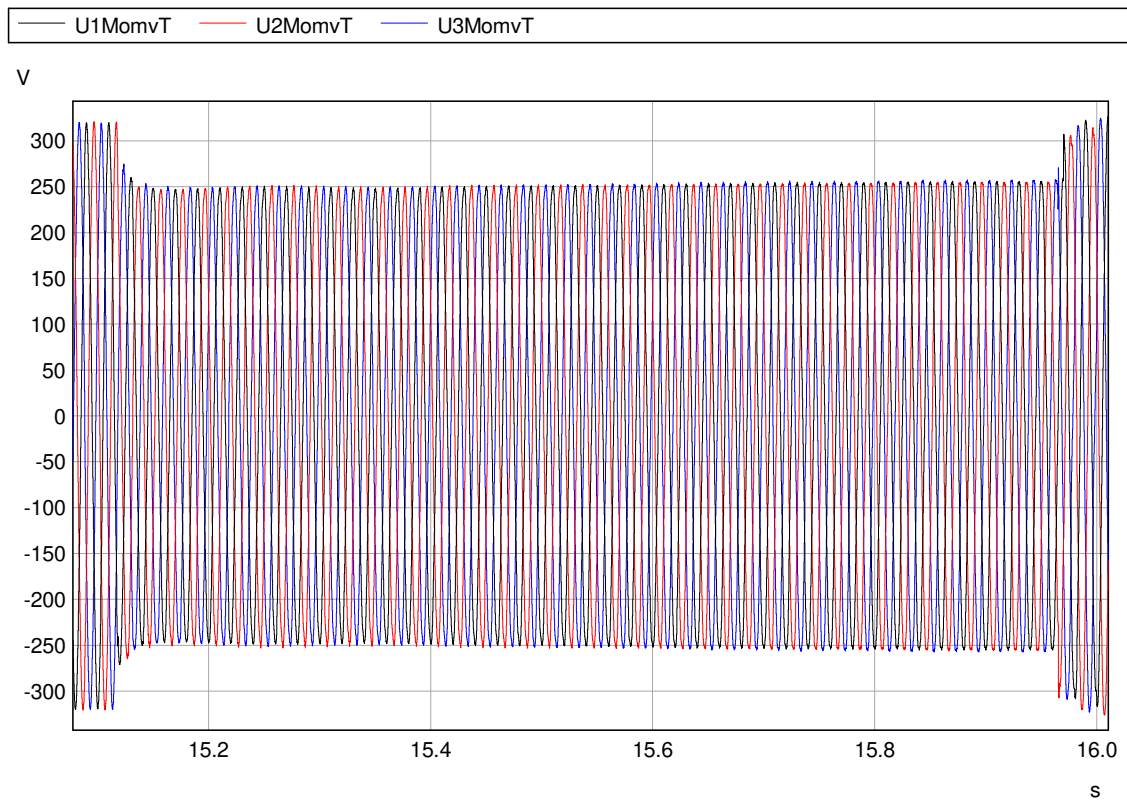


Abb. 205: Zeitverläufe der Spannungen

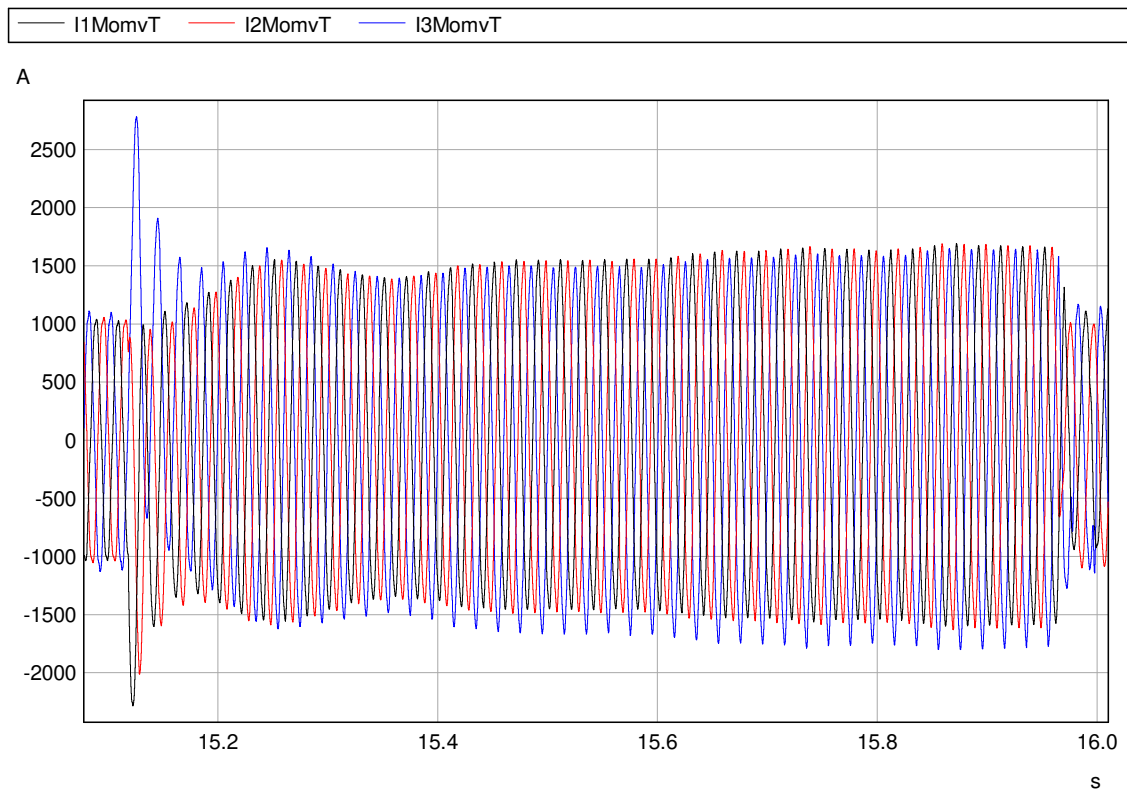


Abb. 206: Zeitverläufe der Ströme

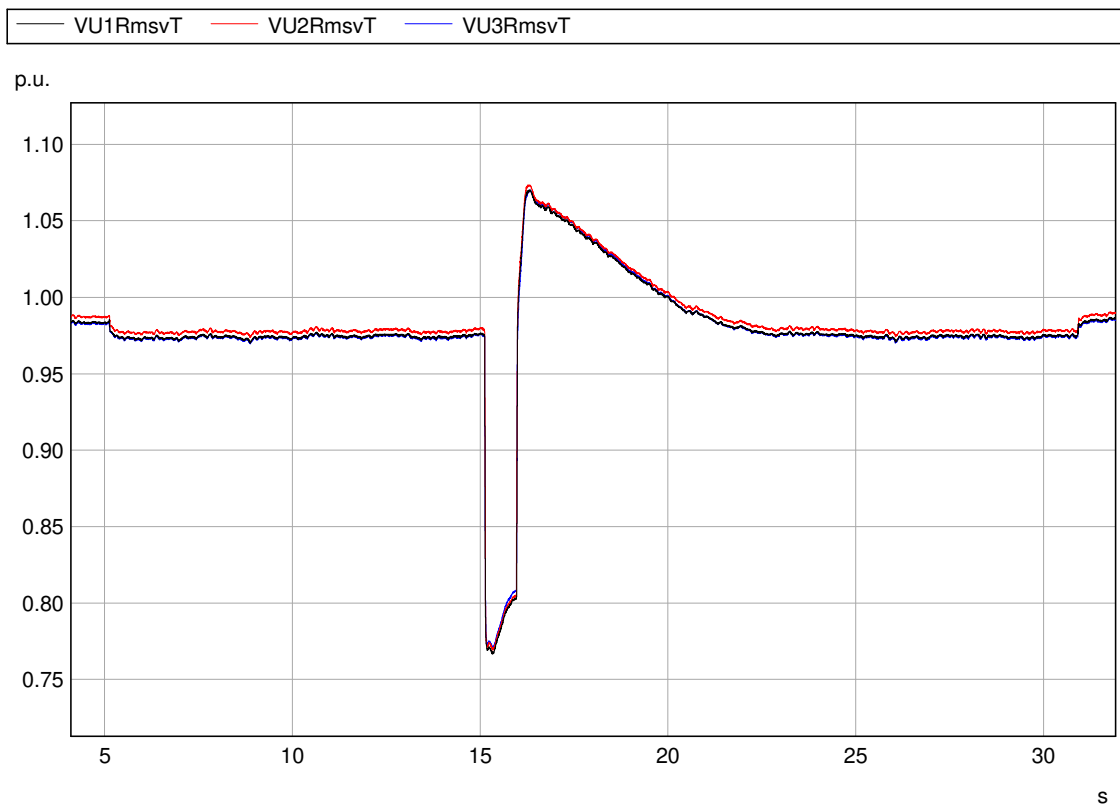


Abb. 207: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

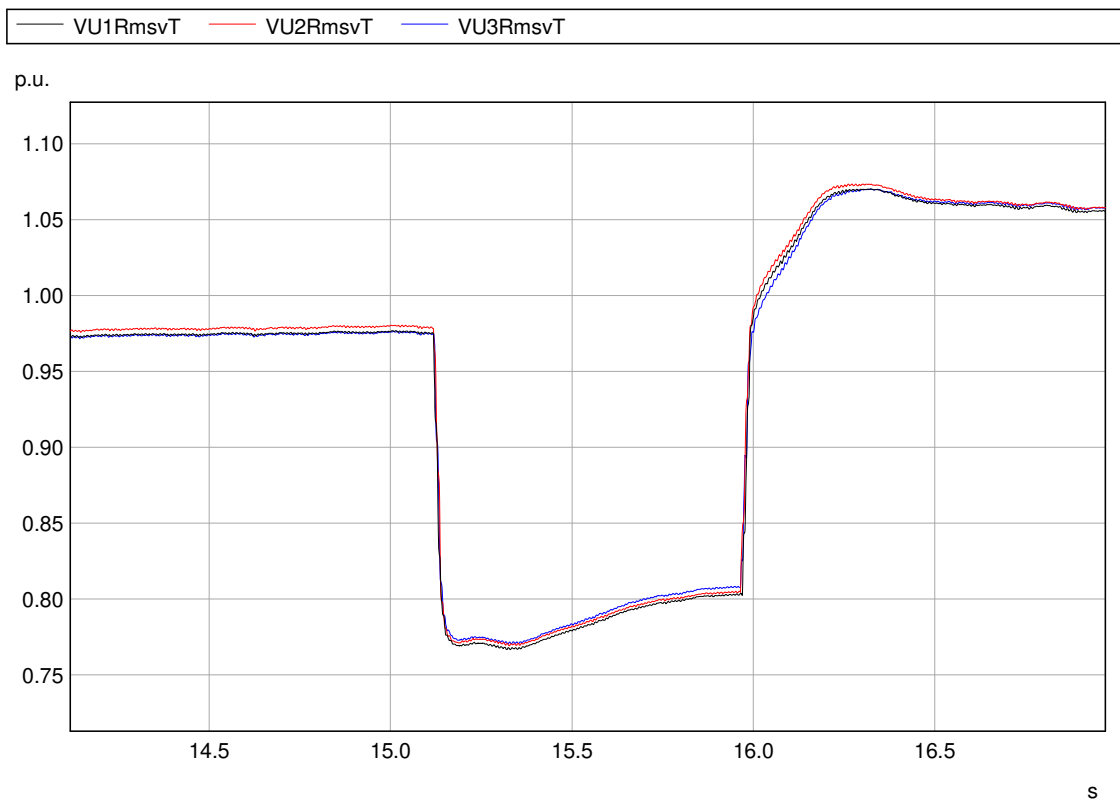


Abb. 208: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

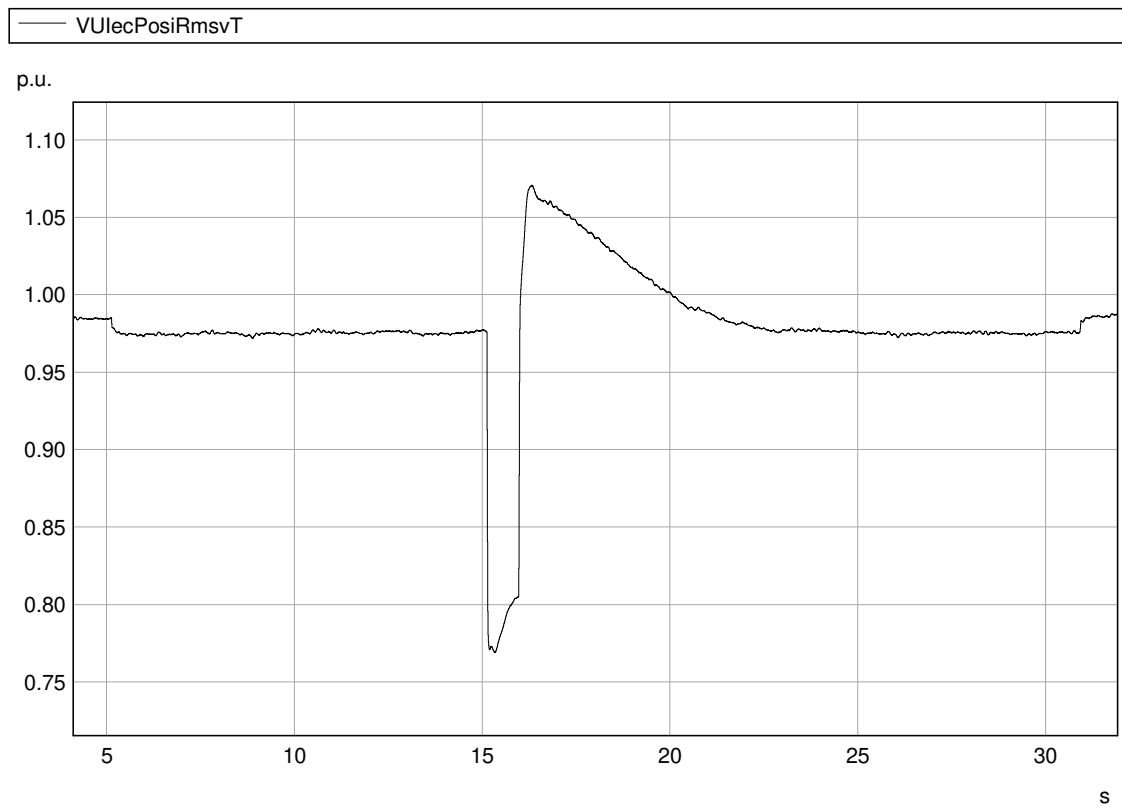


Abb. 209: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

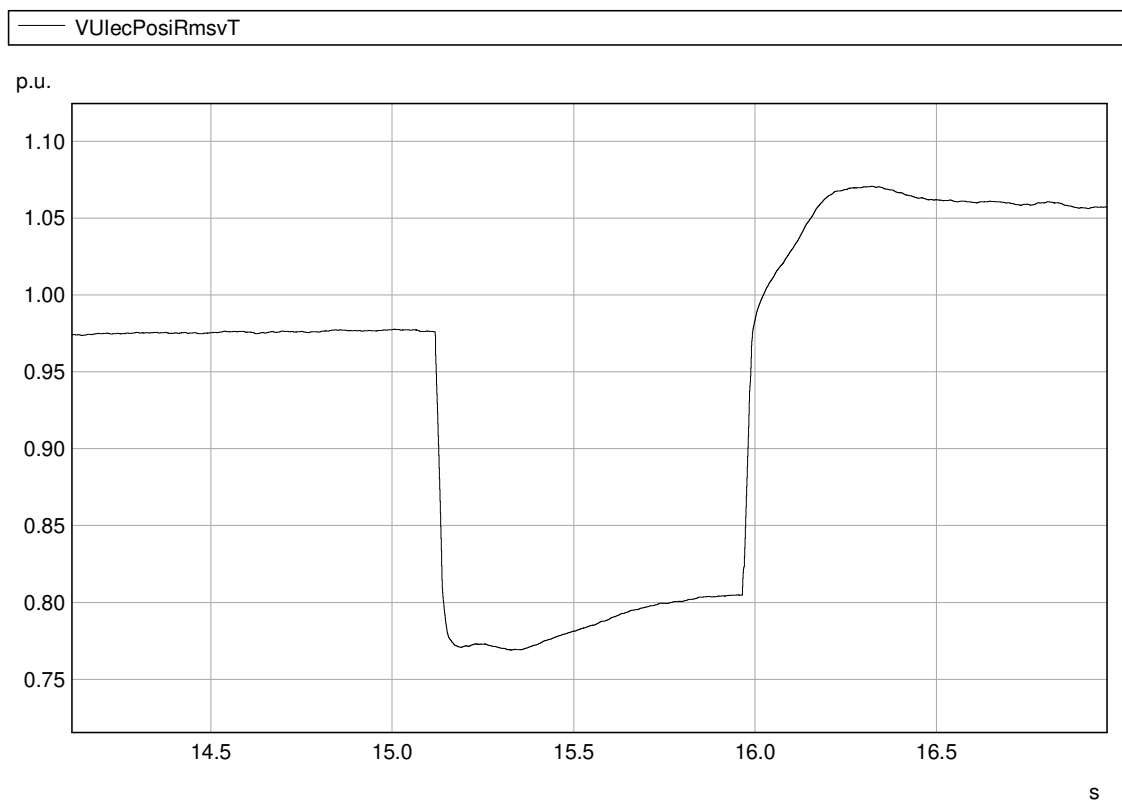


Abb. 210: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

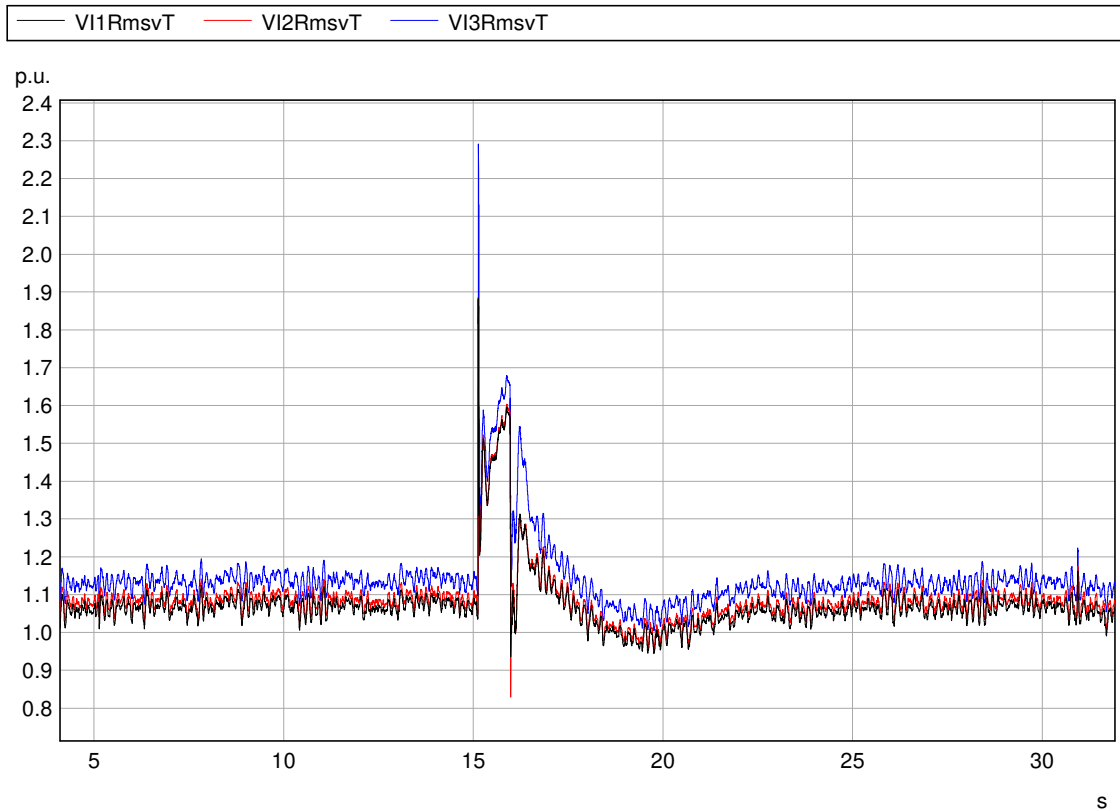


Abb. 211: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

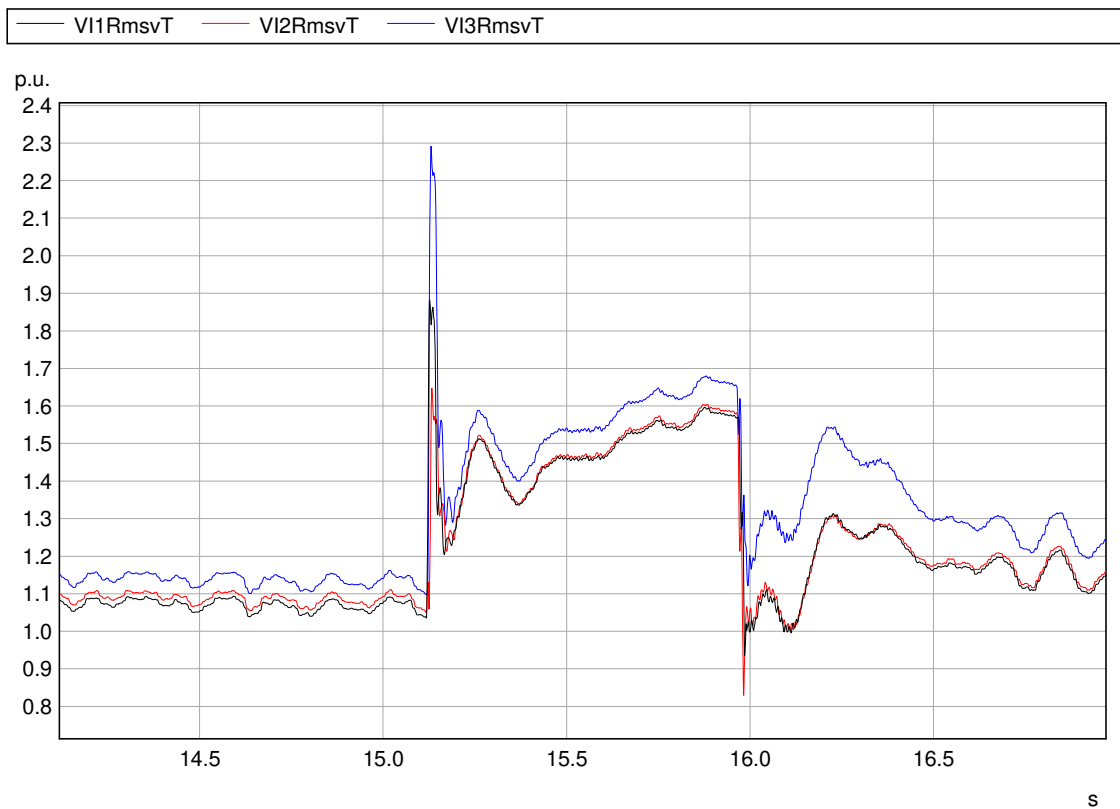


Abb. 212: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

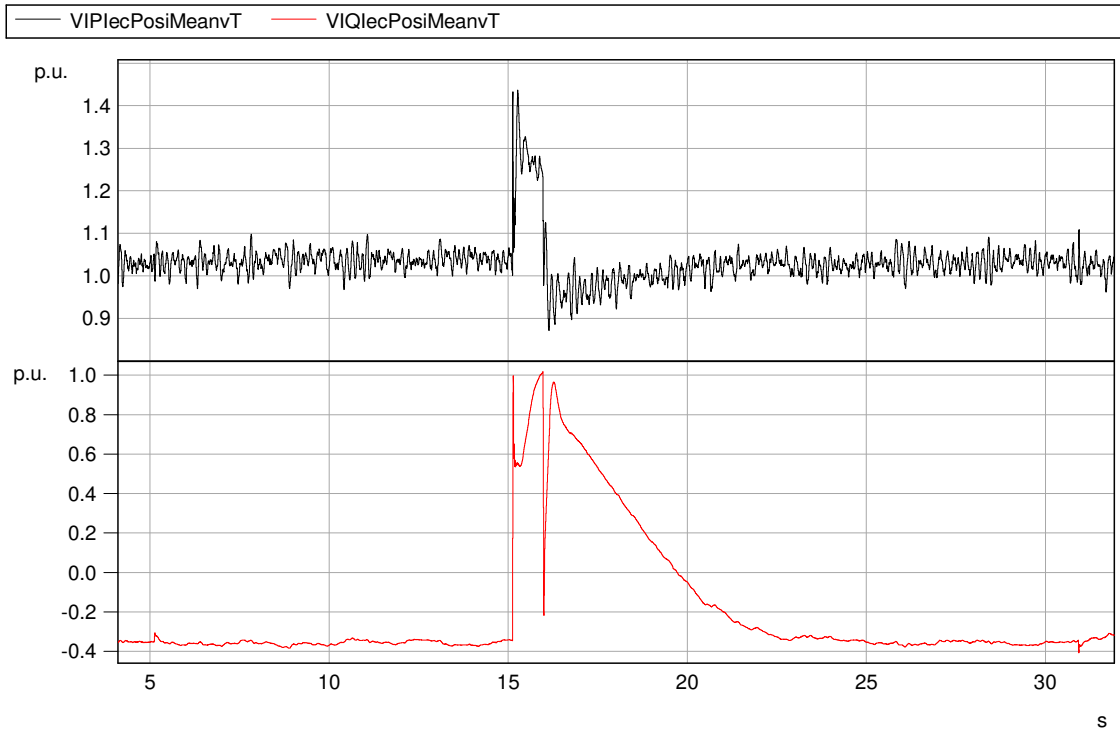


Abb. 213: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

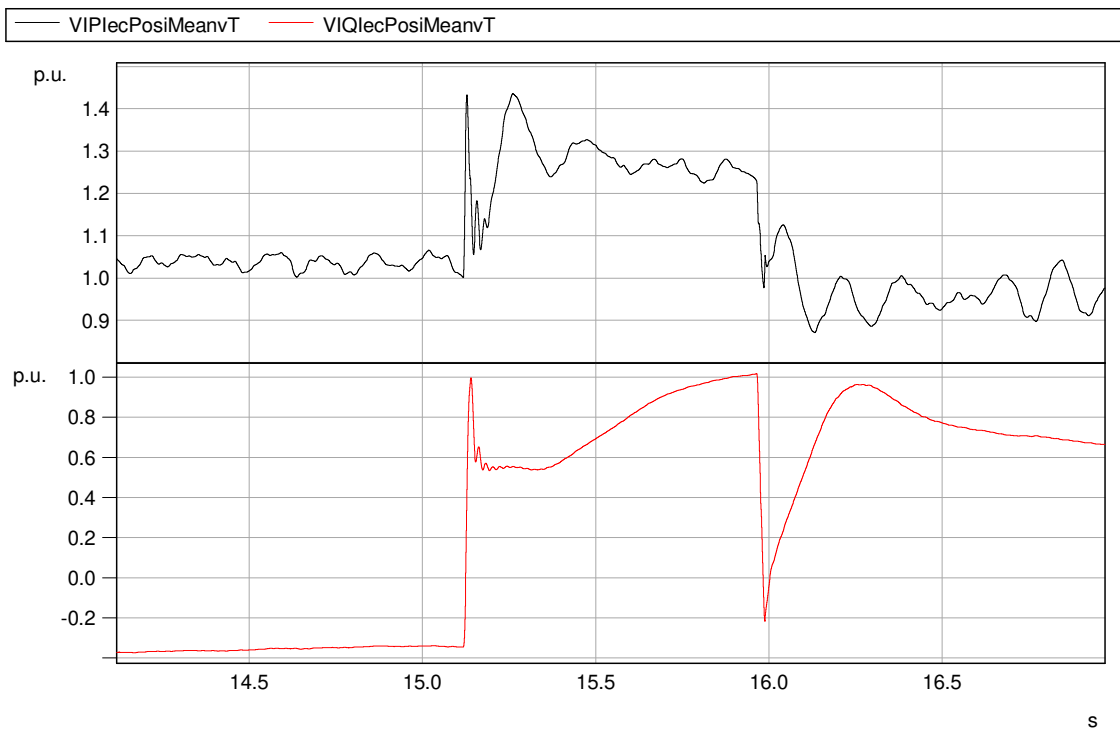


Abb. 214: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

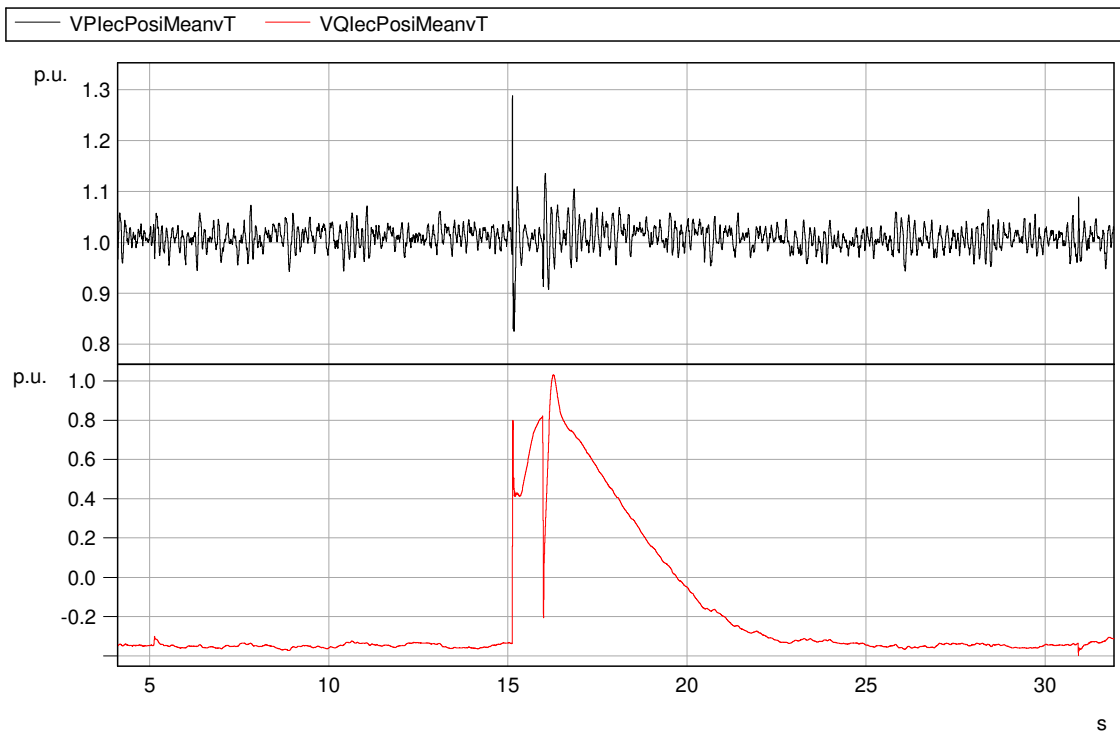


Abb. 215: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

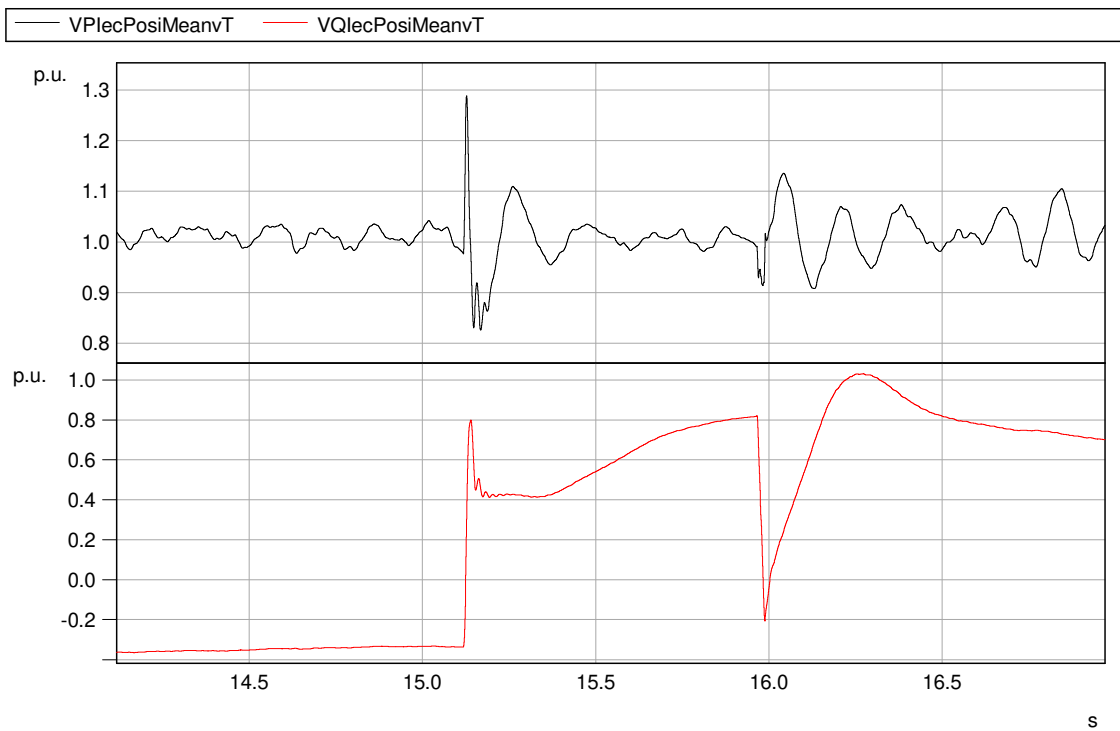


Abb. 216: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

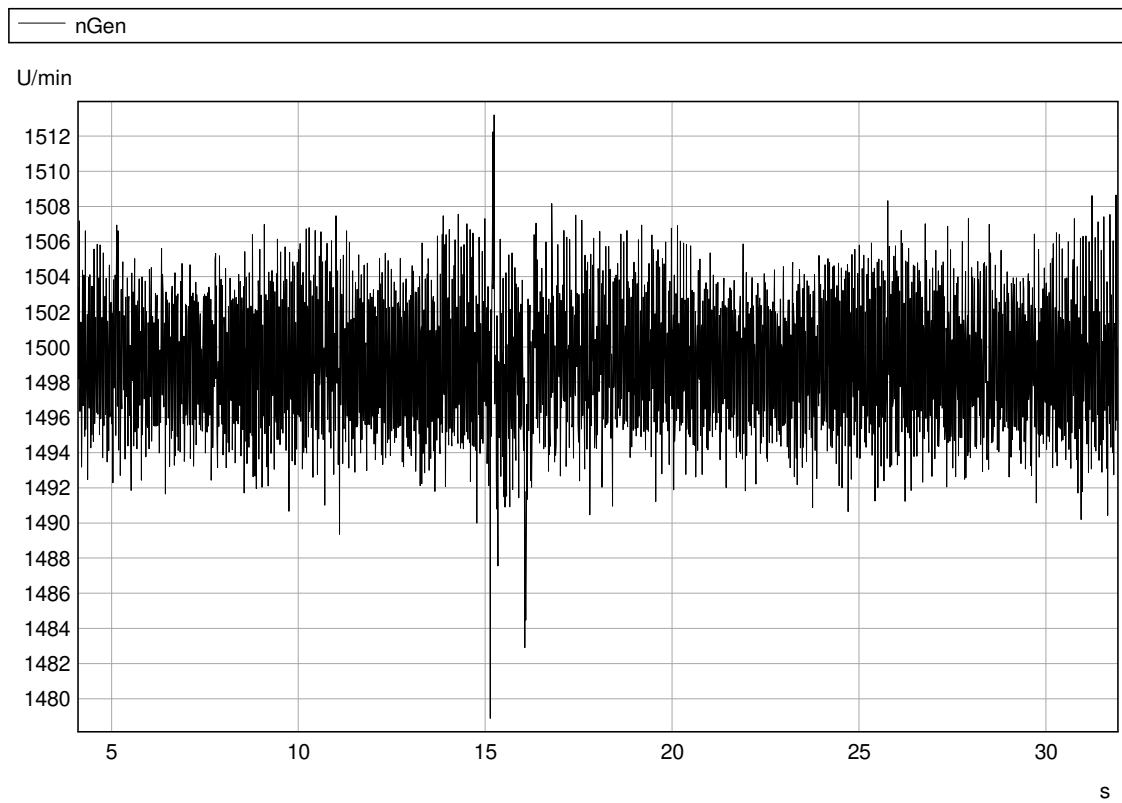


Abb. 217: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

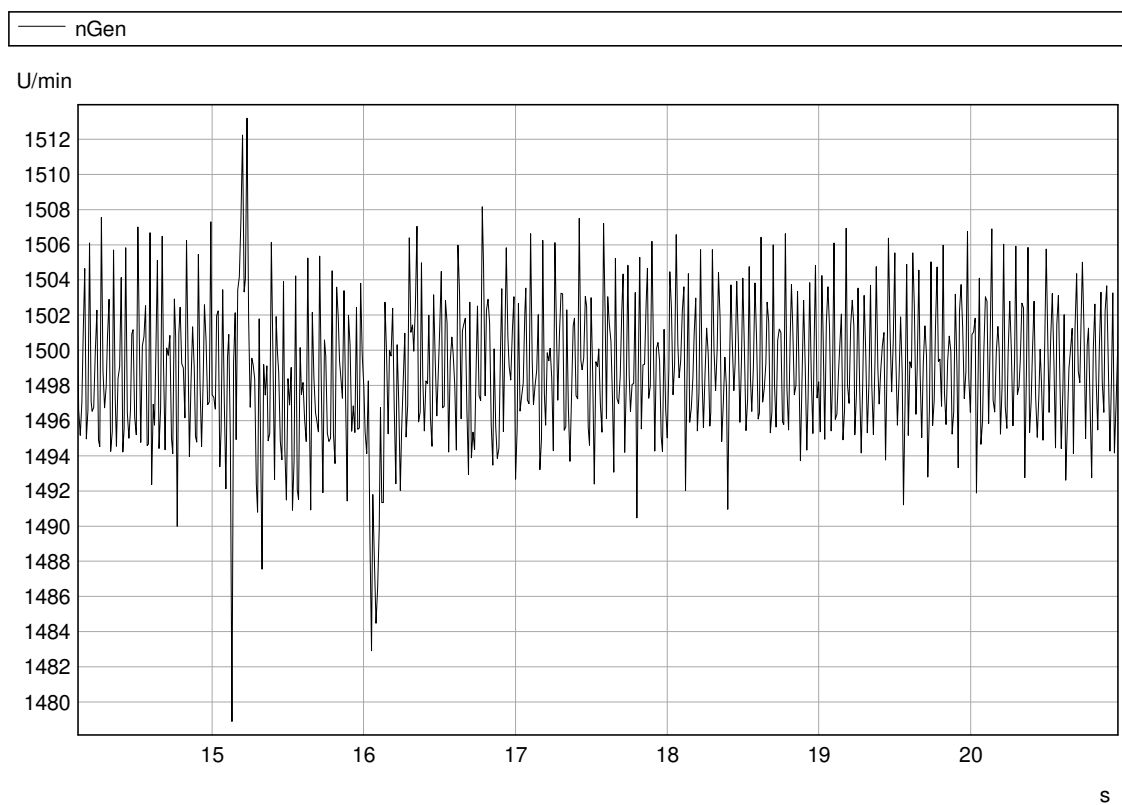


Abb. 218: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.19 Test Nr. 3.1.2.c

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 86: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 3.1.2.c

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.1.2.c	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		11:32:40	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		3	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.057,00	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.054,26	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.909,18	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.859,99	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		854,92	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,77
16		Mitsystem		0,77		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,02	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,03	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,30	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,03	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,03	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,02	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,30	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	1,01	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,31	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	0,957	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,79	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,86	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	1,01	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	1,02	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,08	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	3,77	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	3,74	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	-4,72	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,85	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,55	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	2,03	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	2,15	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	2,10	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,69	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	1,66	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,67	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,74	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	1,00	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	1,00	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	1,01	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,01	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,02	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,65	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,36	[p.u.]

