

# Evaluierungsbericht

**über die Konformität der Komponente und dessen  
Simulationsmodell**

WIND-cert 104CC420/07

Hersteller: PLEXLOG GmbH

Produktbezeichnung: PL500+

Prüfverfahren: FGW-Richtlinie, Teil 8 Rev. 9

**Bargeshagen, 04.12.2023**



**Inhaltsverzeichnis**

1	Vorwort	4
2	Allgemeines	5
2.1	Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien (Geltungsbereich)	5
2.2	Im Bericht verwendete Dokumente	6
2.3	Begriffe, Abkürzungen und Formelzeichen	6
2.4	Sachverhalt	8
2.5	Gültigkeit des Evaluierungsberichts	9
3	Nachweisführung	10
3.1	Allgemeines	10
3.1.1	Angaben der technischen Daten der zu zertifizierenden Komponente und soweit vorhanden der verwendeten Software-Version	10
3.1.2	Schematischer Aufbau der Komponente	11
3.1.3	Auflistung der zur Zertifizierung zu Grunde liegenden Prüfberichte	15
3.1.4	Modellvalidierung	16
4	Evaluierungspläne nach Anhang A der FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/	17
4.1	Blindleistungsmanagement	18
4.2	Wirkleistungsmanagement	22
4.2.1	Wirkleistungsregelung bei Frequenzänderung	22
4.2.2	Netzsicherheitsmanagement	23
4.3	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung	25
4.4	Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung	25
4.5	Simulationsmodell	25
4.5.1	Modellumfang	25
4.5.2	Genauigkeit	26
5	Zusammenfassung	27
6	Anhang	28

## 1 Vorwort

Die WIND-certification GmbH ist eine nach DIN EN ISO/IEC 17065:2013 akkreditierte Zertifizierungsstelle für die Erstellung von Anlagen-, Komponenten- und Einheitenzertifikaten. Die in diesem Bericht dokumentierten Ergebnisse der Typenprüfung, der Modellvalidierung und der entsprechenden Herstellererklärung sind nach den Bewertungskriterien der in Kapitel 2.1 aufgeführten Richtlinien evaluiert. Das Ergebnis der Evaluierung wird in Kapitel 5 zusammengefasst.

**Tabelle 1.1 Revisionsübersicht**

04.12.2023	WIND-cert 104CC420/07	Urfassung
------------	-----------------------	-----------

Alle Angaben und Betrachtungen in diesem Bericht erfolgen stets im Erzeuger-Zählpeilsystem (EZS).

## 2 Allgemeines

### 2.1 Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien (Geltungsbereich)

Es sind die folgenden Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien dem Evaluierungsbericht zugrunde gelegt. Diese Literaturquellen sind entsprechend dem zentralen Literaturverzeichnis der WIND-certification GmbH nummeriert.

- /189/ FGW e.V. : Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten Teil 8 (TR8) Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz. Revision 09. Berlin (D) : FGW e.V. , 2019-02
- /188/ FGW e.V. : Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten Teil 4 (TR4) Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie deren Komponenten. Revision 09. Berlin (D) : FGW e.V. , 2019-02
- /276/ FGW e.V. : FGW Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen Teil 3 (TR 3) Rev. 26 Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz. Stand: 05.04.2022. Berlin (D) : FGW e.V., 2022-4-05
- /182/ VDE : VDE-AR-N 4110 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung). 01.11.2018. Berlin : VDE, 2018-11

## 2.2 Im Bericht verwendete Dokumente

Die im Evaluierungsbericht verwendeten Dokumente sind nachfolgend aufgelistet, sofern sie nicht diesem Bericht als Anhang in Kapitel 6 beigefügt sind.

- 1) E-Mail von Herrn Gontek von der PLEXLOG GmbH an die WIND-certification GmbH vom 15.11.2023 mit Abbildungen des Gehäuses und des Anschlussplans der Komponente PLEXLOG PL500+
- 2) E-Mail von Herrn Gottensträter von der PLEXLOG GmbH an die WIND-certification GmbH vom 28.11.2023 mit der Bestätigung, dass die DLL des Simulationsmodells der DLL des realen Reglers entspricht und damit die Struktur des Wirk- und Blindleistungsmanagements aus der Modellbeschreibung zur Beschreibung des Reglers verwendet werden kann
- 3) Schreiben von der WIND-consult GmbH an die WIND-certification GmbH vom 04.12.2023 mit einer Auflistung der MD5-Prüfsummen zum Messbericht WICO 219NV920-02

## 2.3 Begriffe, Abkürzungen und Formelzeichen

Führungsgröße:	Aus der Zielgröße abgeleitete, den Sollwert der Regelgröße festlegende Eingangsgröße eines Vergleichsgliedes einer Regeleinrichtung
KMP-Modell:	allgemein gefasster Begriff für Modelle die offen einsehbar sind und Modelle die als Blackbox nicht eingesehen werden können; die Modelle stellen das elektrische Verhalten der Komponenten in der Simulation dar
übererregt:	ist ein kapazitives Blindleistungsverhalten, welches sich spannungshhebend auswirkt; in der Darstellung des Verbraucherzählpfeilsystems eine Blindleistung mit negativen Vorzeichen bzw. im Erzeugerzählpfeilsystem eine Blindleistung mit positivem Vorzeichen
untererregt:	ist ein spannungssenkendes, also induktives Verhalten; verglichen mit dem Begriff übererregt eine Blindleistung mit einem entgegengesetzten Vorzeichen (vgl. VDN)