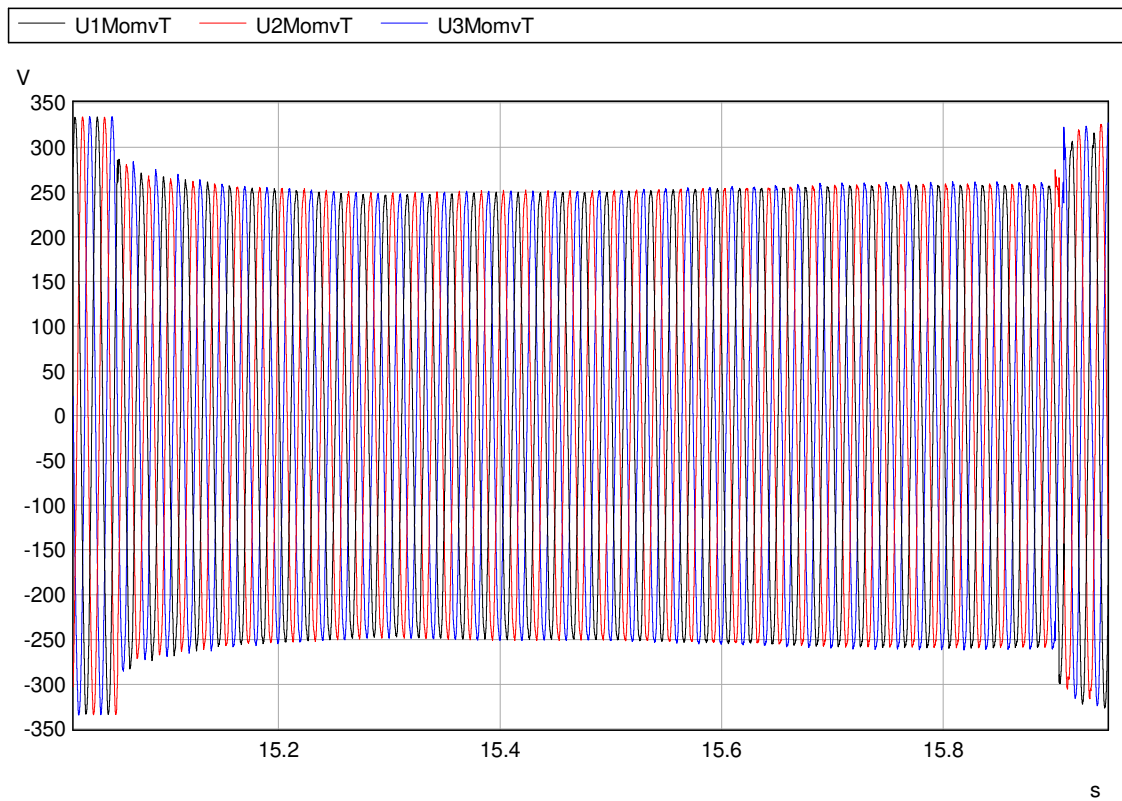


Abb. 219: Zeitverläufe der Spannungen

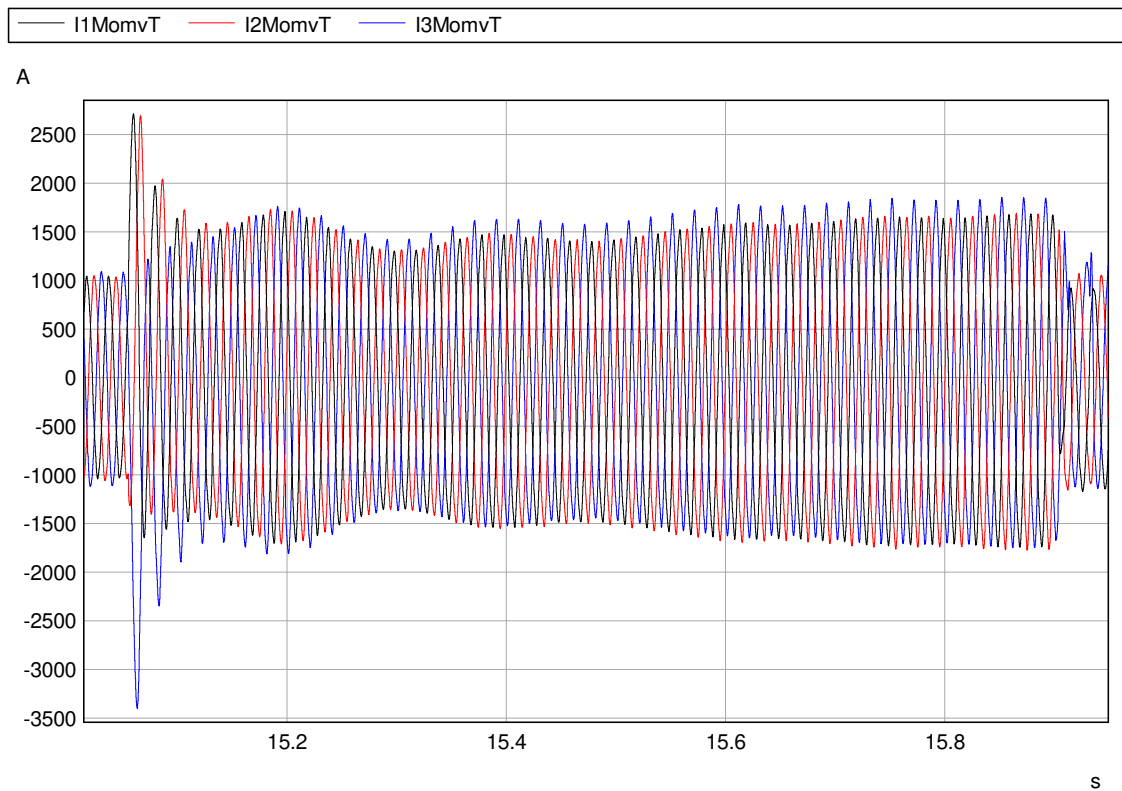


Abb. 220: Zeitverläufe der Ströme

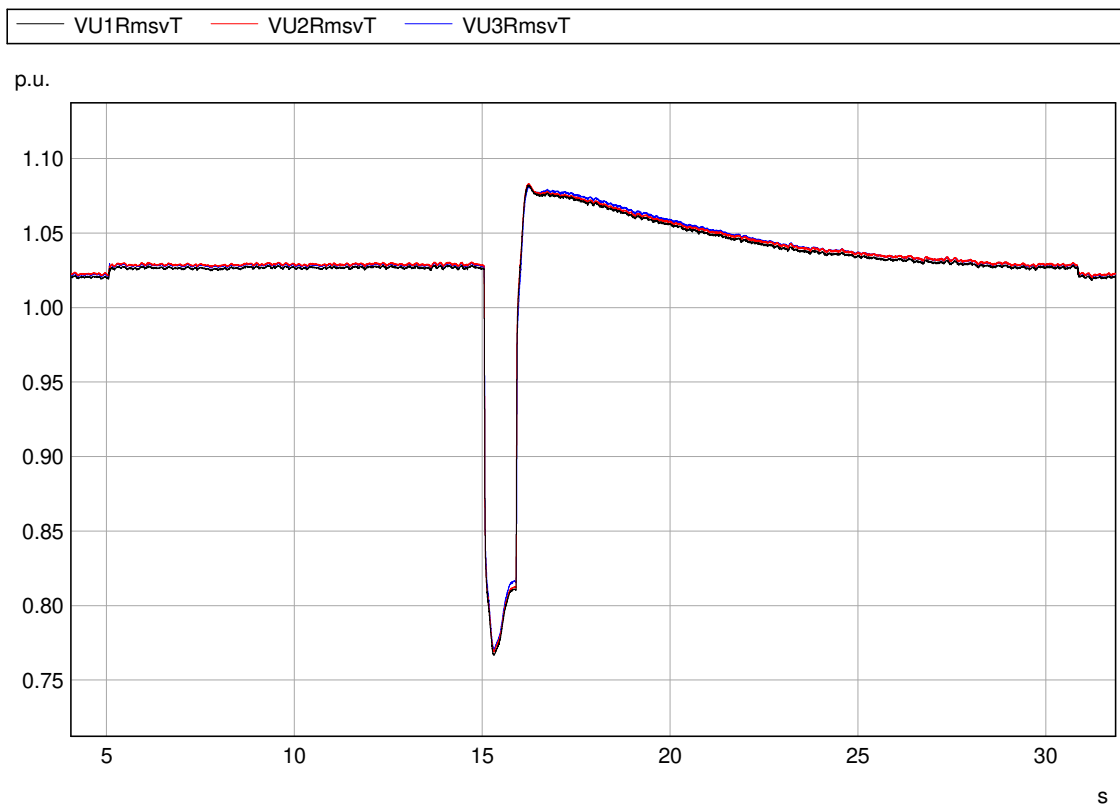


Abb. 221: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

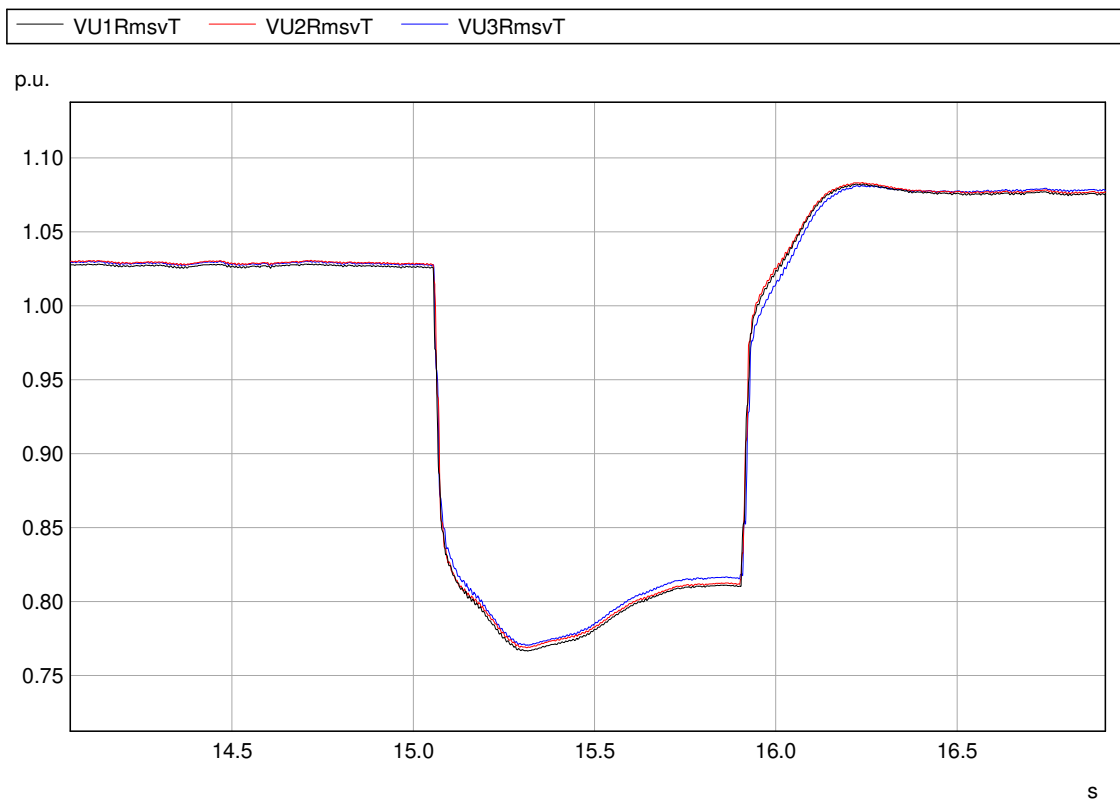


Abb. 222: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

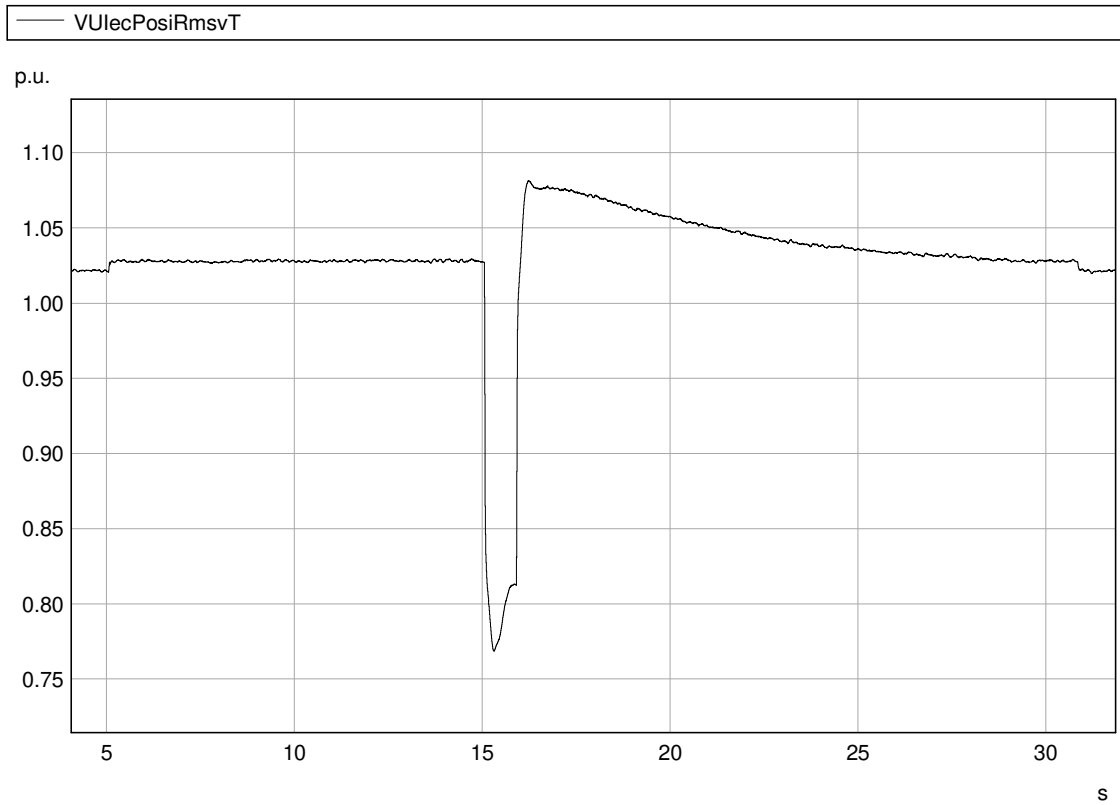


Abb. 223: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

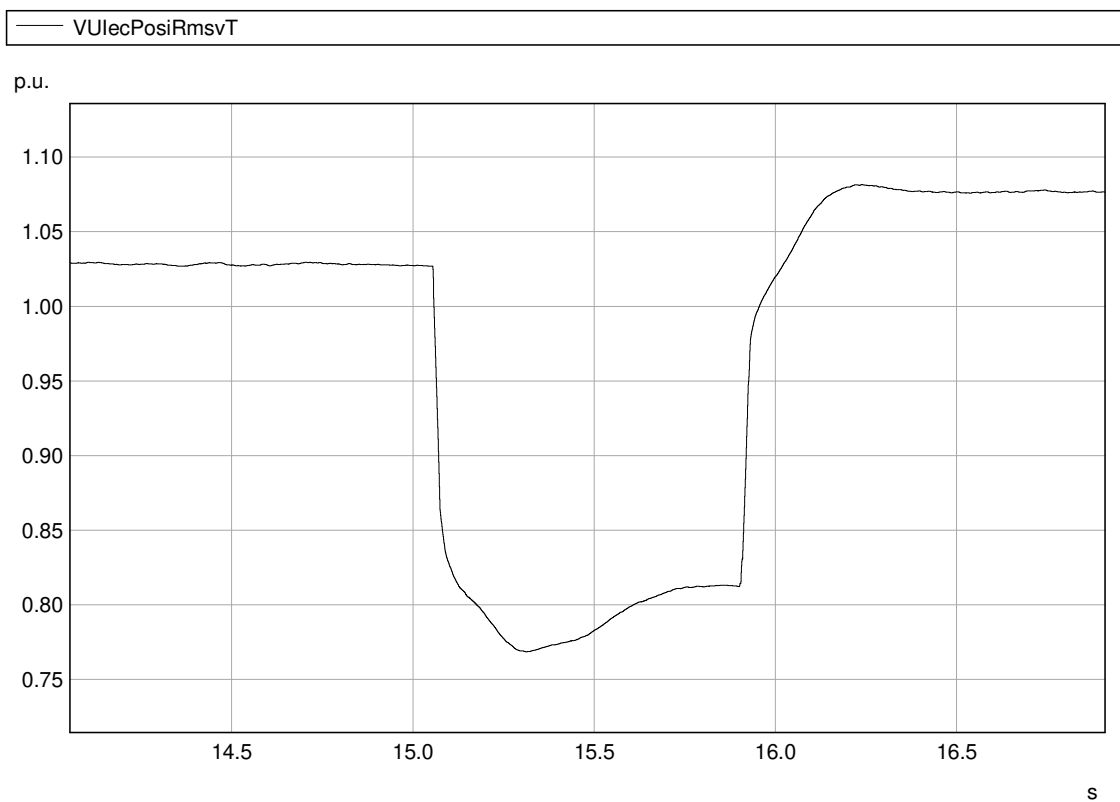


Abb. 224: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

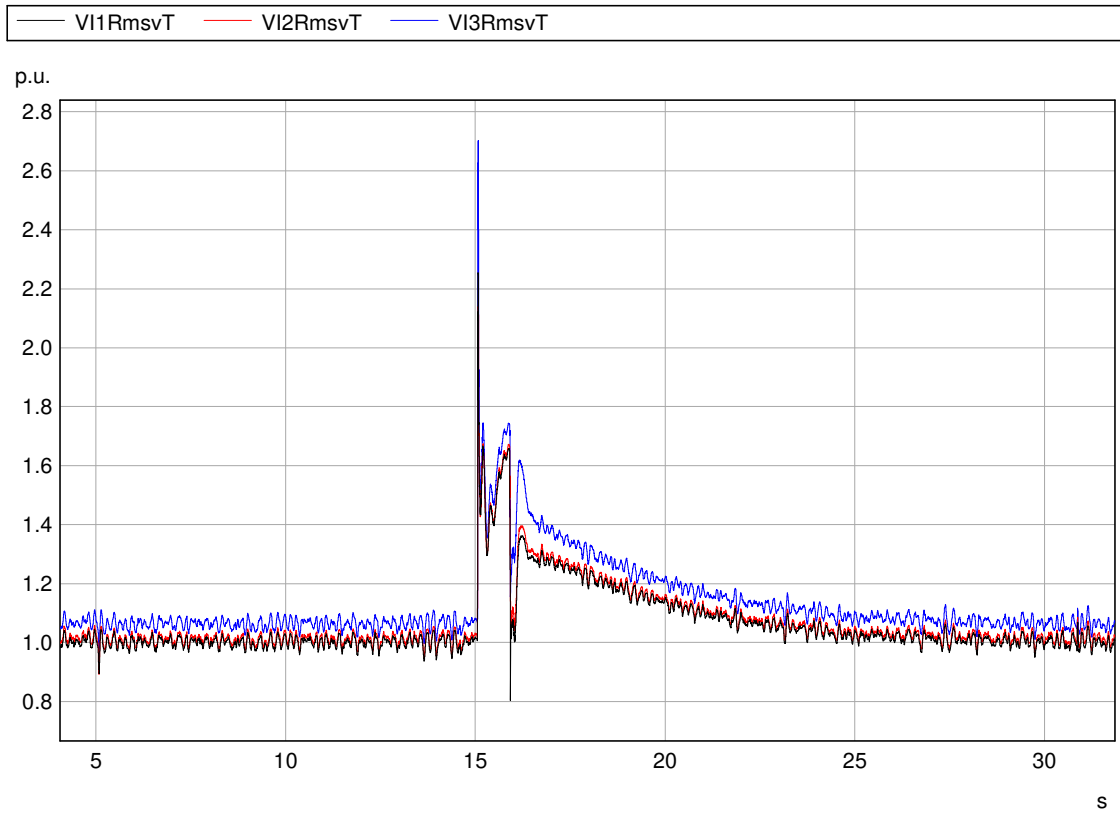


Abb. 225: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t_0 bis t_3)

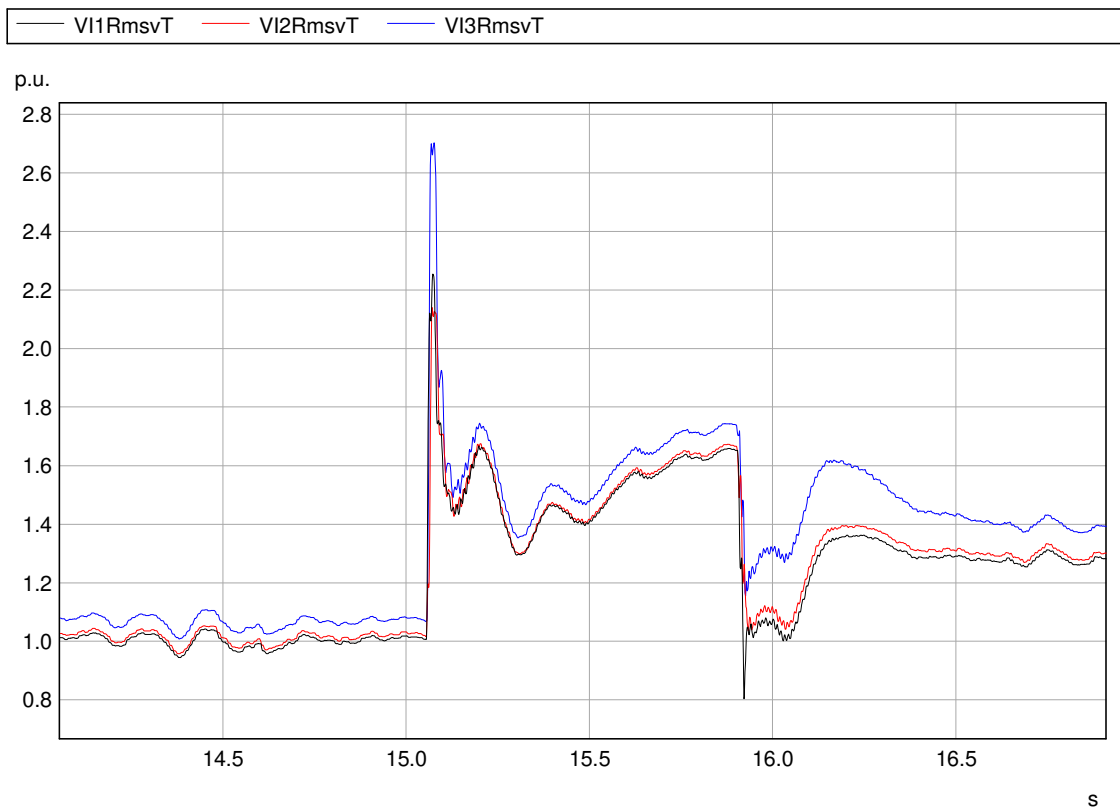


Abb. 226: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t_1 bis t_2)

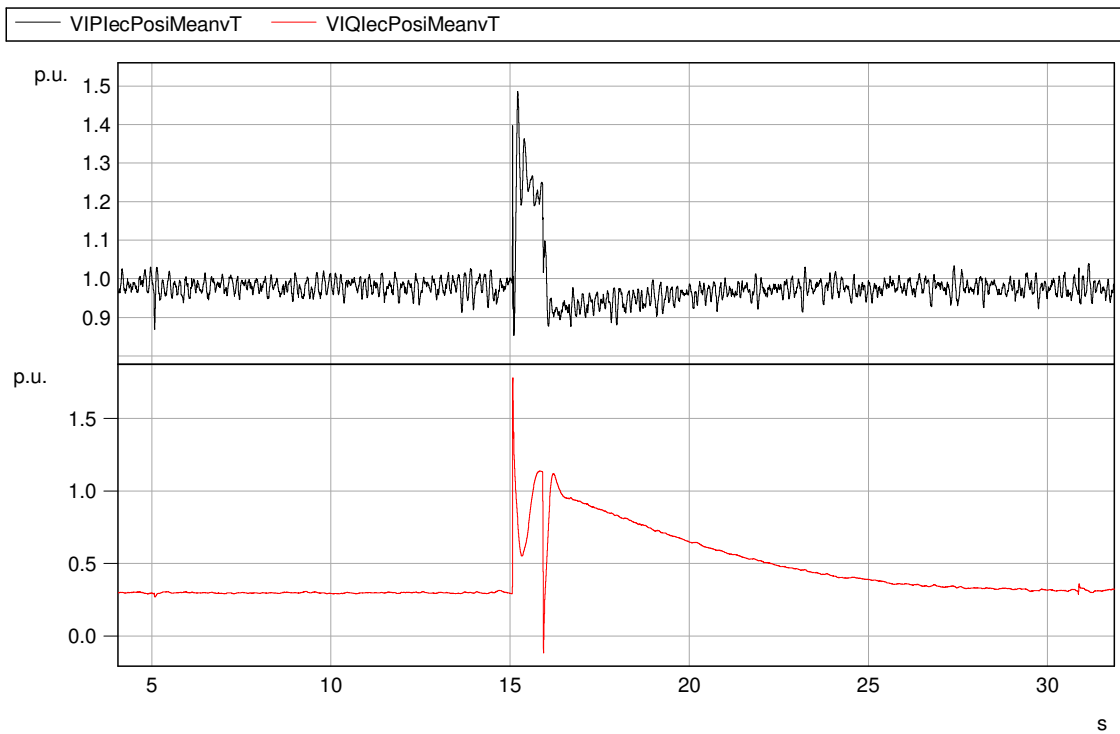


Abb. 227: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

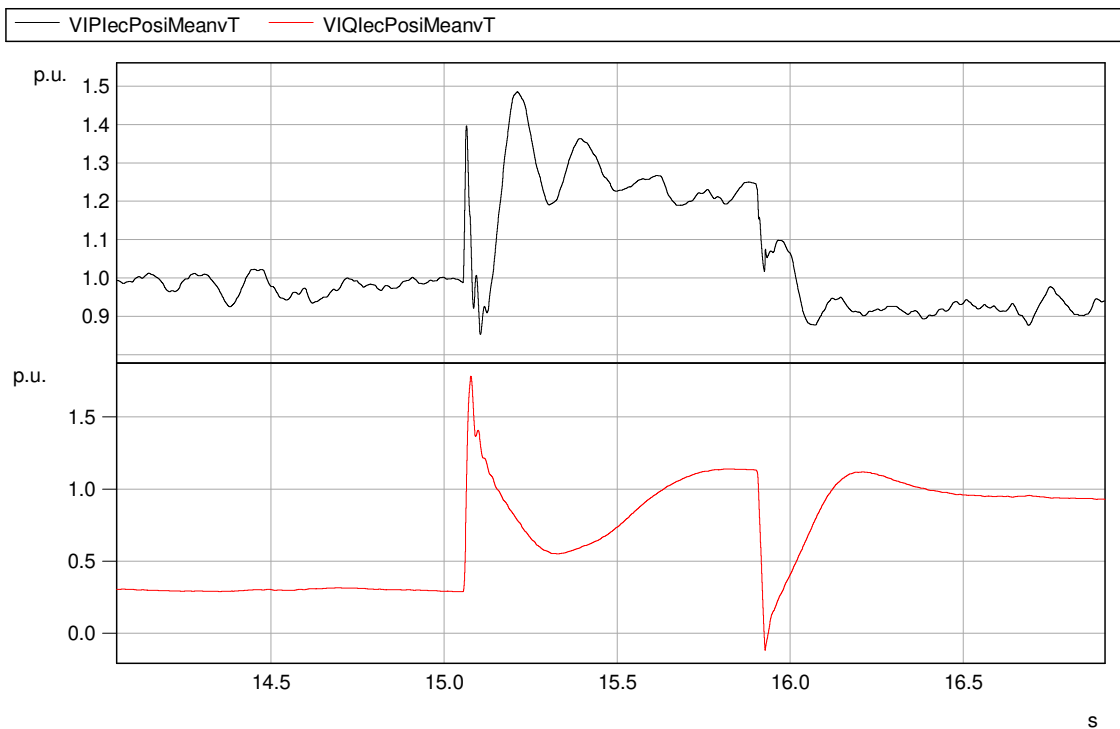


Abb. 228: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

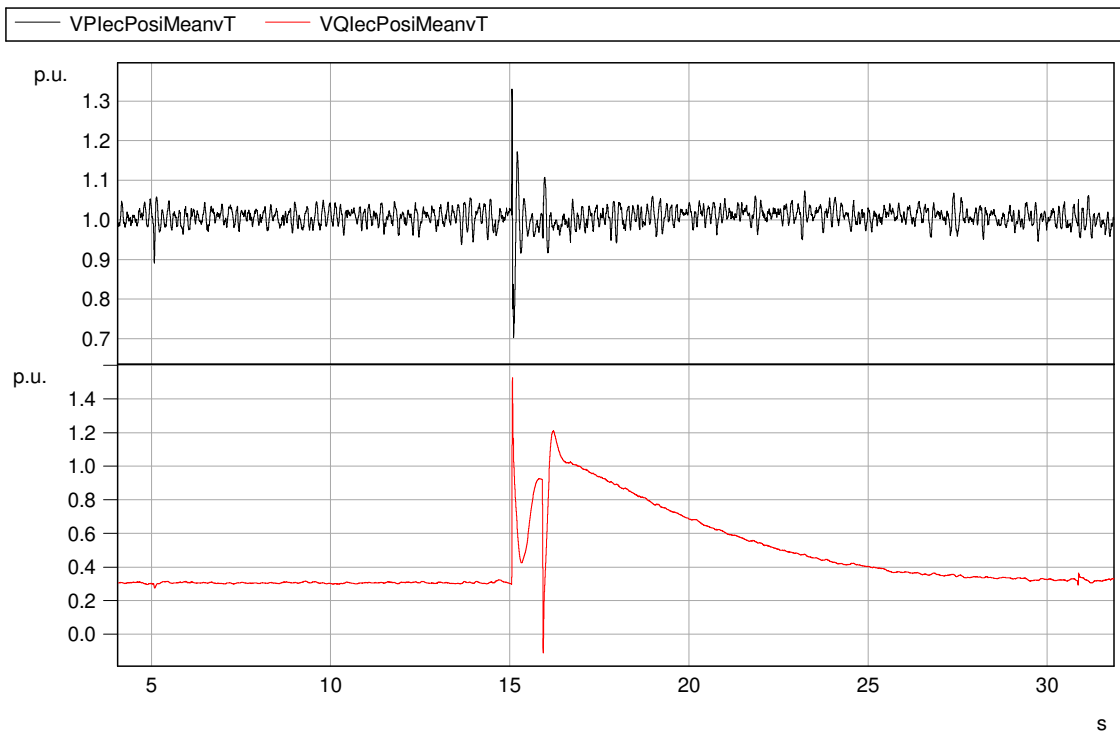


Abb. 229: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

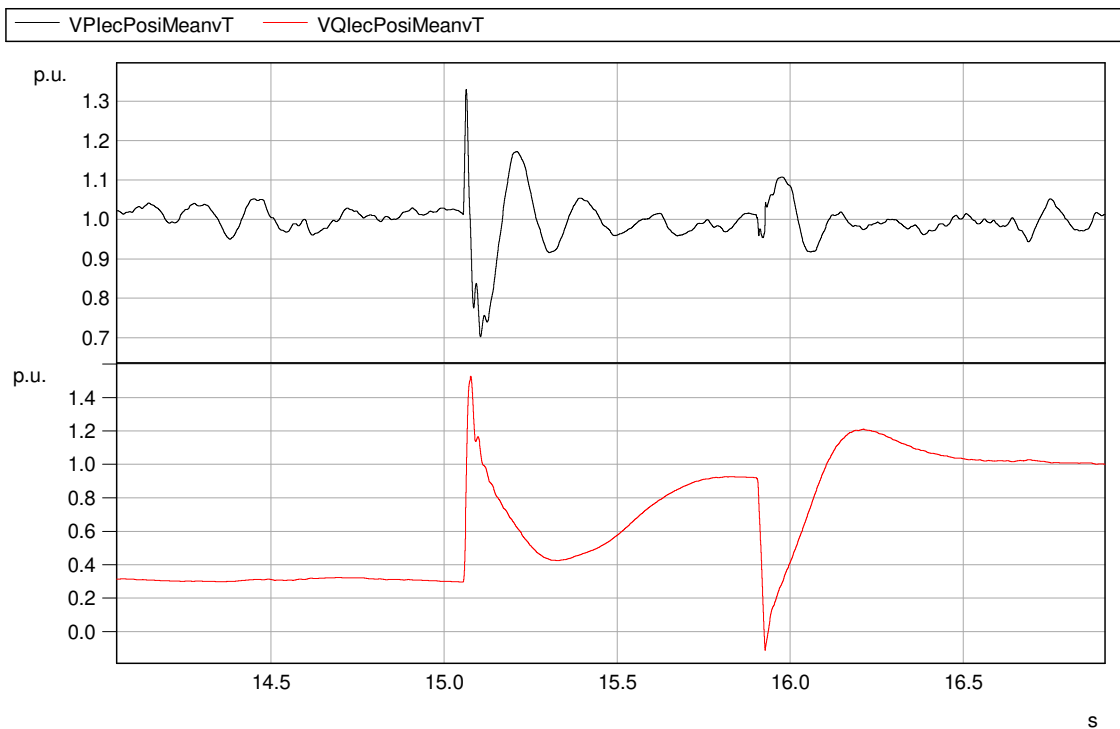


Abb. 230: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

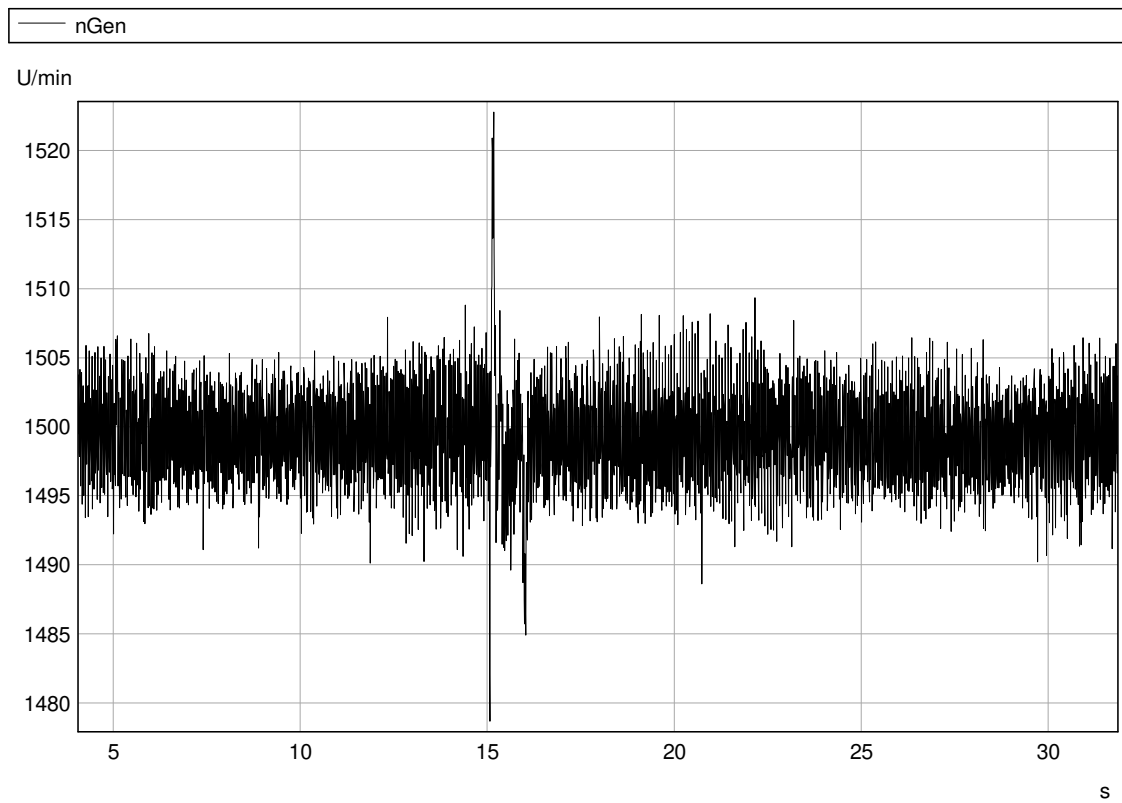


Abb. 231: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

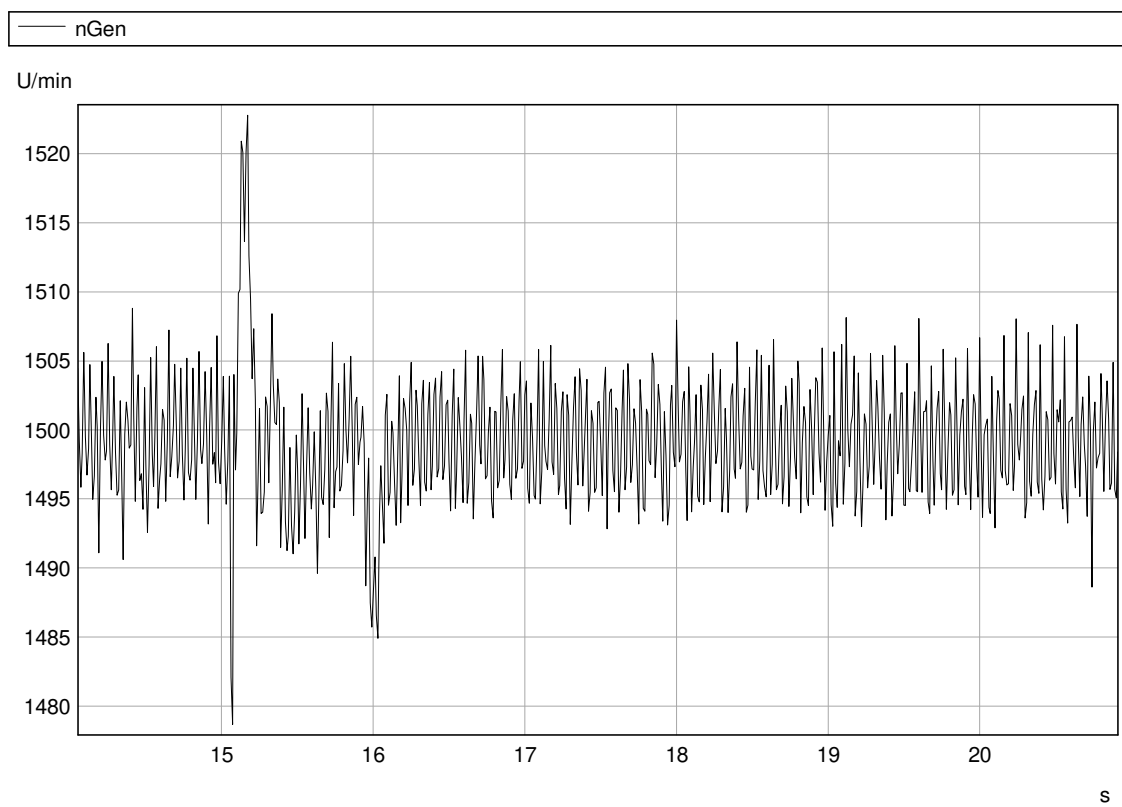


Abb. 232: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.20 Test Nr. 3.2.0 Leerversuch

Tab. 87: Versuch Nr. 3.2.0

Messdatensatz	2016-08-25 09-23-32
Vorlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	10 s
Nachlaufzeit der Serienimpedanz X_{SR}	15 s
Kurzschlussdauer	150 ms

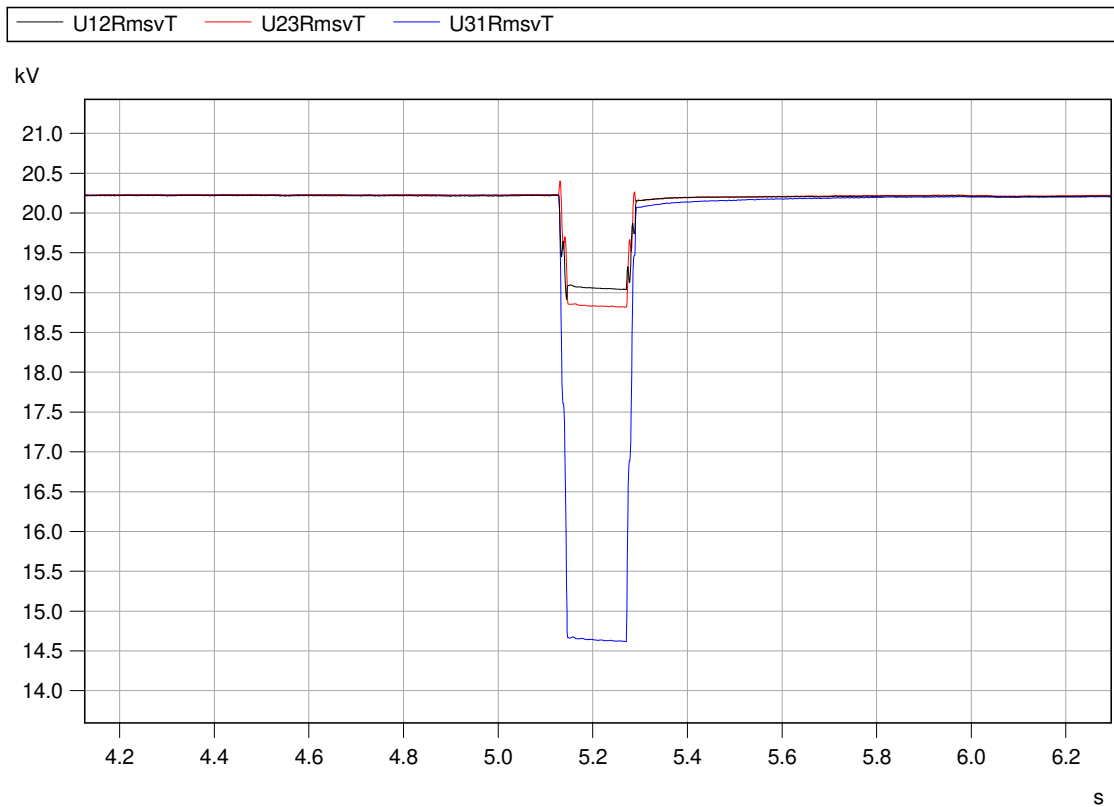


Abb. 233: Effektivwerte der Leiter-Leiter-Spannungen – Mittelspannungsseite

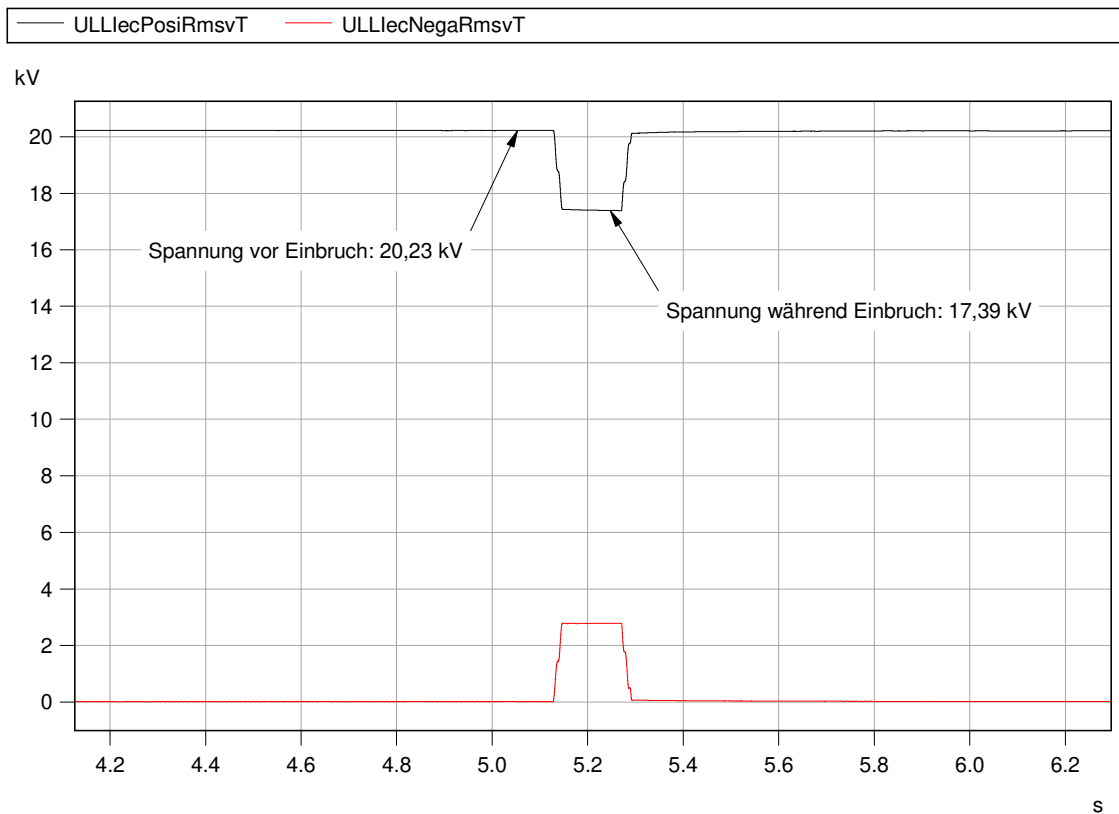


Abb. 234: Spannungen im Mitsystem und Gegensystem – Mittelspannungsseite

Tab. 88: Restspannung

Spannung vor Spannungseinbruch	20,23 kV
Spannung während Spannungseinbruch	17,39 kV
Ermittelte Restspannung	86,00 %



4.6.21 Test Nr. 3.2.1

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 89: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 3.2.1

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.2.1	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		11:07:26	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.065,84	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.073,52	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.919,61	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.878,01	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		846,09	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,91
16		Mitsystem		0,91		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,50	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,02	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,00	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,00	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,01	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	0,50	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,50	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,51	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,01	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,91	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,68	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,48	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,52	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	0,53	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-1,74	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-2,19	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	4,00	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	0,80	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	0,89	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	1,48	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,04	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,26	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,25	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	0,58	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,15	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	1,80	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,48	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	0,50	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	0,49	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	0,51	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	0,51	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,10	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	0,02	[p.u.]