### Abkürzung Beschreibung

ADC	analog zu digital Wandler (engl.: Analog to Digital Converter)
EZS	Erzeugerzählpfeilsystem
FWA	Fernwirkanlage
i.O.	in Ordnung
I/O	Eingang / Ausgang Schnittstelle (engl.: Input / Output Interface)
LS	Leistungsschalter
LWL	Lichtwellenleiter
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung

Symbol	Beschreibung	SI-Einheit
$K_I$	Verstärkungsbeiwert des Integralanteils	-
$K_P$	Proportionalverstärkung	-
$K_S$	Streckenverzögerungszeit	-
$N_E$	Anzahl der EZE gleichen Typs	-
$T_N$	Nachstellzeit	s
$T_S$	Verzögerungszeit der Strecke	s
$T_{tot}$	Totzeit	s
$T_V$	Vorhaltzeit	s

Für weitere Erklärungen zu Begriffen, Abkürzungen und Formelzeichen wird auf die FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/ verwiesen.

## 2.4 Sachverhalt

Die WIND-certification GmbH wurde von der PLEXLOG GmbH beauftragt, die Konformität für die Komponente PL500+ durch ein Komponentenzertifikat gemäß der Technischen Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 8: „Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz.“ /189/, zu evaluieren.

Der Hersteller unterhält ein zertifiziertes Qualitätsmanagement nach ISO 9001 (siehe Anhang 1). Für die Evaluierung wurden die Herstellererklärungen (siehe Anhang 1), Messberichte (siehe Anhang 2) und ein Simulationsmodell der WIND-certification GmbH zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der Modellvalidierung sind in Anhang 3 dargestellt.

Bei der Komponente PL500+ handelt es sich um eine von der PLEXLOG GmbH entwickelte Komponente. Ein Ausweis der Mindestangaben zur Beschreibung der Komponente nach FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/ ist im Anhang 1 erfolgt. Die Komponente dient zur Regelung der Wirk- und Blindleistung am Netzanschlusspunkt.

Die Komponente umfasst:

- Führungsgrößenempfang (Kommunikationsschnittstellen zum Sollwertempfang)
- Stellgrößenübermittlung
- Vergleichler und Regelglied (digitalen Prozessrechner mit I/O-Modul für digitale und analoge Signale)
- Messwertgeber (Messwertumformer; erforderliche Strom- und Spannungswandler sind nicht Teil des Lieferumfangs des Herstellers und werden projektspezifisch beigestellt)

Das Konzept der Wirk- und Blindleistung, inklusive der Kommunikationsstruktur mit den EZE (Stellgliedern) zeigen Abbildung 3.1.3, Abbildung 3.1.4 und Abbildung 3.1.5.

Die Komponente wurde im Feld vermessen und evaluiert.

## 2.5 Gültigkeit des Evaluierungsberichts

Die Evaluierung ist entsprechend der in Kapitel 2.1 aufgeführten Gesetze, Verordnungen, Normen und Technischen Richtlinien im Rahmen des in Kapitel 2.4 beschriebenen Sachverhaltes erfolgt. Der Nachweis ist damit durch diesen Evaluierungsbericht auf die elektrischen Eigenschaften begrenzt, die den Lastfluss in einem elektrischen Netz beeinflussen. Weitere Eigenschaften, wie z.B. mechanische oder akustische Eigenschaften sind ebenso wie Umweltaspekte nicht Gegenstand der Evaluierung.

Die Evaluierung ist auf Basis der in Kapitel 2.2 angegebenen und Kapitel 6 beigefügten Dokumente erfolgt. Die WIND-certification GmbH übernimmt keine Haftung für die Schäden und Ansprüche, die durch Konstruktions- und Parameteränderungen der Komponente (wie z.B. Modifikationen der Regelung, die die evaluierten Eigenschaften beeinflussen) entstanden sind und der WIND-certification GmbH nicht bekannt waren oder nicht zeitnah schriftlich mitgeteilt wurden. Im Fall von Änderungen ist die Gültigkeit des Evaluierungsberichtes erneut zu prüfen.

Die Gültigkeit erlischt, wenn der Hersteller kein zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem für die Fertigung besitzt. Das Qualitätsmanagement muss dem Standard ISO 9001 entsprechen.

Der Evaluierungsumfang beschränkt sich auf das Verhalten bei Sollwertvorgaben für Wirk- und Blindleistungsregelung, Verhalten bei Störungen (z.B. Kommunikationsausfall, Versorgungsausfall).

### **3 Nachweisführung**

#### **3.1 Allgemeines**

Die Nachweisführung bezüglich der Einhaltung der Anforderungen richtet sich nach den Vorgaben der FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/. Die für die Evaluierung erforderlichen Prüfdokumente und ggf. Modelle sind zuvor in ihrem Gesamtumfang fachlich überprüft worden. Insbesondere wurde überprüft, ob die zugehörigen Prüfberichte von akkreditierten Prüfinstituten erstellt wurden.

Die Evaluierung für die Verwendung der Komponente in Mittelspannungsnetzen erfolgt gemäß dem Anhang A1 der FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/.

Die Evaluierung stützt sich auf die durch Messungen, ggf. Berechnungen und Simulationen erhaltenen Ergebnisse. Im Sinne der Qualitätssicherung sind die Berechnungen/Simulationen und die Evaluierung getrennt erfolgt.

Wurden Messergebnisse von anderen Typenprüfungen übernommen, ist immer eine Überprüfung der elektrischen Gleichwertigkeit nach FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/ vorgenommen worden. Übertragungen von Messergebnissen sind dann im Bericht speziell ausgewiesen. Dabei wird nach FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/ die Übertragbarkeit anerkannt, wenn die Ausführung und die für die elektrischen Eigenschaften maßgebende Regelungstechnik einschließlich der eingesetzten Software gleichwertig ist.

##### **3.1.1 Angaben der technischen Daten der zu zertifizierenden Komponente und soweit vorhanden der verwendeten Software-Version**

Der Hersteller hat die verwendete Hardware in der Herstellererklärung „Technische Beschreibung EZA-Regler PL500+“ (in Kapitel 2), siehe Anhang 1, spezifiziert.

Die zulässige Kernel Version des Reglers wurde wie folgt angegeben:

- EZA Kernel Version: 2.001

### 3.1.2 Schematischer Aufbau der Komponente

Der Hersteller hat den schematischen Aufbau der Komponente, siehe Anhang 1, Herstellererklärung (Kapitel 5), angegeben. Die nachfolgende Abbildung 3.1.1 zeigt die Komponente. Die Anschlussbelegung der Komponente ist in Abbildung 3.1.2 dargestellt.



Abbildung 3.1.1 Übersicht der Komponente (Quelle: Kapitel 2.2)

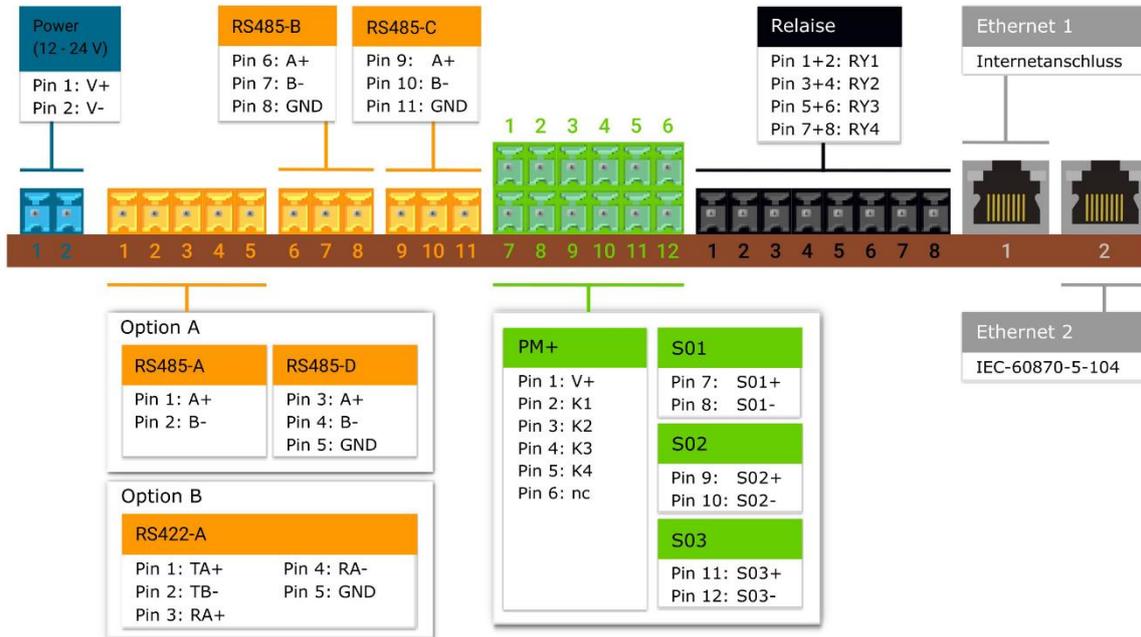


Abbildung 3.1.2 Anschlussbelegung der Komponente (Quelle: Kapitel 2.2)

Abbildung 3.1.3 und Abbildung 3.1.4 zeigen die Strukturbeschreibung des Blindleistungsreglers und des Wirkleistungsmanagement, siehe Kapitel 2.2.

## Blindleistungsregler

Der Regler arbeitet mit normierten Größen. Die Bezugsgröße ist  $P_{b,inst}$ . Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System. Der Regler arbeitet mit einer festen Abtastzeit  $T_s = 1\text{ s}$ . Als Ausgabe liefert der Regler den an den Wechselrichtern der Erzeugungsanlage einzustellenden Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$ . Das Vorzeichen des  $\cos(\varphi)$ -Wert gibt an, ob die Wechselrichter untererregt oder übererregt arbeiten sollen.