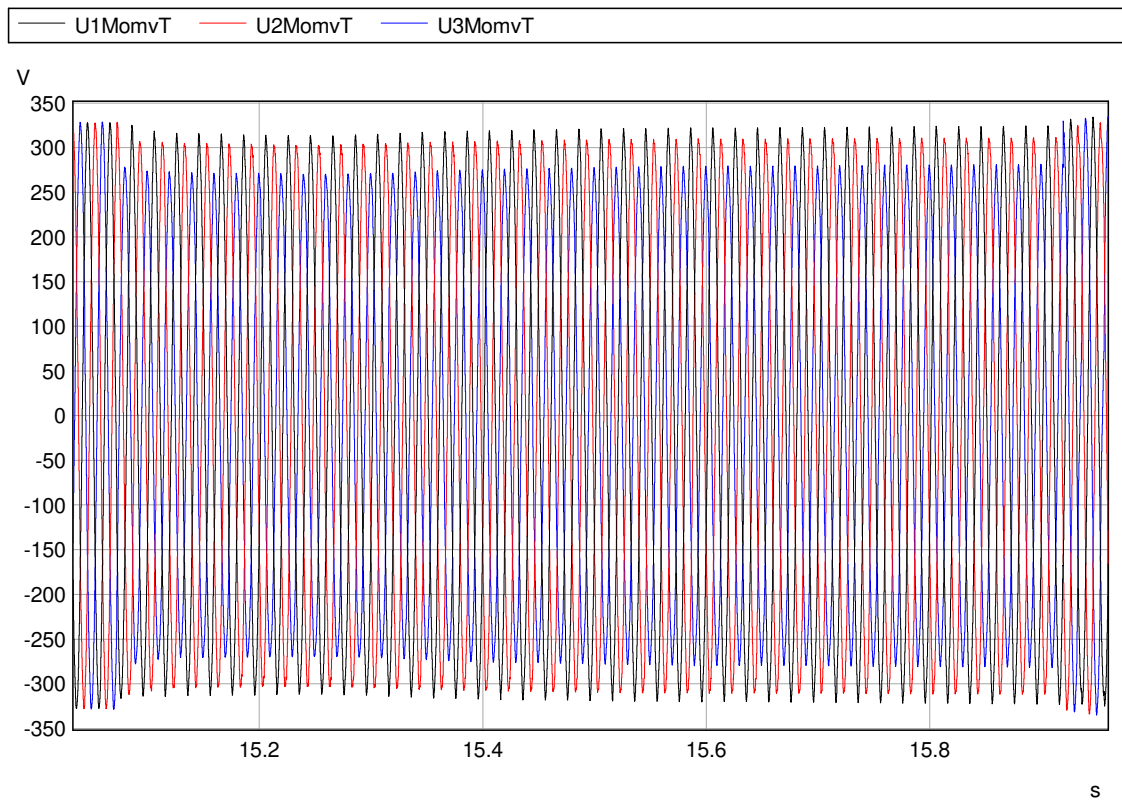


Abb. 235: Zeitverläufe der Spannungen

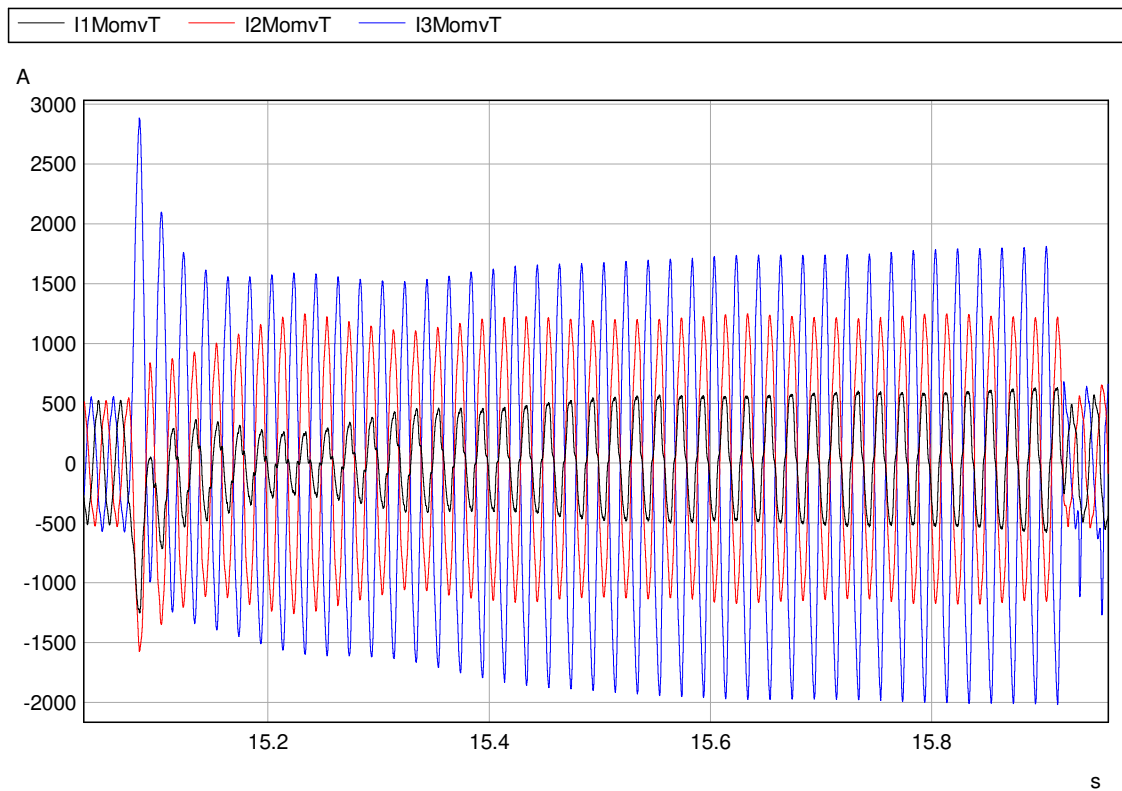


Abb. 236: Zeitverläufe der Ströme

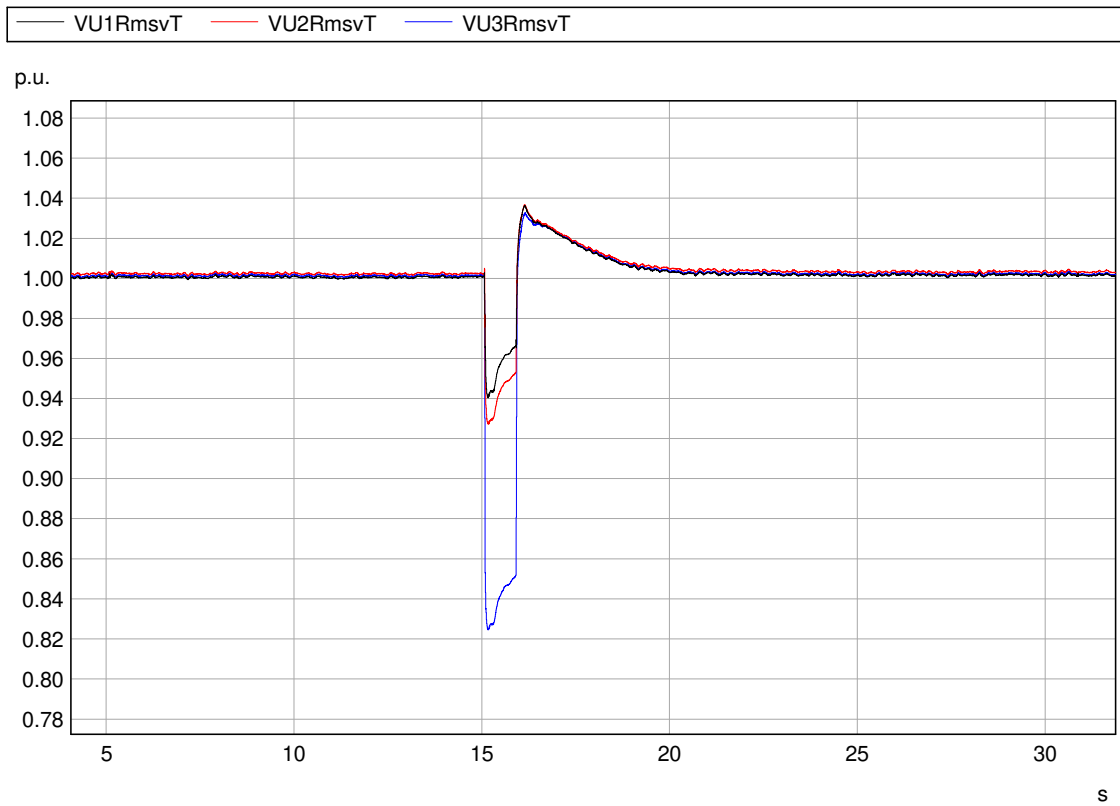


Abb. 237: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

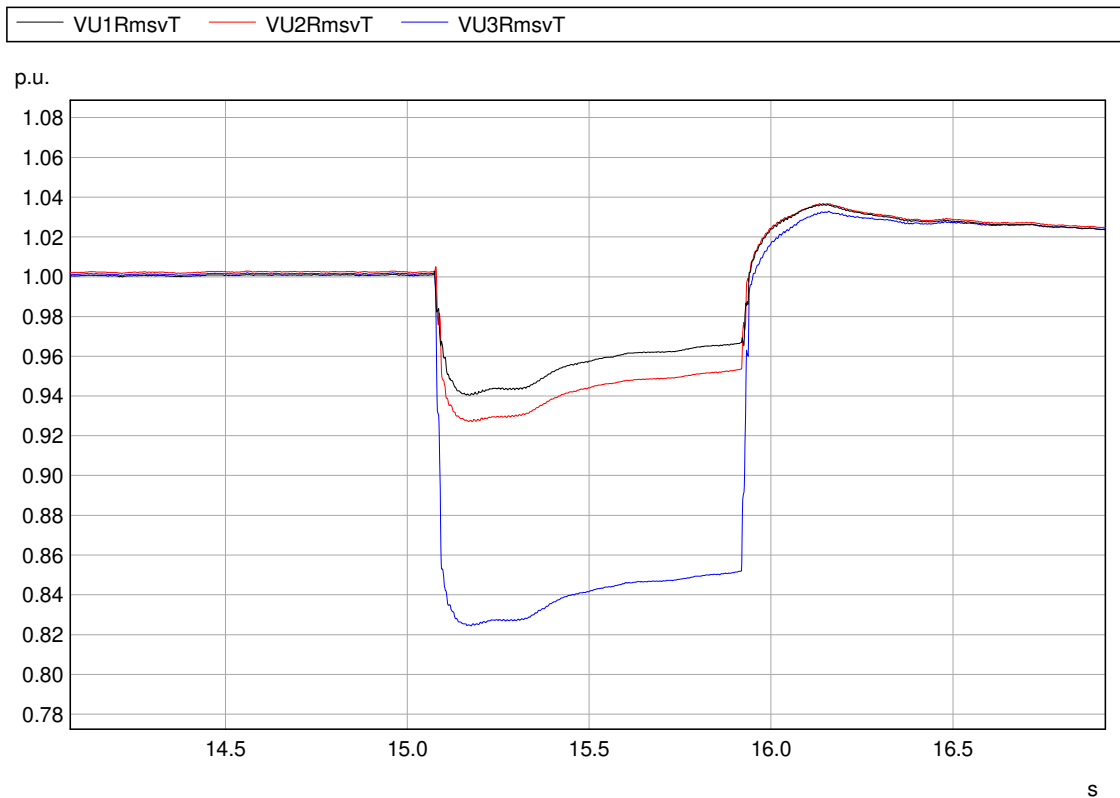


Abb. 238: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

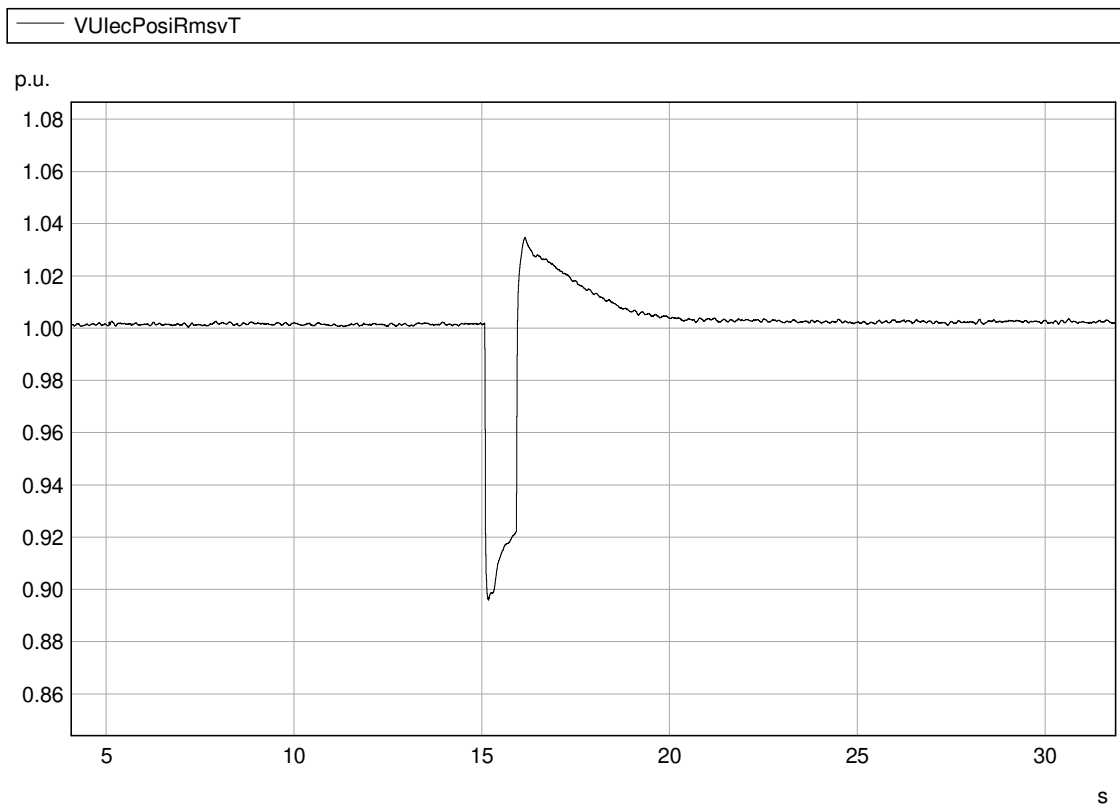


Abb. 239: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

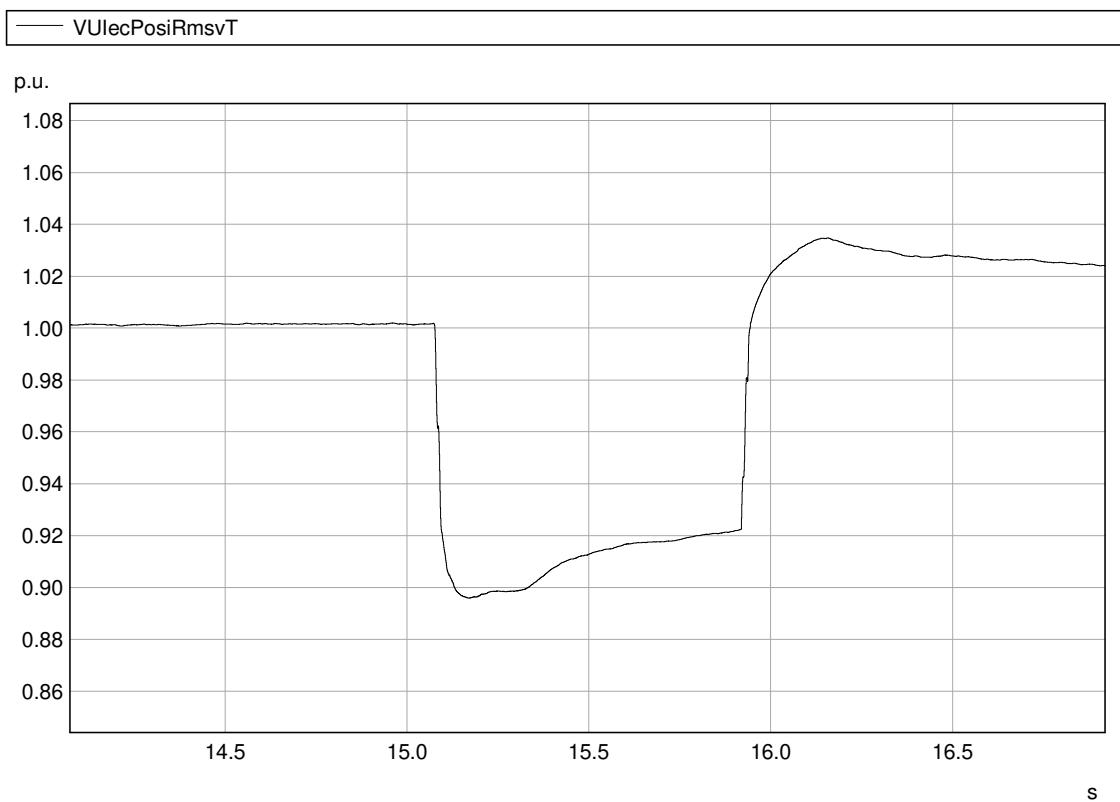


Abb. 240: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

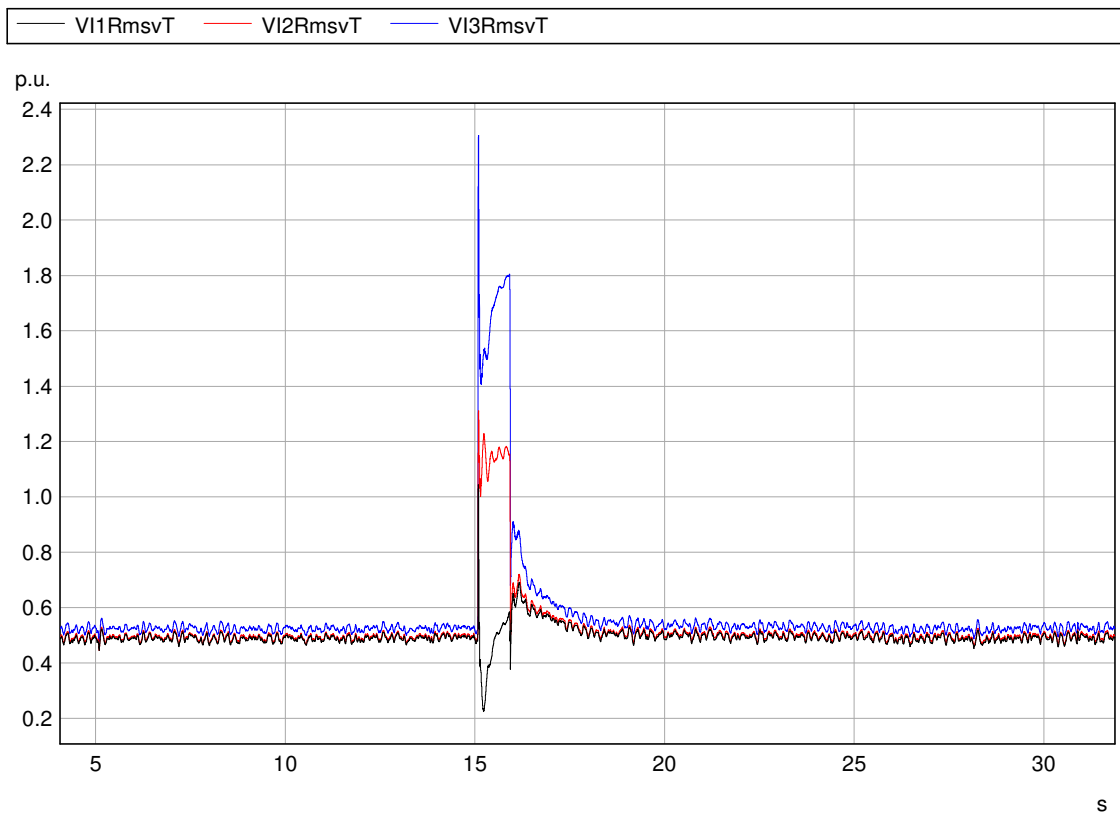


Abb. 241: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)



Abb. 242: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

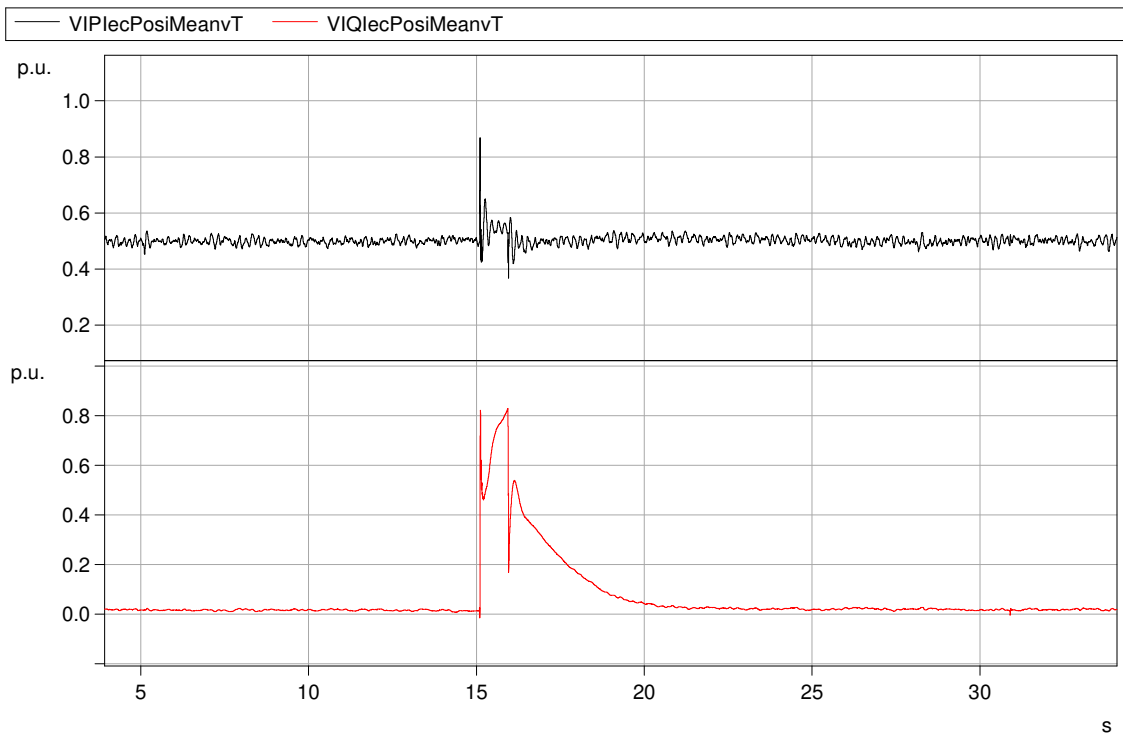


Abb. 243: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

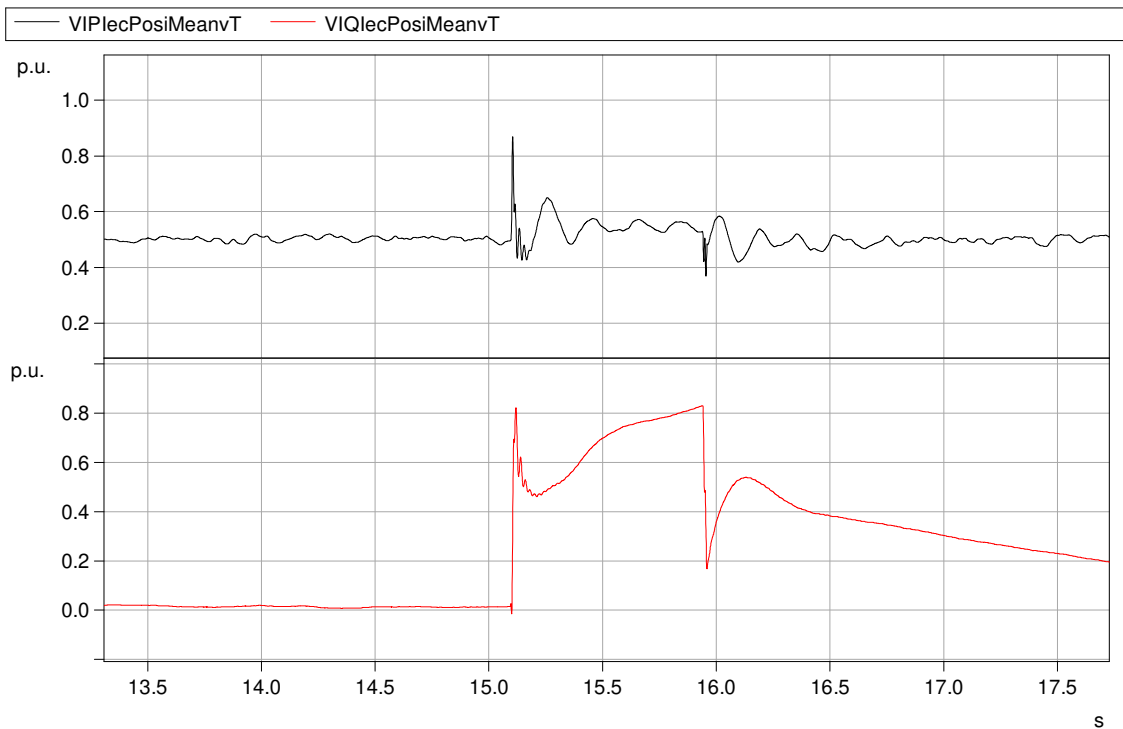


Abb. 244: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

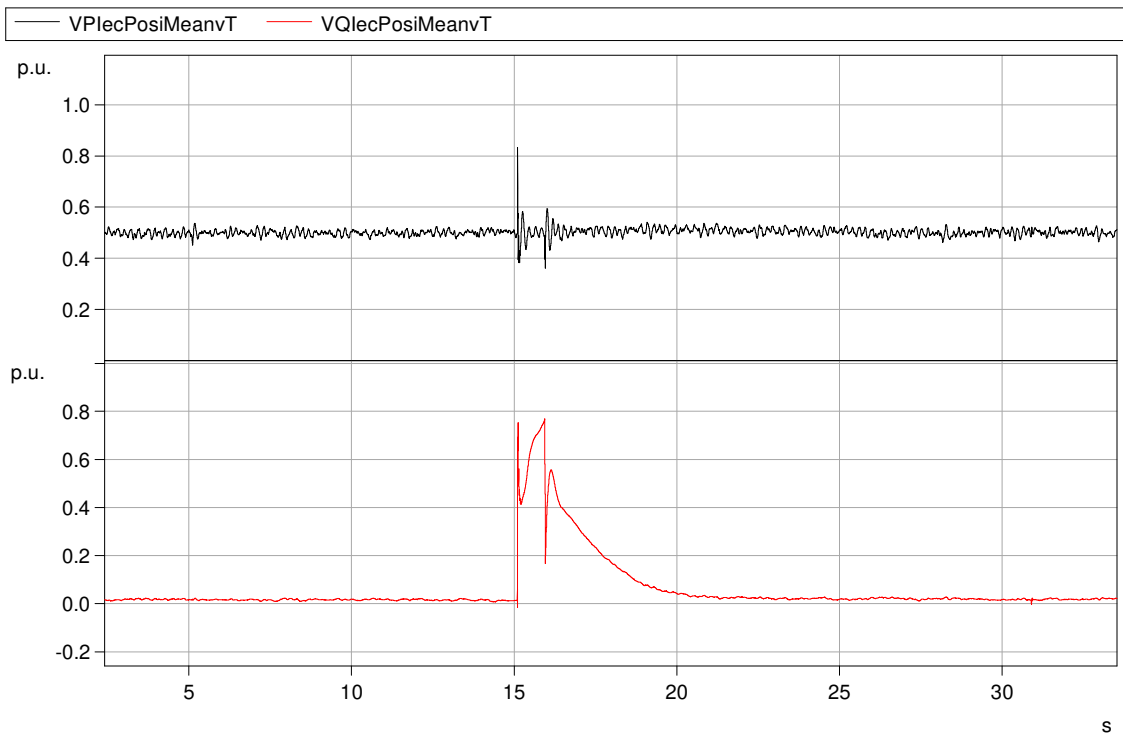


Abb. 245: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

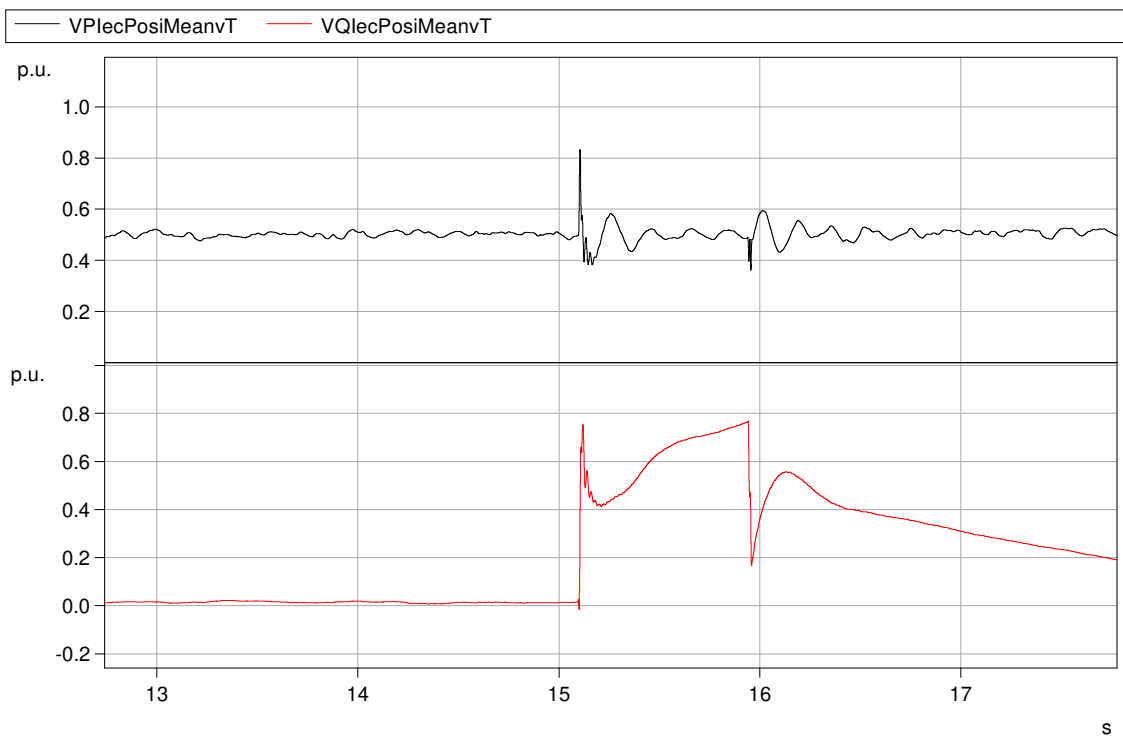


Abb. 246: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

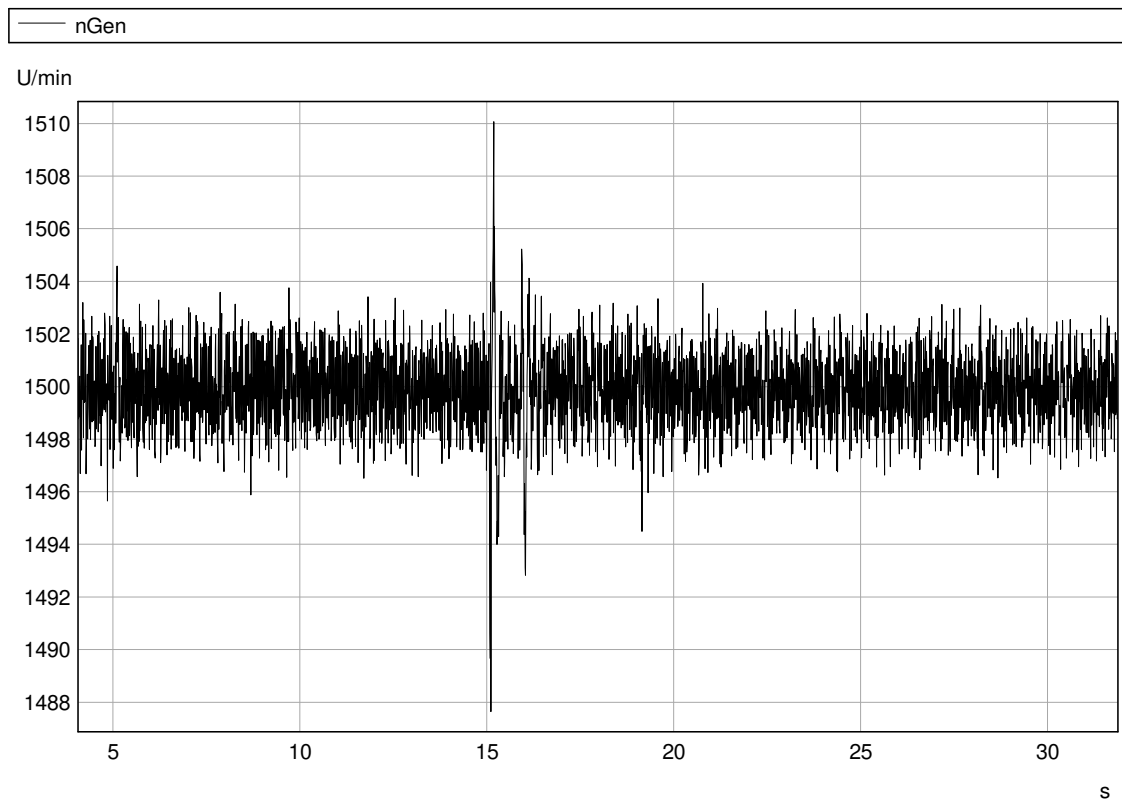


Abb. 247: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

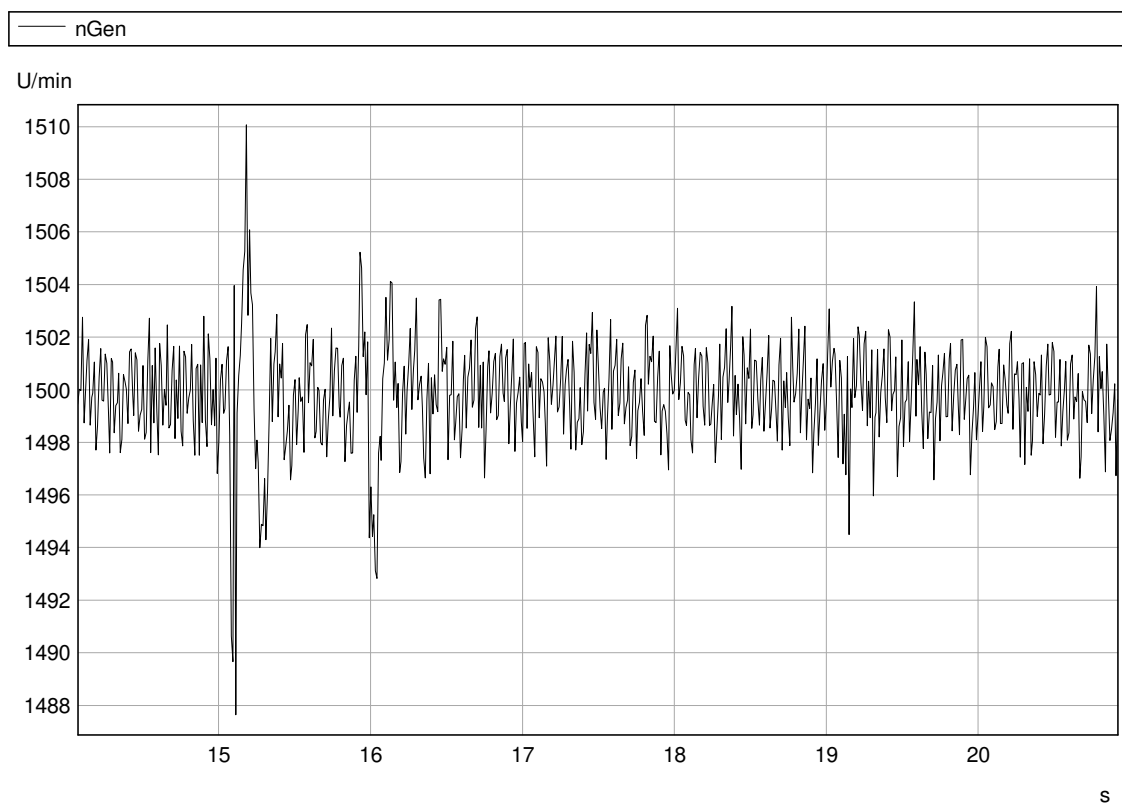


Abb. 248: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



4.6.22 Test Nr. 3.2.2

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Werte des Versuchs.

Tab. 90: Versuchstabelle LVRT Test Nr.: 3.2.2

	Nr	Parameter	Phasenbezug	Bezugszeit	Wert	Einheit
Allg. Angaben	0	Testnummer	-		3.2.2	[-]
	1	Datum	-		25.08.2016	[-]
	2	Zeit	-		10:52:41	[-]
	3	Fehlerart (betroffene Phasen)	-		2	[-]
	4	Sollwert Einbruchtiefe	Außenleiter		0,71	[p.u.]
	5	Sollwert Einbruchsdauer	-		850	[ms]
	6	Wert der Längsimpedanz (X1)	-		18,09	[Ω]
	7	Wert der Längsimpedanz (R1)	-		0,30	[Ω]
	8	Wert der Kurzschlussimpedanz (X2)	-		51,67	[Ω]
	9	Wert der Kurzschlussimpedanz (R2)	-		0,87	[Ω]
	10	Zuschaltung Längsimpedanz (t0)	Gesamt		5.073,05	[ms]
	11	Fehlereintritt (t1)	Gesamt		15.076,47	[ms]
	12	Fehlerklärung (t2)	Gesamt		15.921,39	[ms]
	13	Überbrückung Längsimpedanz (t3)	Gesamt		30.870,05	[ms]
	14	Fehlerdauer ermittelt aus Test	Gesamt		844,92	[ms]
		15	Spannungseinbruchtiefe ermittelt aus Test	Gesamt	t1+100ms bis t2 und t1-10s bis t1	0,92
16		Mitsystem		0,91		[p.u.]
vor t0	17	Spannung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,01	[p.u.]
	18	Strom	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	0,99	[p.u.]
	19	Wirkleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	1,00	[p.u.]
	20	Blindleistung	Mitsystem	t0-500ms bis t0-100ms	-0,02	[p.u.]
vor t1	21	Spannung	Mitsystem	t1-1s bis t1	1,01	[p.u.]
	22		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	1,01	[p.u.]
	23	Strom	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,98	[p.u.]



	24	Blindstrom	Mitsystem	t1-1s bis t1	0,00	[p.u.]
	25	Wirkleistung	Gesamt	t1-10s bis t1	1,01	[p.u.]
	26		Gesamt	t1-2s bis t1	0,99	[p.u.]
	27		Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,99	[p.u.]
	28	Blindleistung	Mitsystem	t1-500ms bis t1-100ms	0,00	[p.u.]
	29	cosφ	-	10s vor t1 bis t1	1,000	[-]
t1 bis t2	30	Spannung	Mitsystem	t1+100ms bis t2-20ms	0,92	[p.u.]
	31	Blindstrom	Mitsystem	t1+100 ms bis t2-20 ms	0,69	[p.u.]
	32	Kurzschlussströme Halbschwingungseffektivwerte	Phase 1	t1+10ms	0,94	[p.u.]
	33		Phase 2	t1+10ms	0,98	[p.u.]
	34		Phase 3	t1+10ms	1,02	[p.u.]
	35	Kurzschlussströme Scheitelwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	-1,65	[p.u.]
	36		Phase 2	t1 bis t1+20ms	-2,96	[p.u.]
	37		Phase 3	t1 bis t1+20ms	4,47	[p.u.]
	38	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t1 bis t1+20ms	1,10	[p.u.]
	39		Phase 2	t1 bis t1+20ms	1,39	[p.u.]
	40		Phase 3	t1 bis t1+20ms	1,97	[p.u.]
	41		Phase 1	t1+150ms	1,11	[p.u.]
	42		Phase 2	t1+150ms	1,73	[p.u.]
	43		Phase 3	t1+150ms	2,58	[p.u.]
	44	Kurzschlussströme 1-Perioden-Effektivwerte	Phase 1	t2-20ms	0,63	[p.u.]
	45		Phase 2	t2-20ms	1,75	[p.u.]
	46		Phase 3	t2-20ms	2,15	[p.u.]
	47	Wirkleistung	Gesamt	t1+100ms bis t2-20ms	0,98	[p.u.]
48	Mitsystem		t1+100ms bis t2-20ms	1,00	[p.u.]	
nach t2	49	Wirkleistung	Gesamt	t2+5s	1,06	[p.u.]
	50		Gesamt	t2 bis t2+5s	1,02	[p.u.]
	51		Gesamt	t2+5s bis t2+6s	1,01	[p.u.]
	52	Blindleistung	Gesamt	t2 bis t2+10s	0,12	[p.u.]
	53		Gesamt	t2+10s bis t2+11s	-0,01	[p.u.]

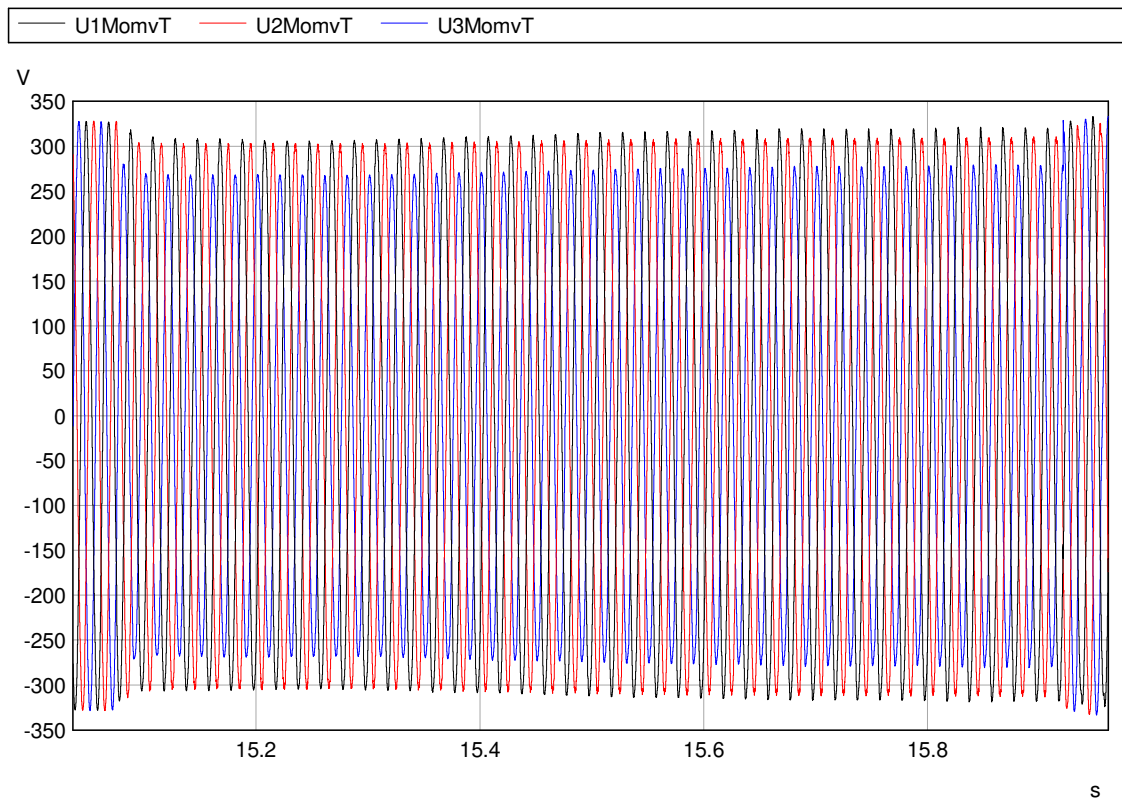


Abb. 249: Zeitverläufe der Spannungen

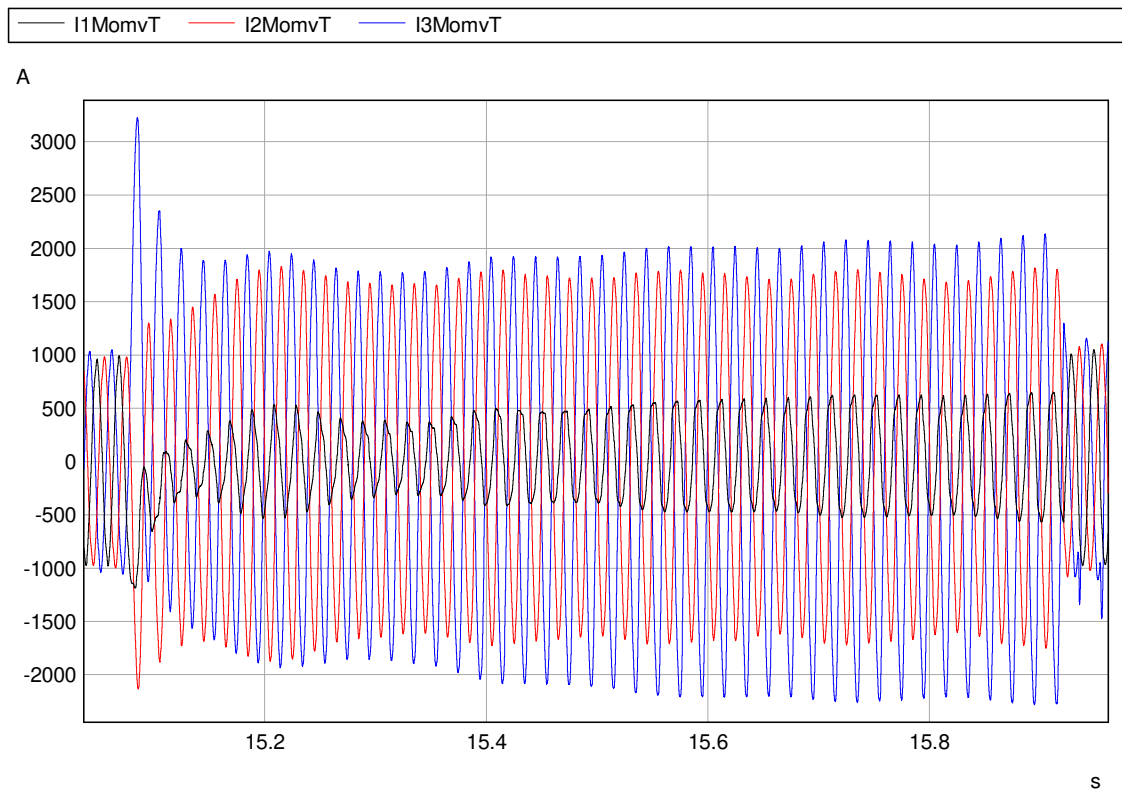


Abb. 250: Zeitverläufe der Ströme

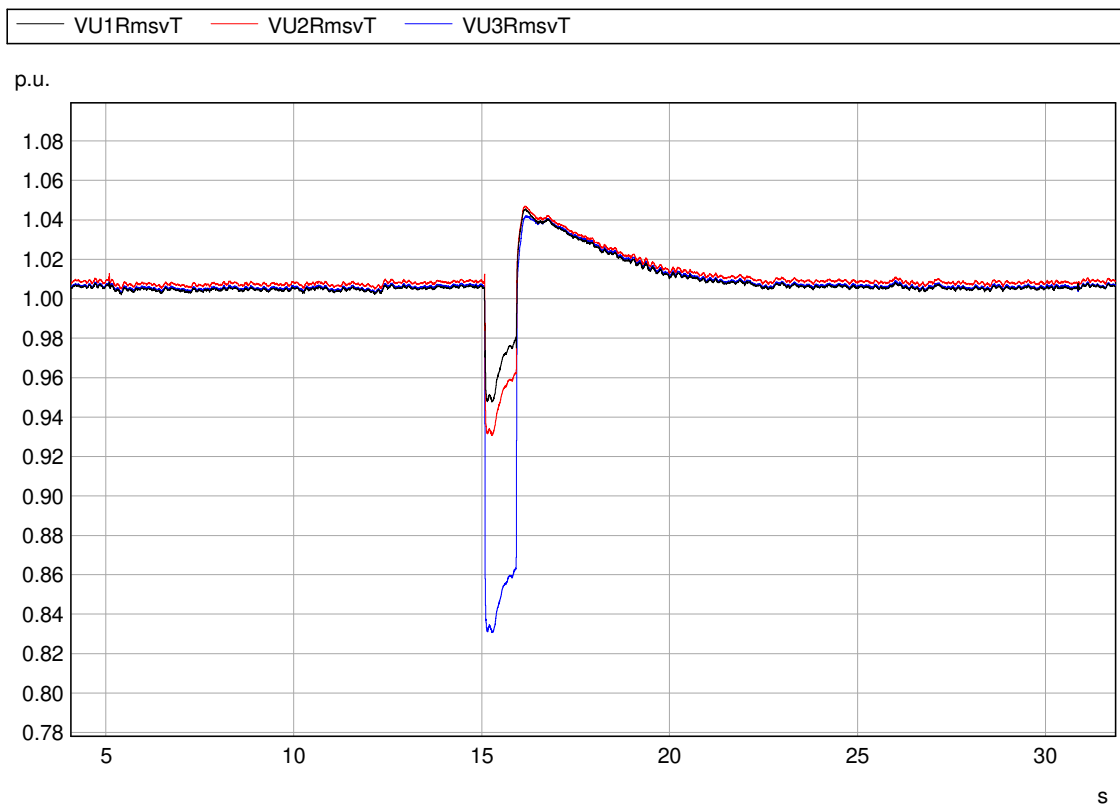


Abb. 251: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t0 bis t3)

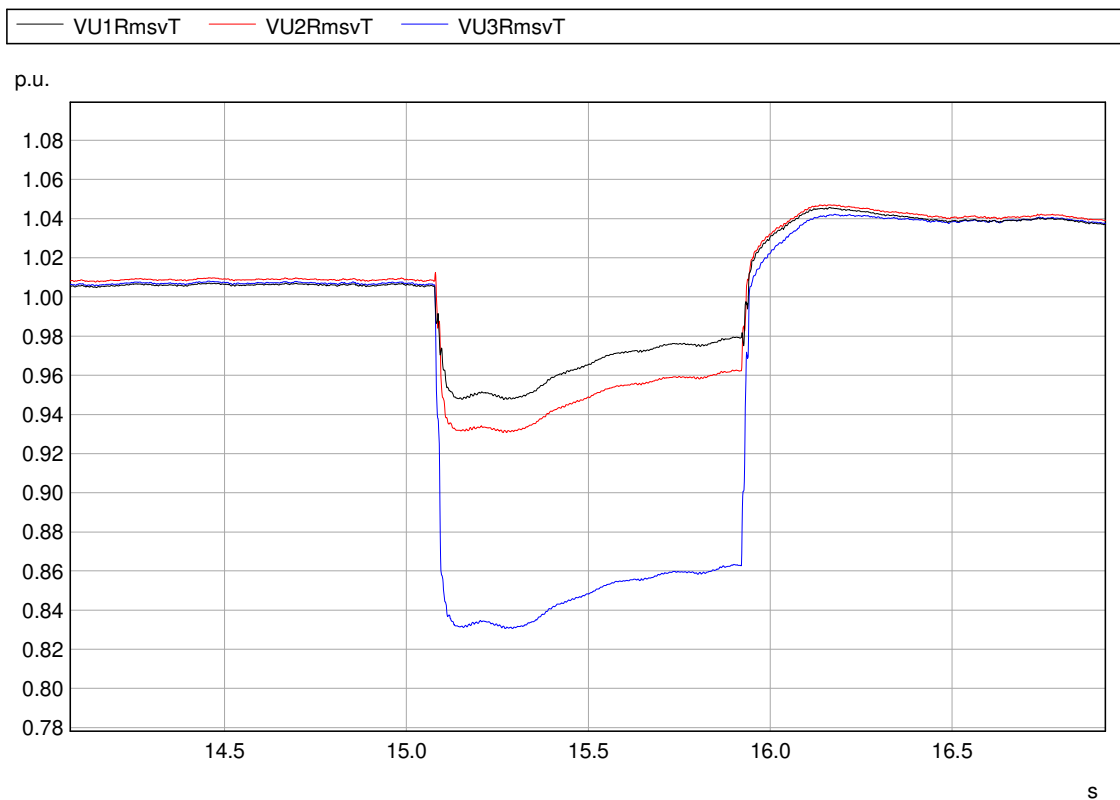


Abb. 252: 20 ms-Effektivwerte der Leiter-Erde-Spannungen (t1 bis t2)