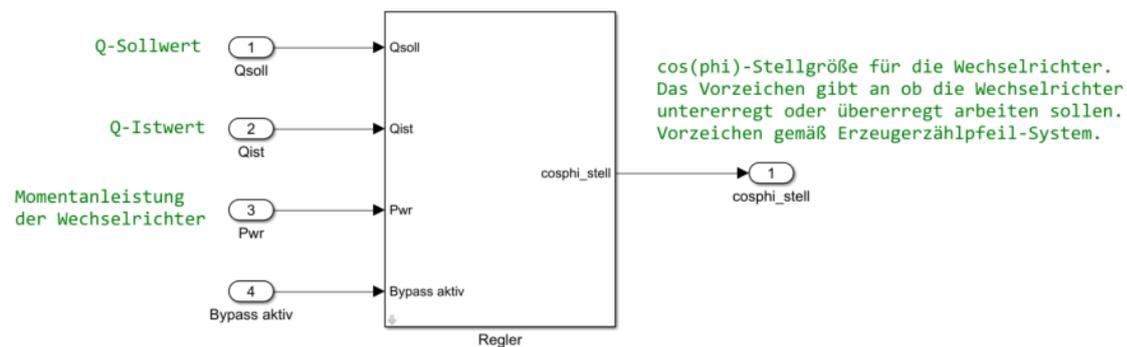


Abbildung 16: Blindleistungsregler

Intern besteht er aus einem PID-Regler mit nachgeschalteter Umrechnungsstufe. Über einen Bypass kann der PID-Regler überbrückt werden und der Sollwert auf die Umrechnungsstufe aufgeschaltet werden. Um auch bei aktivem Bypass bei Sollwertsprüngen ein  $PT_1$ -Verhalten zu gewährleisten, kommt ein Einschwingfilter zum Einsatz.

Abbildung 3.1.3 Regelungsstruktur der Blindleistung (Quelle: Anhang 1, Modellbeschreibung)

## Wirkleistungsregler

Der Regler arbeitet mit normierten Größen. Die Bezugsgröße ist  $P_{b,inst}$ . Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System. Der Regler arbeitet mit einer festen Abtastzeit  $T_s = 1 s$ . Als Ausgabe liefert der Regler die an den Wechselrichtern der Erzeugungsanlage einzustellende Wirkleistung.

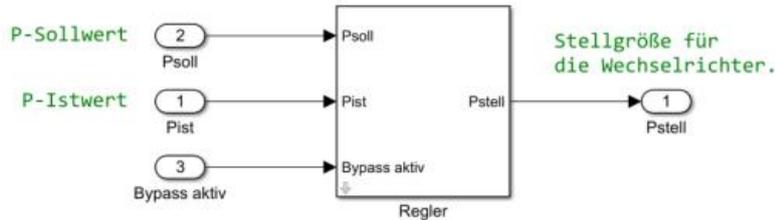


Abbildung 13: Wirkleistungsregler

Intern besteht er aus einem PID-Regler mit nachgeschaltetem Gradientenbegrenzer. Über einen Bypass kann der PID-Regler überbrückt werden und der Sollwert direkt auf den Gradientenbegrenzer aufgeschaltet werden.

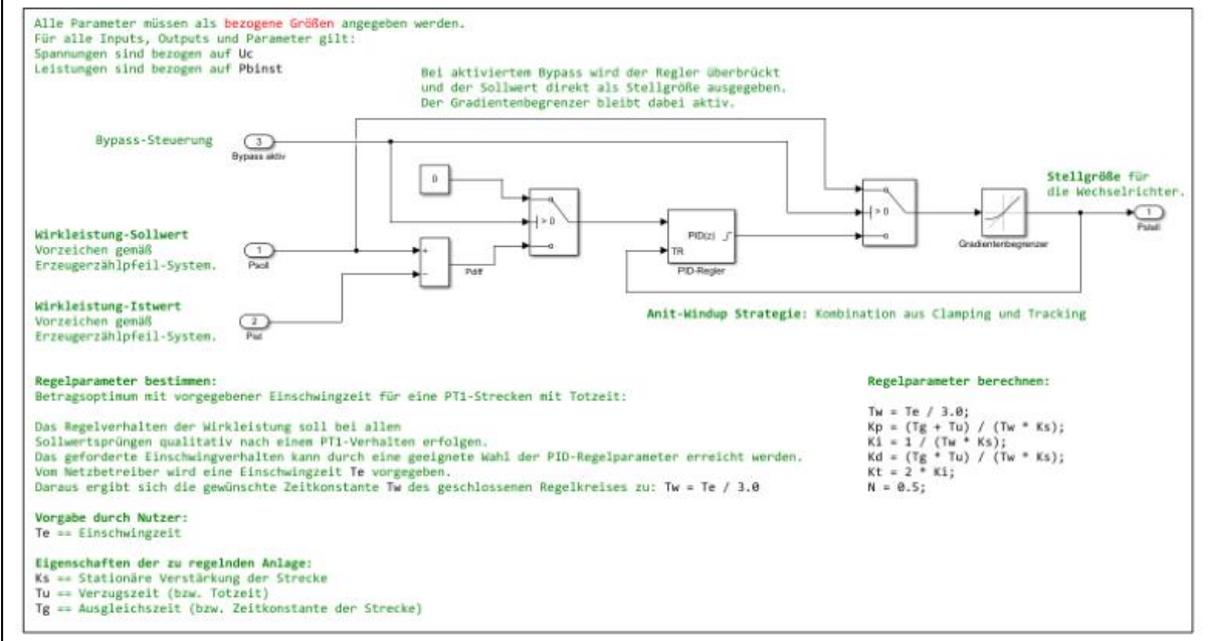


Abbildung 3.1.4 Umsetzung des Wirkleistungsmanagement (Quelle: Anhang 1, Modellbeschreibung)