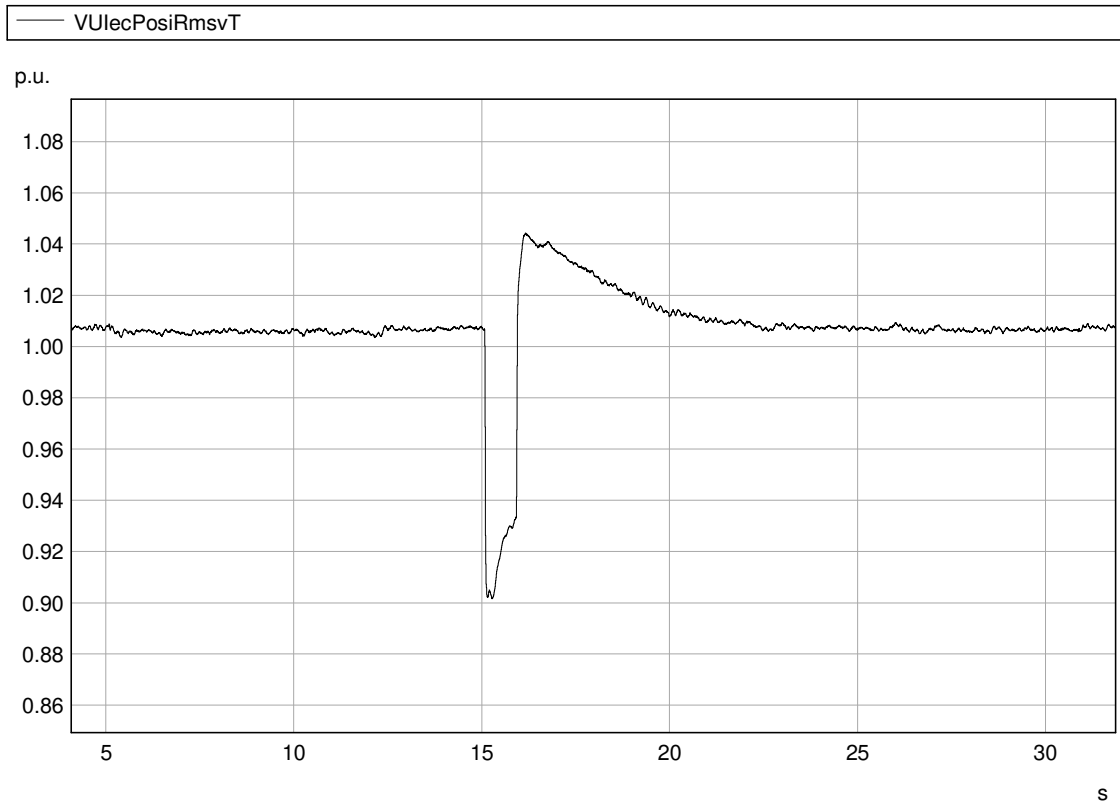


Abb. 253: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t0 bis t3)

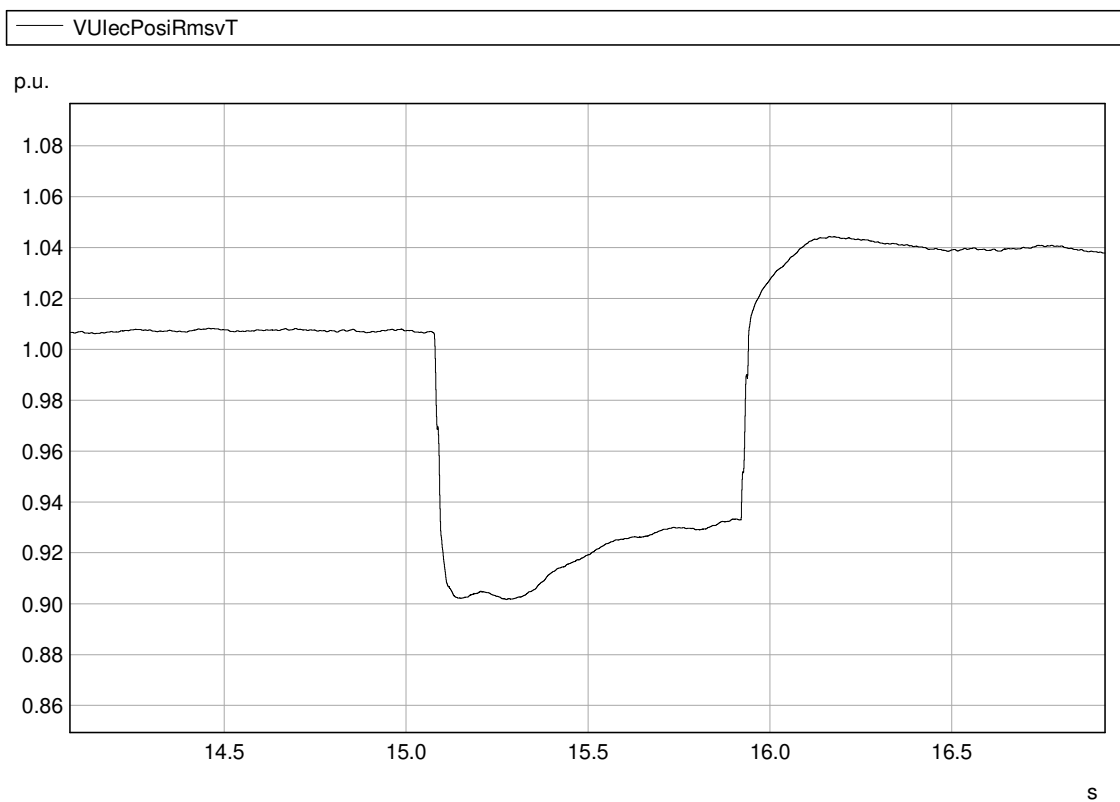


Abb. 254: 20 ms-Werte der Spannungen im Mitsystem (t1 bis t2)

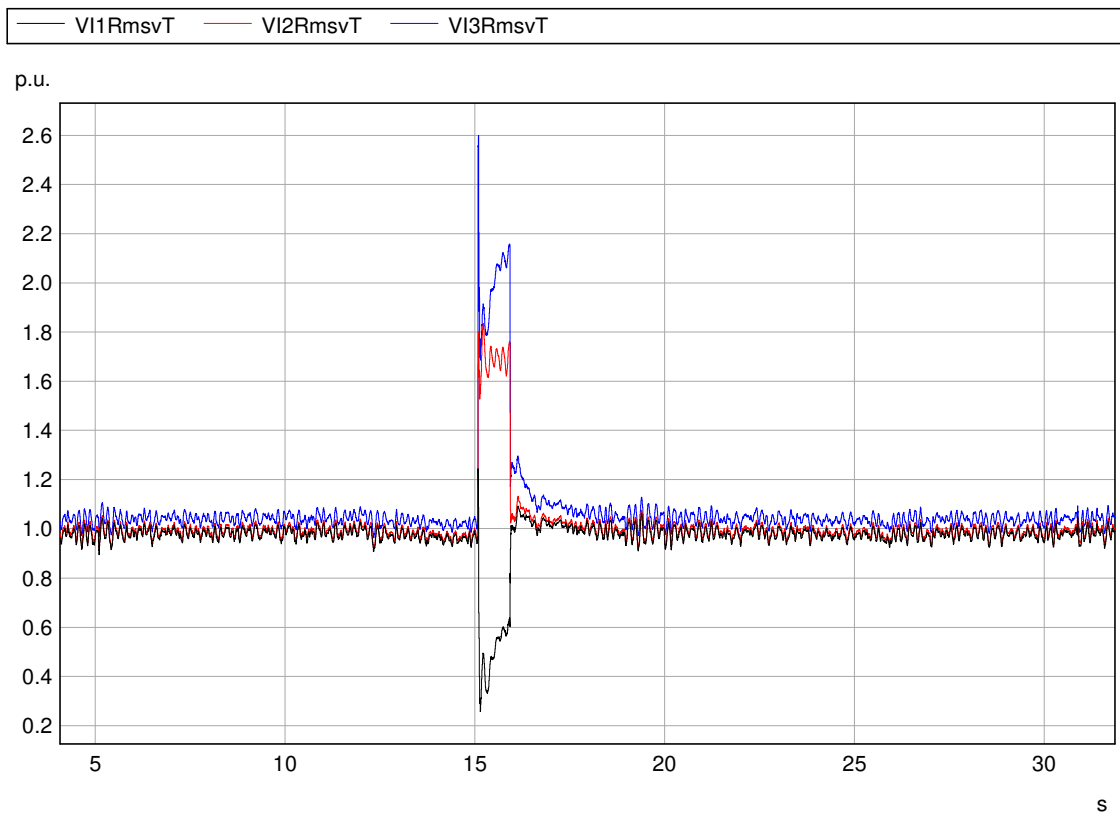


Abb. 255: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t0 bis t3)

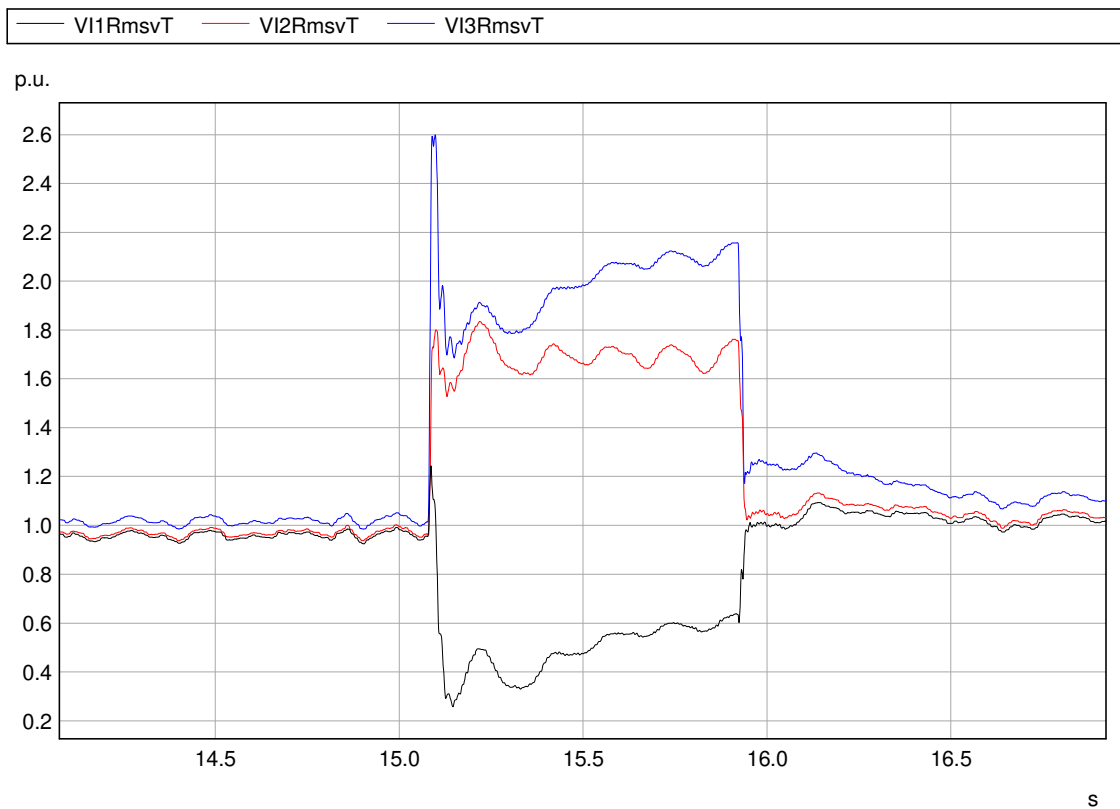


Abb. 256: 20 ms-Effektivwerte der Ströme (t1 bis t2)

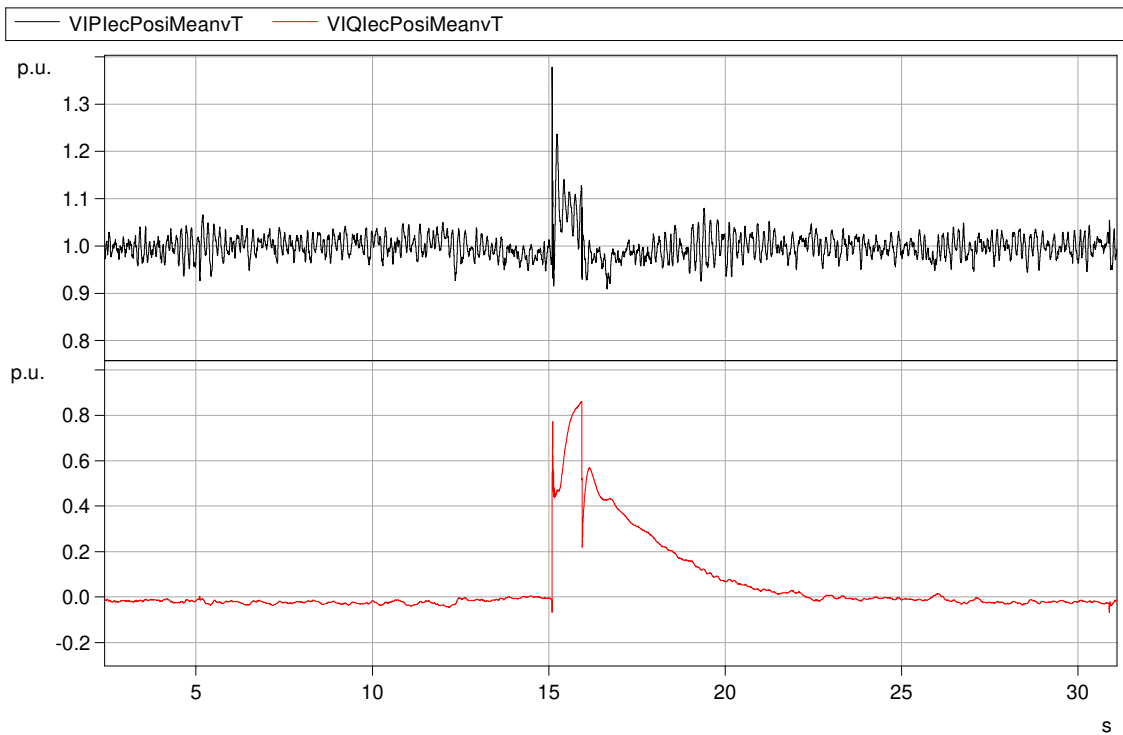


Abb. 257: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t0 bis t3)

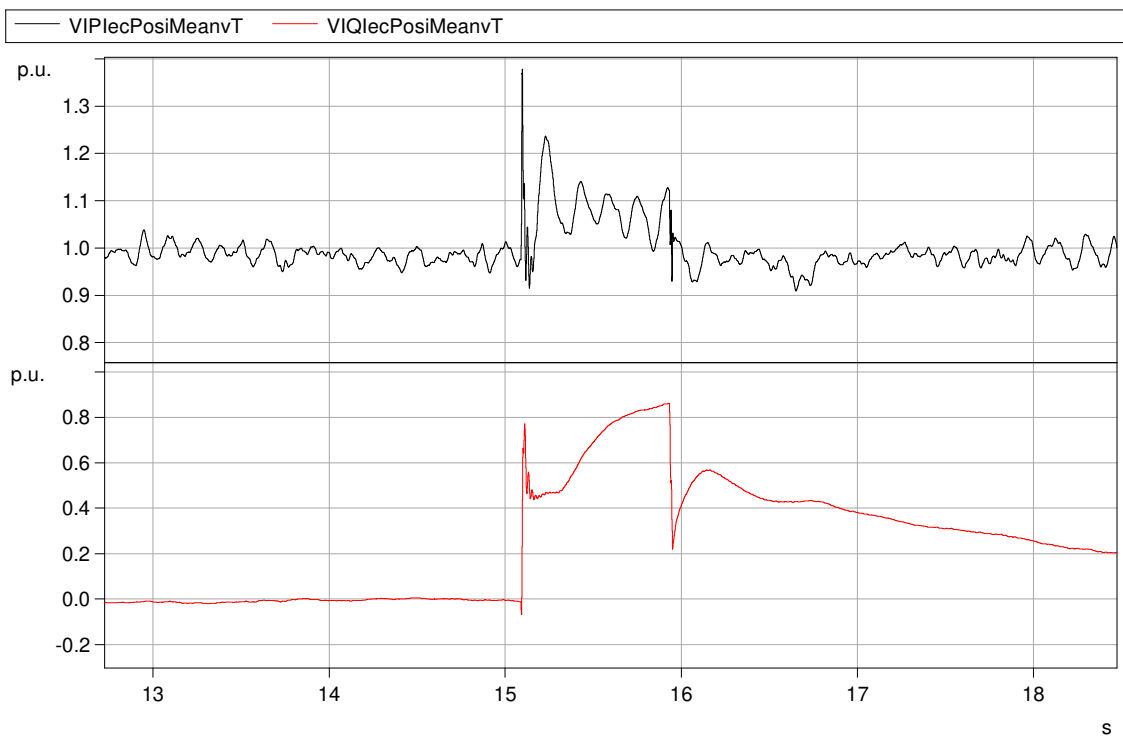


Abb. 258: Wirk- und Blindstrom im Mitsystem (t1 bis t2)

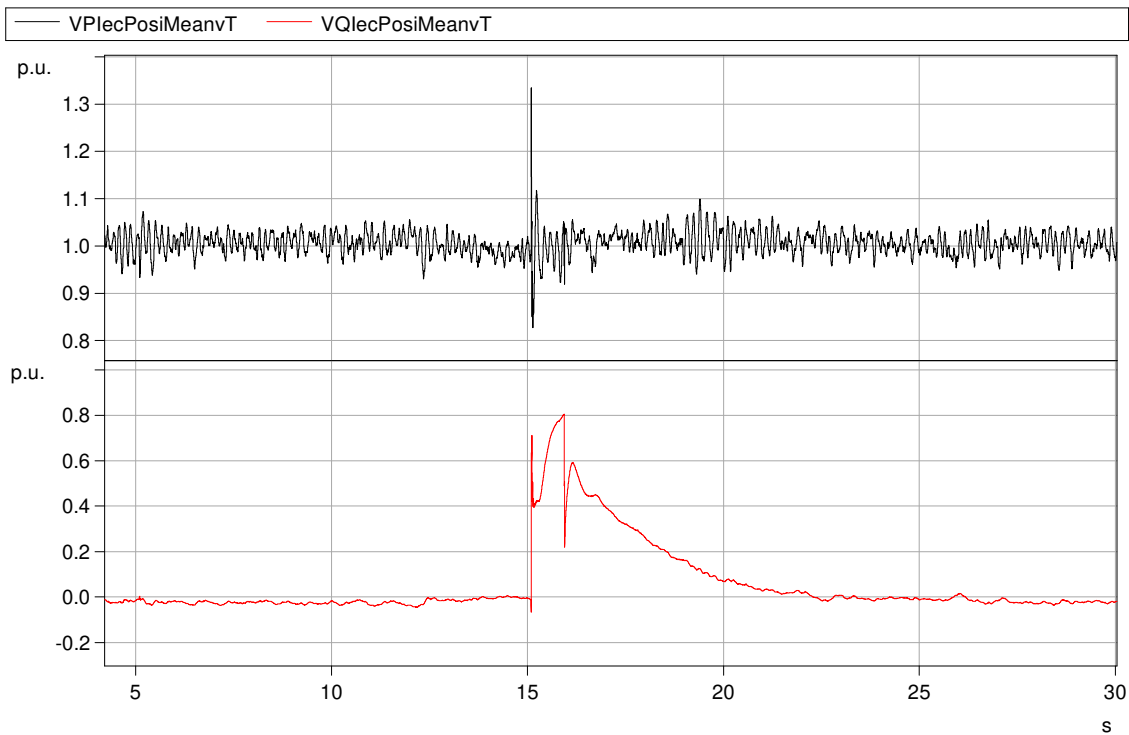


Abb. 259: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t0 bis t3)

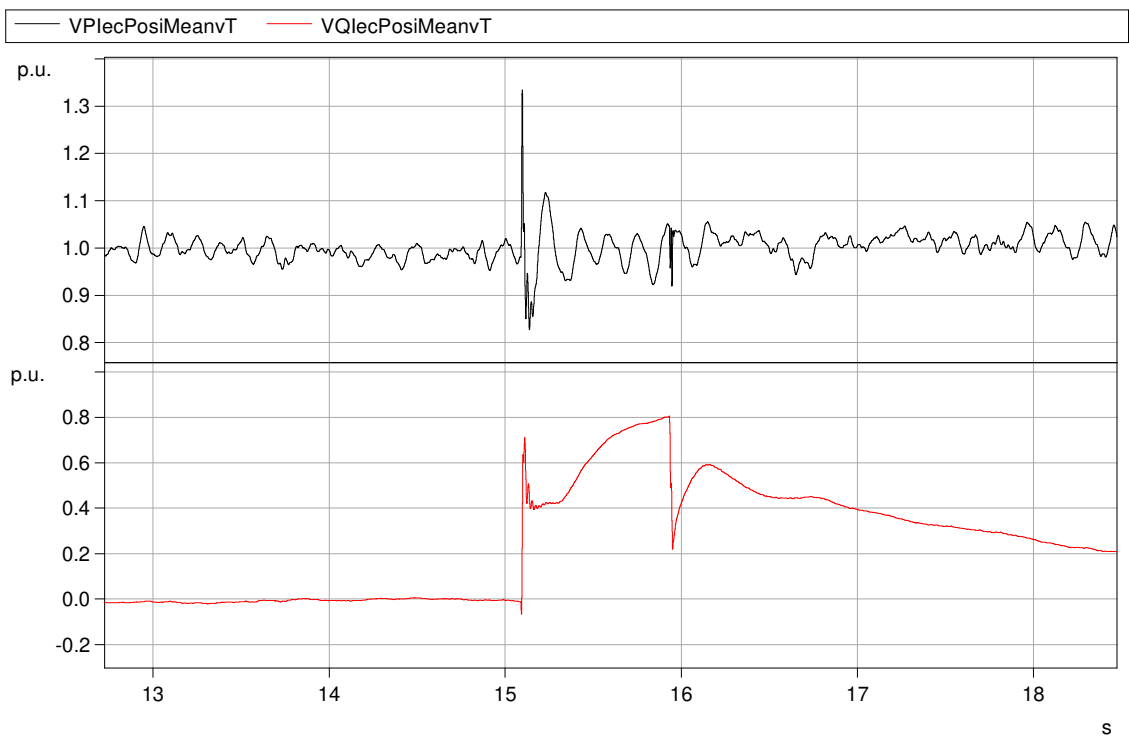


Abb. 260: Wirk- und Blindleistung im Mitsystem (t1 bis t2)