### 3.1.3 Auflistung der zur Zertifizierung zu Grunde liegenden Prüfberichte

Der EZA-Regler „PL500+“ wurde vom Messinstitut „WIND-consult GmbH“ entsprechend den Anforderungen der FGW-Richtlinie, Teil 3 /276/ an EZA-Regler im Feld an einem auf 1 MW begrenzten Solarpark vermessen. Die allgemeine Einbindung des EZA-Regler zeigt die Abbildung 3.1.5. Die in der Vermessung verwendeten Streckenparameter zeigt die Tabelle 3.1. Die Nennwerte der EZA zeigt die Tabelle 3.2. Für die Vermessung des EZA-Reglers wurden die Nennleistung der EZA auf 1000 kW als Bezugsgröße begrenzt. Die vermessene EZA besteht aus 24 EZE und 3 Transformatoren.

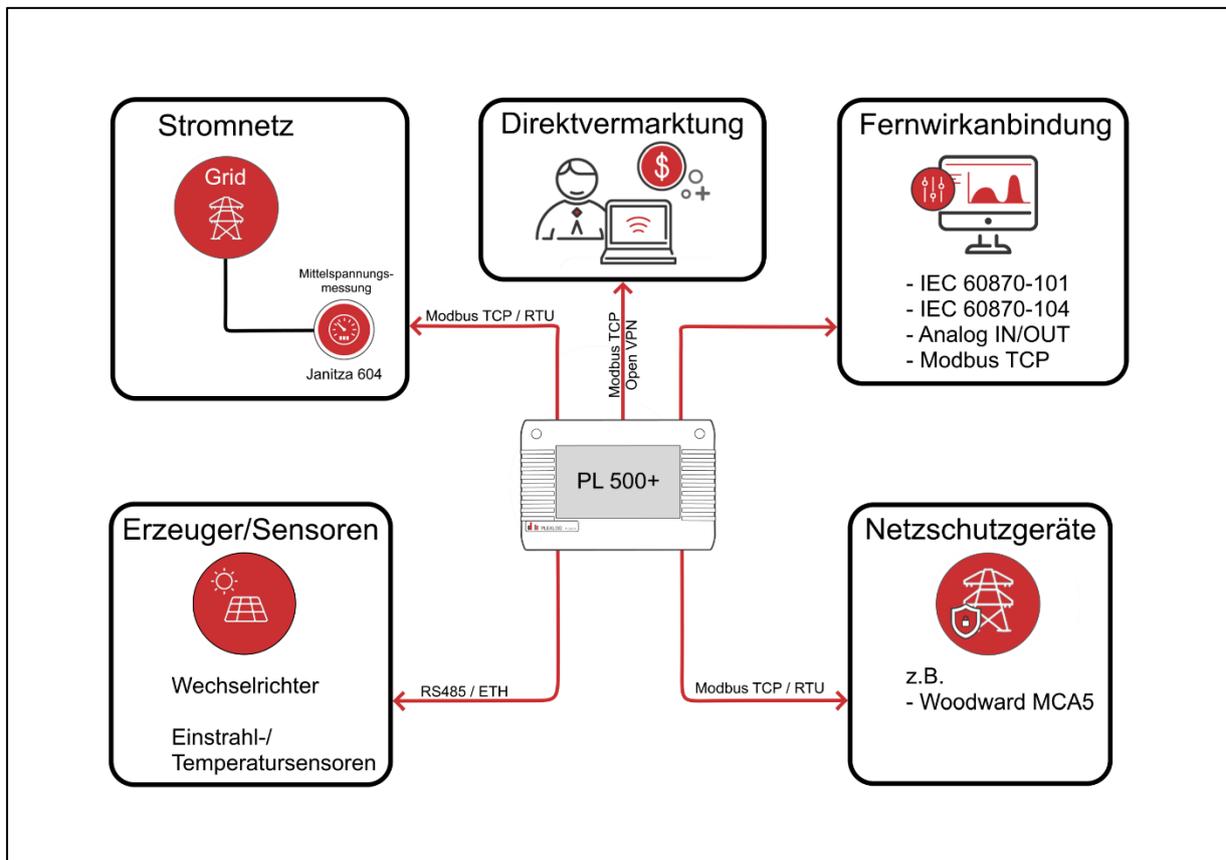


Abbildung 3.1.5 Schematischer Aufbau der Einbindung des EZA-Reglers (Quelle: Anhang 1, Herstellererklärung)

Tabelle 3.1 Streckenparameter der Vermessung, siehe Anhang 2, Messbericht

	Streckenparameter Verzögerungsglied 1. Ordnung	Totzeit der Strecke
<b>Wirkleistung</b>	1 s	2 s
<b>Blindleistung</b>	1 s	

Tabelle 3.2 Nennwerte der EZA

Parameter	Wert
Nennspannung in kV	20
Nennleistung in kW	2400
Nennleistung Vermessung in kW	1000
Blindleistungsvermögen Vermessung in kvar	328

Für die Evaluierung der Einschwingzeiten der Blindleistungsverfahren wurde im Messbericht der Ausweis entsprechend den Netzanschlussrichtlinien (VDE-AR-N 4110 /182/) dokumentiert.

### 3.1.4 Modellvalidierung

Angaben zum validierten Simulationsmodell und die Modellbeschreibung sind in Tabelle 3.3 aufgeführt.

Tabelle 3.3 Angaben zum Simulationsmodell

<b>Softwareumgebung/ Version:</b>	MATLAB 9.11 (R2021b), Simulink 10.4 (R2021b), Simscape 5.2 (R2021b), Simscape Electrical 7.6 (R2021b)
<b>Dateiname:</b>	EZA-Regler.zip
<b>Modellidentifikation/ MD5-Prüfsumme:</b>	74fe4e7355ee7f70a2e9115c88007fee
<b>Umfang des Archives: (MD5-Prüfsummen)</b>	BlindRegler.mexw64 (4521909057743de43ba902252c7abfcf) EZA_Regler_model.slx (8426dde24d45a1a6766d6cf9b1dbd43a) EZA_Regler_model_ini.m (971f93223714ea5a8ef1b3651ce341c0) libEZA.dll (f5e675e8f5affa147b987020750bc3d2) Modellbeschreibung.pdf (33bfb2fca1365ea93880d7b56037e68c) qSollwertbildung.mexw64 (7db30beb5c68e47e841202323c585003) WirkRegler.mexw64 (a198862a6dc30c9a938ffa22161a538b)
<b>Anwendungs- beschreibung:</b>	PLEXLOG GmbH, Beschreibung EZA-Regler-Modell, 18.10.2023

Für die Modellvalidierung wurde das in der FGW-Richtlinie, Teil 4 /188/ spezifizierte Validierungsverfahren genutzt. Die Modellvalidierung ist im Modellvalidierungsbericht im Anhang 3 dokumentiert. Das Simulationsmodell wurde in MATLAB 9.11 (R2021b), Simulink 10.4 (R2021b), Simscape 5.2 (R2021b), Simscape Electrical 7.6 (R2021b) validiert. Eine Migration in eine andere Simulationsumgebung hat nicht stattgefunden.

Das Modell erfüllt:

- die Anforderungen an die stationäre Genauigkeit von  $\pm 5$  % bezogen auf die Anschlusswirkleistung für Wirk- und Blindleistung und
- alle Anforderungen an die Regeldynamik der untersuchten Blindleistungsverfahren, siehe Anhang 3 (Der Einschwingvorgang erfolgt innerhalb von 9 s bzw. ist langsamer als in der Vermessung.).

Die nachfolgend aufgeführten Funktionen wurden evaluiert:

- Validierung der Einstellgenauigkeit des Verschiebungsfaktors
- Validierung der Einstellgenauigkeit der Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion
- Validierung der Einstellgenauigkeit der Blindleistungs-Spannungskennlinie  $Q(U)$
- Validierung der Einstellgenauigkeit der Kennlinie Blindleistung als Funktion der Wirkleistung  $Q(P)$
- Validierung der Einstellgenauigkeit der Wirkleistung
- Validierung des Einschwingverhaltens des Verschiebungsfaktors
- Validierung des Einschwingverhaltens der Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion
- Validierung des Einschwingverhaltens der Blindleistungs-Spannungskennlinie  $Q(U)$
- Validierung des Einschwingverhaltens der Kennlinie Blindleistung als Funktion der Wirkleistung  $Q(P)$
- Validierung des Einschwingverhaltens der Wirkleistung
- Plausibilisierung des Verhaltens der Wirkleistungsgradienten
- Plausibilisierung des Blindleistungsverhaltens einer EZA mit mehr als zwei EZE, EZE-Transformatoren und Mittelspannungskabeln.

#### **4 Evaluierungspläne nach Anhang A der FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/**

Im Folgenden wird der Evaluierungsplan der FGW-Richtlinie, Teil 8 /189/ Anhang A für die Komponente dargestellt.

Die unterschiedlichen Anforderungen sind unterteilt in die Punkte:

- Blindleistungsmanagement
- Wirkleistungsmanagement

- Zuschaltbedingungen und Synchronisierung
- Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung
- Simulationsmodell

#### 4.1 Blindleistungsmanagement

Allgemein gilt:

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
1	Eine fernwirktechnische und/oder manuelle Umschaltung zwischen den Regelverfahren ist möglich.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
2	Bei Umschaltung zwischen Regelverfahren soll der neue Sollwert nicht schneller als das geforderte PT1 Verhalten und nicht langsamer als in 4 Minuten erreicht werden. $Q_{soll} \geq t_{ein}$ & $Q_{soll} \leq 4 \text{ min}$	Wahr siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 2:</u></p> <p>Zum Nachweis der Anforderung wurde während der Vermessung eine Umschaltung von Q-Sollwertvorgabe auf Q(U)-Kennlinie durchgeführt. Das Messinstitut hat eine Einschwingzeit von 29,6 s (Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion) bzw. 25,2 s (Q(U)-Kennlinie) ermittelt. Für den Nachweis wurden im Blindleistungsregler die Parameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindleistungseinschwingzeit = 30 s</li> </ul> <p>eingestellt. Die Anforderung, dass die Umschaltung innerhalb von 4 Minuten erfolgt, ist durch diesen Nachweis belegt. Ebenso hat sich ein PT1 Verhalten gezeigt. Dazu wurde die Messwerte vom Messinstitut in den Toleranzkorridor der VDE-AR-N 4110 /182/ eingetragen.</p>		
3	Das Regelverhalten muss qualitativ nach einem PT1-Verhalten erfolgen. Jeder Blindleistungswert, der sich aus dem vom Netzbetreiber vorgegebenen Regelverhalten ergibt, muss einstellbar zwischen 6 s und 60 s (für Typ 1 zwischen 10 s und 60 s) bereitgestellt werden können.	Wahr siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 3:</u></p> <p>Eine Einstellung des PT1-Regelverhaltens ist über den Parameter „Blindleistungseinschwingzeit“ möglich. Die internen Reglerparameter sind streckenabhängig. Es folgt grundsätzlich durch den Hersteller eine Anpassung der internen Reglerparameter auf die Tot- und Verzögerungszeiten der EZA (Solarpark).</p> <p>In der Vermessung wurde gezeigt, dass ein PT1-Verhalten umsetzbar ist. Die Messung liegt innerhalb des Toleranzkorridors nach Anhang C.3 der VDE-AR-N 4110 /182/, für die jeweilige Einschwingzeit (6 s und 60 s).</p>		