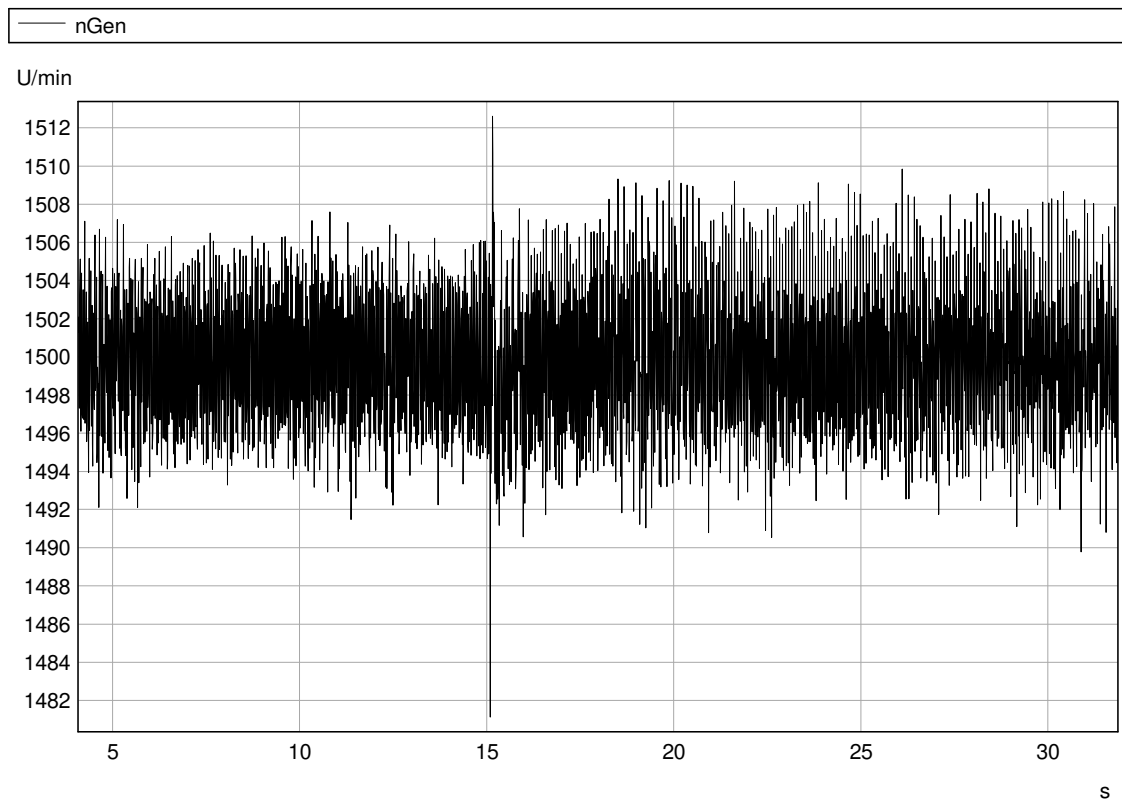


Abb. 261: 10 ms-Werte der Drehzahl (t0 bis t3)

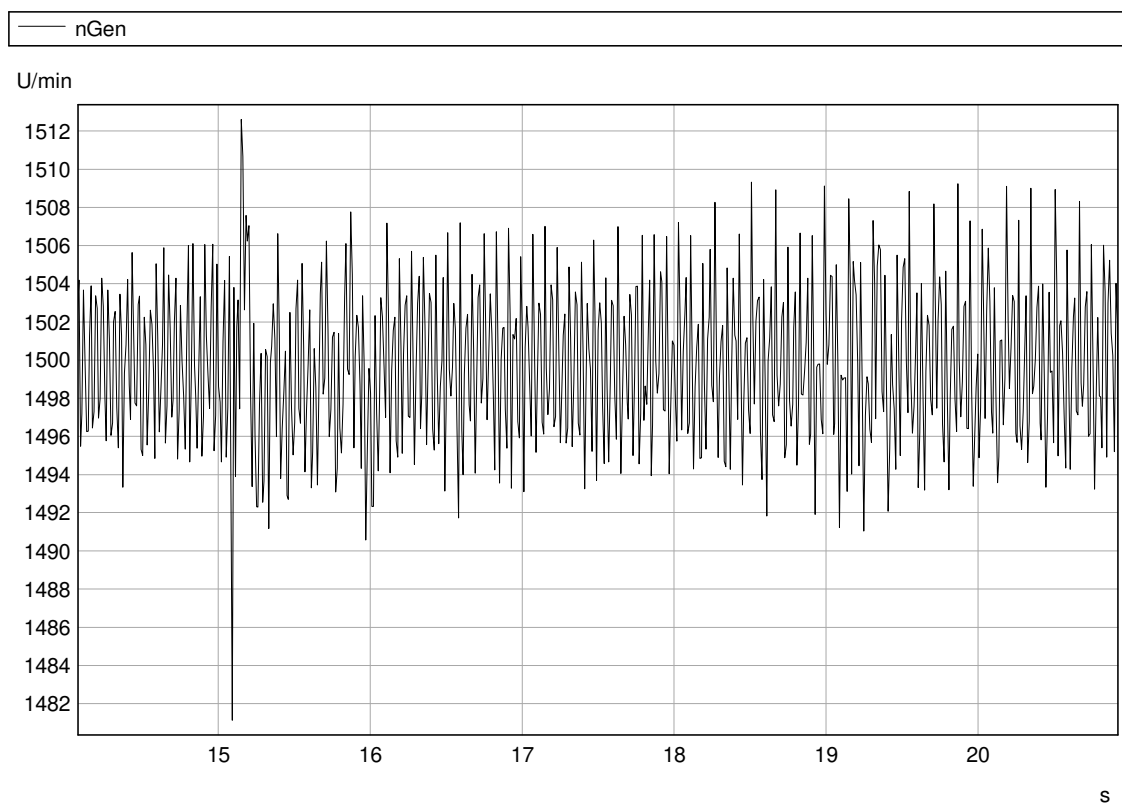


Abb. 262: 10 ms-Werte der Drehzahl (t1 bis t2)



5 Abweichungen zur Norm

Im folgenden Kapitel werden Abweichungen zur Messvorschrift lt. /1/ aufgeführt.

Q(U) Regelung (Kapitel 4.2.5)

Die Messung wurde abweichend zur Messvorschrift lt. /1/ durchgeführt. Die EZE wurde mit Spannungssprüngen von $0,96 U_n$ und $1,04 U_n$ anstelle von $0,97 U_n$ und $1,03 U_n$ durchgeführt.

Trennung der EZE vom Netz (Kapitel 4.4)

Die Messungen wurden mit Ausnahme der Prüfung der Gesamtwirkungskette nicht durchgeführt.

Zuschaltbedingungen (Kapitel 4.5)

Die Messungen wurden nicht durchgeführt.



6 Unsicherheitsberechnung

Die folgenden Kapitel geben ein Überblick über die Unsicherheiten der verschiedenen Messpunkte:

- Niederspannungsebene
- Mittelspannungsebene (EZE-seitig)

6.1 Unsicherheitsberechnung der Niederspannungsebene

Das verwendete Messsystem besteht aus mehreren Teilen, die Messfehler verursachen können. Die Messungen wurden auf der Niederspannungsebene durchgeführt. Die Datenerfassung erfolgte synchron. Das verwendete Messsystem besteht im Allgemeinen aus folgenden Komponenten:

- Strom-/Spannungswandler
- Antialiasing Filter
- A/D Wandler

In der folgenden Tabelle sind die Messunsicherheiten je Messkategorie dargestellt. Die Messergebnisse gelten für die Messung der elektrischen Eigenschaften sowie für die LVRT-Messungen.

Tab. 91: Messunsicherheiten für die Ergebnisse

Messkategorie	Messunsicherheit (k=2)
Strom	0,216 %
Spannung	0,082 %
Leistung	0,231 %
Flicker	1,066 %
Ganzzahlige und Zwischenharmonische Oberschwingungen	0,408 %
Höherfrequente Oberschwingungen zwischen 2 und 9 kHz	2,665 %
Sollwertsignale	0,082 %



Stromwandler (Chauvin Arnoux)

Die verwendeten Stromwandler vom Typ AmpFLEX A100 (Chauvin Arnoux) wurden durch windtest grevenbroich gmbh kalibriert.

Messleitungen

Auftretende Fehler durch die Messleitungen werden durch elektromagnetische Felder und durch Verluste durch die Leitungsimpedanz verursacht. Die Eingangsimpedanz des CRONOSflex beträgt $2\text{ M}\Omega$ ($\pm 1\%$) für die Spannungskanäle und $500\text{ k}\Omega$ ($\pm 1\%$) für die Stromkanäle. Bei der LVRT-Messung beträgt die Eingangsimpedanz der Strommessung $100\text{ k}\Omega$ ($\pm 1\%$) für die Stromkanäle. Mit dem Verhältnis der Leitungsimpedanz zum Datenlogger ergibt sich kein Einfluss auf das Messsignal. Um induktive Kopplungen zu vermeiden, wurde eine ordnungsgemäße Installation der Kabel durchgeführt. Es sind keine signifikanten Einflüsse elektromagnetischer Felder auf das Messsystem bekannt.

Fehler verursacht durch Abtastrate und Software

Das Shannon Theorem besagt, dass eine Abtastrate benötigt wird, die zwei mal höher als die maximal gemessene Frequenz ist.

Für die Bestimmung der Leistungswerte, die Messung von Amplituden und Phasen der Ströme und Spannungen bei Nennfrequenz (50 Hz), wurde mit einer Abtastrate von 10 kHz gemessen.

Für die Bestimmung der Power Quality (Schalthandlungen, Flicker, Oberschwingungen), wurde mit einer Abtastrate von 20 kHz gemessen.



6.2 Unsicherheitsberechnung der Mittelspannungsebene

Das verwendete Messsystem besteht aus mehreren Teilen, die Messfehler verursachen können. Die Messungen wurden auf der Mittelspannungsebene durchgeführt. Die Datenerfassung erfolgte synchron. Das verwendete Messsystem besteht im Allgemeinen aus folgenden Komponenten:

- Strom-/Spannungswandler
- Antialiasing Filter
- A/D Wandler

In der folgenden Tabelle sind die Messunsicherheiten je Messkategorie dargestellt. Die Messergebnisse nur für die LVRT-Messungen.

6.2.1 Messpunkt: Mittelspannung, EZE-seitig

Tab. 92: Messunsicherheiten für die Ergebnisse

Messkategorie	Messunsicherheit (k=2)
Strom	0,141 %
Spannung	0,245 %
Leistung	0,283 %

Stromwandler (Chauvin Arnoux)

Die verwendeten Stromwandler vom Typ AmpFLEX A100 (Chauvin Arnoux) wurden durch windtest grevenbroich gmbh kalibriert.

Fehler verursacht durch Abtastrate und Software

Das Shannon Theorem besagt, dass eine Abtastrate benötigt wird, die zwei mal höher als die maximal gemessene Frequenz ist.

Für die Bestimmung der Leistungswerte, die Messung von Amplituden und Phasen der Ströme und Spannungen bei Nennfrequenz (50 Hz), wurde mit einer Abtastrate von 10 kHz gemessen.



7 Zusammenfassung

Wie von der Firma Sommer energy GmbH in Auftrag gegeben, wurden die elektrischen Eigenschaften nach FGW TR3 /1/ vermessen.

Die folgenden Messungen wurden im Zeitraum von 2016-08-23 bis 2016-08-30 in Kirchdorf an der Iller / Deutschland durchgeführt:

- Wirkleistungsabgabe
- Blindleistungsbereitstellung
- Netzurückwirkungen
- Trennung der EZE vom Netz: Prüfung der Gesamtwirkungskette
- Verhalten bei Störungen im Netz (LVRT)

Die EZE ist eine Verbrennungskraftmaschine (VKM) mit Synchrongenerator mit einer Nennleistung von 500 kW.

Wirkleistungsabgabe

Im Normalbetrieb bei $Q = 0$ wurden Wirkleistungsspitzen von $P_{0,2} = 515,48$ kW (1,03 p.u.), $P_{60} = 502,53$ kW (1,01 p.u.) und $P_{600} = 502,25$ kW (1,00 p.u.) ermittelt.

Die Einstellgenauigkeit bei der Wirkleistungssollwertvorgabe bestand sich in allen Leistungsstufen innerhalb des Toleranzbandes von 5% P_n . Die maximale Abweichung der Wirkleistung vom Sollwert beträgt 2,72 kW und wurde während der Leistungsstufe 100 % P_n ermittelt.

Die Messung der Einschwingzeit der Wirkleistungssollwertvorgabe ergab eine Zeitdifferenz von 39,63 s. Dies entspricht einem Gradienten von 69,05 % P_n /min.

Bei Frequenzabweichungen reduziert die EZE seine Leistungen mit einem mittleren Gradienten von 40,67 % P_M /Hz.

Bei der Messung des Wirkleistungsgradienten $dP(t)$ wurde ein maximaler Gradient von 9,73 % P_n / min und ein mittlerer Gradient von 8,84 % P_n / min ermittelt.

Blindleistungsbereitstellung

Bei Betrieb mit Blindleistungseinstellung $Q = 0$ wurde die EZE in den Wirkleistungsbins 0 bis 100 bei einem Leistungsfaktor von 1 betrieben. Die maximale Abweichung betrug 9,39 kvar und wurde während der Leistungsstufe 50 % P_n ermittelt.



Bei der Messung des PQ-Diagramms und der Blindleistung nach Sollwertvorgabe wurde ein Blindleistungsvermögen von 0,95 untererregt sowie übererregt vermessen. Die Blindleistung wurde über den Leistungsbereich von 50...100 % P_n angefahren.

Bei der Blindleistung nach Sollwertvorgabe wurde eine maximale Abweichung von 9,630 kvar ermittelt. Die längste gemessene Einschwingzeit der Blindleistung in das Toleranzband betrug 5,311 s.

Bei der Q(U)-Regelung wurde eine längste gemessene Einschwingzeit von 5,77 s (kürzest mögliche Einstellzeit) und 58,06 s (Einstellzeit von 60 s) ermittelt.

Netzurückwirkungen

Es wurden harmonische, zwischenharmonische und höherfrequente Oberschwingungen bis 9 kHz gemessen. Die Gesamtverzerrung der harmonischen Ströme liegt im Bereich von 2,95 bis 3,54 % bezogen auf den Nennstrom. Die Gesamtverzerrung der harmonischen Spannungen liegt im Bereich von 0,61 bis 0,86 % bezogen auf die Nennspannung.

Die Auswertung der Spannungsschwankungen im Normalbetrieb (Flicker) ergab maximale Flickerkoeffizienten über den gesamten Leistungsbereich von 15,560 (30°), 12,493 (50°), 8,057 (70°) und 4,333 (85°).

Es wurden drei Schalthandlungen für Zuschaltung und vier Schalthandlungen für Abschaltung der EZE vermessen. Der größte Spannungsänderungsfaktor wurde bei Zuschaltung und einer Netzimpedanz von 30° zu 0,667 ermittelt. Der größte Flickerformfaktor wurde bei Zuschaltung bei einer Netzimpedanz von 30° zu 0,890 ermittelt. Der maximale Schaltstromfaktor beträgt 1,107

Trennung der EZE vom Netz

Die Messungen zur Funktionsfähigkeit des Entkopplungsschutzes sowie die Prüfung zum Ausfall der Hilfsenergie wurden nicht durchgeführt.

Die Auslösezeit der Gesamtwirkungskette ergab eine Gesamtauslösezeit von 83 ms. Diese setzt sich aus einer Fehlerdetektion (59 ms) und der Schutzauslösung (24 ms) zusammen.

Nachweis der Zuschaltbedingungen

Die Überprüfung der Zuschaltbedingungen der EZE wurde nicht durchgeführt.

Nachweis der Störungen im Netz

Dieser Bericht umfasst FRT-Leerversuche und FRT-Lastversuche in Kombination von Voll- und Teillast, 3-phasigen und 2-phasigen Fehlern, verschiedenen Fehlerzeiten und unterschiedlichen Spannungseinbrüchen.



Jeder der vorgeschriebenen Tests wurde zweimal durchgeführt. In diesem Bericht wird für jede Spannungsstufe ein Test dargestellt.

Es wird versichert, dass die Messung der elektrischen Eigenschaften an der Verbrennungskraftmaschine SH-500 Liebherr gemäß dem aktuellen Stand der Technologie, unabhängig und unparteiisch sowie nach dem Besten unserer Kenntnisse und unseres Gewissens durchgeführt wurde.

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die hier vermessene Verbrennungskraftmaschine SH-500 Liebherr und gelten auch nur für diese.

Grevenbroich, 2020-11-02

M. Sc. Annemarie Slonina
(Projektleiter)



8 Literaturverzeichnis

- /1/ Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 3: Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz – Revision 24 vom 01.03.2016
- /2/ BDEW, Technische Richtlinie, Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Ausgabe Juni 2008
- /3/ Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 8: Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz - Revision 7 vom 01.03.2016
- /4/ DIN EN 61400-21, Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines, Edition 2.0, 2008-08
- /5/ IEC 61000-4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design, 1997 (German edition 2003)
- /6/ IEC 61000-4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, 2002 (German edition 2002)



9 Anhang

Anhang 1 Herstellerbescheinigung



Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten einer VKM vom Typ SH-500 Liebherr		
Manufacturer's certificate on specific data of a CHP of the type SH-500 Liebherr		
Datum / Date: 30/07/2017		
1	EZE	General
1	Hersteller	Sommer energy GmbH manufacturer
2	Anlagenbezeichnung	SH-500 Liebherr type name
3	Betriebsweise (Stromgeführt / Wärmegeführt)	Wärmegeführt operating method
4	Nennleistung	500 kW rated power
5	Nennspannung	400 V rated voltage
6	Beitrag zum Stoßkurzschlussstrom	8 x I _n contribution to short circuit current
2	Verbrennungsmotor	Combustion engine
1	Hersteller	Liebherr manufacturer
2	Typenbezeichnung	G9512 type name
3	Art	VKM generic type
4	Anzahl	1 numbers
5	Brennstoff(e)	Erdgas fuel
6	Nennleistung	515 kW rated power
7	Nennrehzahlen oder Drehzahlbereich	1500 RPM rated speed(s) / speed range
3	Wärmetauscher	Heat exchanger
1	Hersteller	Sommer energy GmbH manufacturer
2	Typenbezeichnung	RBW-2000-1500 type
3	Anzahl	2 numbers
4	Art	Rohrbündel design
5	Nennleistung(en)	300 kW rated power(s)
4	Generator	Generator
1	Hersteller	Leroy Somer manufacturer
2	Typenbezeichnung	LSA 49.1 M6 C 6S/4 type
3	Anzahl	1 numbers
4	Art	Synchron generic type of design
5	Nennleistung(en)	580 kW rated active power(s)
6	Nennscheinleistung	725 kVA rated apparent power
7	Bereich Verschiebungsfaktor	± 0,95 displacement factor (range)
8	Nennrehzahlen oder Drehzahlbereich	1500 RPM rated speed(s) / speed range
9	Nennspannung	400 V voltage

Herstellerbescheinigung SH-500 Liebherr
02.11.2020



10	Frequenz	50	Hz	frequency
11	Nennschlupf	-	%	rated slip
5 Betriebsführung / Regelung		Control system / control		
1	Art der Leistungsregelung	PID		generic type of power control
2	Antrieb der Leistungsregelung	bürstenloser Stellmotor		actuation of power control
3	Hersteller der Betriebsführung / Regelung	Sommer energy GmbH		manufacturer of control system
4	- Typenbezeichnung	PLC ET200S		- type
5	- Verwendete Steuerungskurve	direkt durchgesteuert		- applied control characteristic
6	Hersteller der Spannungsregler	Leroy Somer		manufacturer of voltage control system
7	- Typenbezeichnung	D510C		- type
8	- Softwareversion	2.2		- software version
6 Sonstige elektrische Daten der EZE		Other electrical data of the PGU		
1	Netz Kurzschlussleistung	MVA		short-circuit apparent power
2	Netzimpedanzwinkel	°		network impedance phase angle
3	N ₁₀ , Einschalten			N ₁₀ , start up
4	N ₁₂₀ , Einschalten			N ₁₂₀ , start up
5	N ₁₀ , Ausschalten			N ₁₀ , cut off
6	N ₁₂₀ , Ausschalten			N ₁₂₀ , cut off
7	N ₁₀ , Umschalten zwischen den Generatoren			N ₁₀ , switching between generators
8	N ₁₂₀ , Umschalten zwischen den Generatoren			N ₁₂₀ , switching between generators
9	Anzahl der Kompensationsstufen			number of compensation stages
10	Blindleistung Stufe 1	kvar		reactive power stage 1
11	Blindleistung Stufe 2	kvar		reactive power stage 2
12	Blindleistung Stufe _	kvar		reactive power stage _
13	Blindleistung Stufe _	kvar		reactive power stage _
14	Art der Netzkopplung	Leistungsschalter		generic type of interconnection
15	- Hersteller	Schneider Electric		- manufacturer
16	- Typenbezeichnung	NS1000 N		- type
17	Netzschutzhersteller	Ziehl		grid protection manufacturer
18	- Typenbezeichnung	UFR1001e		- type
	- Softwareversion	0-06		- software version
19	- Einstellbereiche:	siehe Handbuch UFR1001e		- adjustment ranges:
20	Spannungssteigerungsschutz	V		overvoltage protection
21	Spannungsrückgangsschutz	V		undervoltage protection
22	Frequenzsteigerungsschutz	Hz		overfrequency protection

Herstellerbescheinigung SH-500 Liebherr
02.11.2020



23	Frequenzrückgangsschutz	Hz	underfrequency protection
24	Typenbezeichnung der Abschalteneinheit		circuit breaker type
25	Umrichterhersteller		converter manufacturer
26	Umrichtertyp		converter type
27	Umrichterscheinennennleistung	kVA	converter apparent rated power
28	Umrichterart		generic type of converter
29	Pulszahl des Umrichters		pulse rate of converter
30	Haupttaktfrequenz des Umrichters		main clock rate of converter
31	Oberschwingungsfiter (ja / nein)		harmonic filter (yes / no)

7 Typenprüfung		Type test
1	Prüfbehörde	testing authority
2	Aktenzeichen	reference

8 Informativer Teil		Informative
1	Standort des vermessenen BHKW	Oberopfingen
2	Koordinaten des Standortes	
3	Seriennummer des BHKW	2014 06 05
4	- Wärmetauscher	
5	- Verbrennungsmotor	
6	- Generator	311382/1
7	- Spannungsregler	
8	- Leistungsregler	
7	- EZE Steuerung	
8	- Netzschutz	

Anschrift des Herstellers

Somme energy GmbH
Unterer Koppenhagen 52
37355 - Niedersorschel OT
Deuna

Address of manufacturer

Der Hersteller des BHKWs bestätigt, dass das BHKW, deren elektrischen Eigenschaften in den Prüfberichten abgebildet sind, hinsichtlich ihrer technischen Daten mit den o.g. Positionen identisch ist.
The manufacturer of the Combined heat and power unit confirms that the CHP whose power quality is measured and depicted in the test reports, is identical with the above entries with regard to its technical data.

Für andere EZE sind die Herstellerbescheinigung analog zu den oben genannten Vorlagen zu erstellen.