4	Für das Verfahren „Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ “ gilt eine Einschwingzeit von bis zu einer Minute.	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 4:</u></p> <p>Eine Einstellung der Einschwingzeit ist über den Parameter „Blindleistungseinschwingzeit“ möglich. Die internen Reglerparameter sind streckenabhängig. Es folgt grundsätzlich durch den Hersteller eine Anpassung der internen Reglerparameter auf die Tot- und Verzögerungszeiten der EZA (Solarpark).</p> <p>Im Rahmen der Vermessung wurde eine maximale Einschwingzeit von 69,4 s ermittelt. Für den Nachweis wurden im Blindleistungsregler folgende Parameter eingestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindleistungseinschwingzeit = 60 s</li> </ul> <p>In der Vermessung wurde gezeigt, dass ein PT1-Verhalten umsetzbar ist. Die Messung liegt innerhalb des Toleranzkorridors nach Anhang C.3 der VDE-AR-N 4110 /182/, für die jeweilige Einschwingzeit (30 s und 60 s).</p>		
5	Bei Ausfall der Fernwirkverbindung über einen Zeitraum von mehr als 1 Minute kann entweder mit dem zuletzt gültigen Wert oder mit einem $\cos \varphi$ von etwa 1 fortgefahren werden. Für $\cos \varphi$ oder Q-Sollwerte muss außer dem Betrieb mit dem zuletzt gültigen Sollwert auch der Betrieb mit einem hinterlegten Default-Wert (je nach Netzbetreibervorgabe einstellbar) möglich sein.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1 und nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 5:</u></p> <p>Im Rahmen der Vermessung wurde das Verhalten bei Störungen getestet. Die Angaben der Herstellererklärung wurden bestätigt.</p>		
6	Bei Ausfall der Fernwirkverbindung ist die Umschaltung auf ein anderes Verfahren möglich.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1 und nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 6:</u></p> <p>Im Rahmen der Vermessung wurde das Verhalten bei Störungen getestet. Die Angaben der Herstellererklärung wurden bestätigt.</p>		
7	Die Toleranz nach Einschwingen des Blindleistungswertes von $\pm 2 \% P_{\text{inst}}$ , (bzw. von $\pm 4 \% P_{\text{inst}}$ für Anlagen mit $S_{A,\text{max}} < 300 \text{ kVA}$ ) wird eingehalten. Grenzwertüberschreitungen, die durch dynamische Spannungsänderungen im Netz verursacht werden, sind durch die Zertifizierungsstelle zu bewerten.	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 7:</u></p> <p>Im Rahmen der Vermessung wurde die Einstellgenauigkeit der Blindleistungsfunktionen vermessen. Nach einer Änderung der Führungsgröße ist der Blindleistungswert wieder innerhalb von <math>\pm 2 \% P_{\text{inst}}</math>. Es ergaben sich folgende maximale Abweichung der vermessenen Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verschiebungsfaktor: 1,6 % <math>P_{\text{inst}}</math></li> <li>- Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion: 1,8 % <math>P_{\text{inst}}</math></li> <li>- Q(U): 2,1 % <math>P_{\text{inst}}</math></li> </ul>		

-  $Q(P)$ : 1,6  $P_{inst}$

Die Überschreitung des Grenzwertes bei der  $Q(U)$  Kennlinie um 0,1 %, gegenüber der zulässigen Toleranz, liegt im Rahmen der Messunsicherheit von 0,50 % der Vermessung und wird nicht negativ evaluiert.

#### Blindleistungs-Spannungskennlinie ( $Q(U)$ )

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
8	Schnittstelle für die Vorgabespannung $U_{Q0}/U_C$ vorhanden. Vorgabespannung kann in Schritten von 0,5 $U_C$ vorgegeben werden.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
9	Spannungstotband in Schritten von höchstens 0,5% $U_C$ einstellbar $\pm 0$ % ... $\pm 5$ % $U_C$ .	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
10	$Q(U)$ Kennlinie / Steigung $m$ über Wertepaar definierbar.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
11	Die Steigung $m$ ist im Wertebereich einstellbar. $5 \leq m \leq 16,5$	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
12	Nach einer Anpassung der Vorgabespannung $U_{Q0}/U_C$ ist der resultierende Sollwert innerhalb von $\leq 4$ min anzufahren.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1

#### Blindleistungs-Wirkleistungskennlinie ( $Q(P)$ )

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
13	$Q(P)$ Kennlinie über mindestens 10 Stützpunkte/ Wertepaare ( $Q_{EA,Soll}/P_{b,inst}$ ) definierbar.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1

#### Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
14	Schnittstelle für die Vorgabe des Blindleistungswertes $Q_{ref}/P_{b,inst}$ ist vorhanden.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
15	Die Vorgabe des Blindleistungswertes $Q_{ref}/P_{b,inst}$ kann in Schritten von 1% $Q/P_{b,inst}$ vorgegeben werden.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
16	Verfahren $Q_{U,max}$ über Wertepaare definierbar.	Wahr, siehe Herstellererklärung

		(Kapitel 4) in Anhang 1
17	Aus Stabilitätsgründen sind Steigungen $m$ größer als der Grenzwert ( $m \geq 24$ ) unzulässig.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
18	Nach einer Anpassung des Blindleistungswertes $Q_{ref}/P_{binst}$ ist der resultierende Sollwert innerhalb von $\leq 4$ min anzufahren.	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
22 b	Das Regelverhalten am Netzanschlusspunkt muss qualitativ nach einem PT1-Verhalten erfolgen. Jeder Blindleistungswert muss von der Erzeugungsanlage einstellbar zwischen 6 s und 60 s (für Typ 1 zwischen 10 s und 60 s) bereitgestellt werden. Die vom Netzbetreiber vorgegebene Zeit entspricht $3 \tau$ eines PT1-Verhaltens bzw. der Zeit bis zum Erreichen von 95 % des Sollwertes. Weitergehende Anforderungen (bezüglich des Toleranzkorridors) an das Regelverhalten sind in Anhang C.3 der VDE-AR-N 4110 /182/ dargestellt.	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung

Bemerkung zu 22 b:

Eine direkte Einstellung der Einschwingzeit ist über den Parameter „Blindleistungseinschwingzeit“ möglich. Die internen Reglerparameter sind streckenabhängig. Es folgt grundsätzlich durch den Hersteller eine Anpassung der internen Reglerparameter auf die Tot- und Verzögerungszeiten der EZA (Solarpark).

Im Rahmen der Vermessung, siehe Anhang 2, wurden zum Erreichen einer Einschwingzeit von 6 s folgende Parameter gewählt:

- Blindleistungseinschwingzeit = 6 s

Im Rahmen der Vermessung, siehe Anhang 2, wurden zum Erreichen einer Einschwingzeit von 60 s folgende Parameter gewählt:

- Blindleistungseinschwingzeit = 60 s

Die Messungen liegen innerhalb des Toleranzkorridors nach Anhang C.3 der VDE-AR-N 4110 /182/, für die jeweilige Einschwingzeit (6 s und 60 s).

Die Einschwingzeit entsprechend der VDE-AR-N 4110 /182/ konnten erreicht werden.

**Verschiebungsfaktor  $\cos \varphi$**

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
19	Nach einer Anpassung des $\cos \varphi$ Sollwerts ist der resultierende Sollwert innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne anzufahren mit $\leq 4$ min Einschwingzeit	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1 und nachfolgende Bemerkung

Bemerkung zu 19:

Eine direkte Einstellung der Einschwingzeit ist über den Parameter „Blindleistungseinschwingzeit“ möglich.

Im Rahmen der Vermessung, siehe Anhang 2, wurden zum Erreichen einer Einschwingzeit von 30 s

<p>folgende Parameter gewählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindleistungseinschwingzeit = 30 s</li> </ul> <p>Im Rahmen der Vermessung, siehe Anhang 2, wurden zum Erreichen einer Einschwingzeit von 60 s folgende Parameter gewählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindleistungseinschwingzeit = 60 s</li> </ul> <p>Die Messungen liegen innerhalb des Toleranzkorridors nach Anhang C.3 der VDE-AR-N 4110 /182/, für die jeweilige Einschwingzeit (30 s und 60 s).</p> <p>Die Einschwingzeit entsprechend der VDE-AR-N 4110 /182/ konnten erreicht werden.</p>		
20	<p>Die maximal zulässige Fehlertoleranz 2 % bzw. 4 % <math>P_{Inst.}</math> (für Anlagen mit <math>S_{A,max} &lt; 300</math> kVA) wird nicht überschritten</p> <p><i>Hinweis: Grenzwertüberschreitungen, die durch dynamische Spannungsänderungen im Netz verursacht werden, sind durch die Zertifizierungsstelle zu bewerten.</i></p>	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 20:</u></p> <p>Zum Nachweis der Anforderung an die Einstellgenauigkeit wurden in der Vermessung folgende Parameter eingestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blindleistungseinschwingzeit = 10 s</li> </ul> <p>Die max. Abweichung des Verschiebungsfaktors in der Vermessung beträgt 1,6 % <math>P_{Inst.}</math>.</p>		
21	<p>Die Vorgabe erfolgt mit einer minimalen Schrittweite von 0,005.</p>	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1

## 4.2 Wirkleistungsmanagement

Allgemein gilt:

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
	Schnittstelle für Sollwerte der Wirkleitung vorhanden	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1

### 4.2.1 Wirkleistungsregelung bei Frequenzänderung

Diese Funktion ist nicht im EZA-Regler umgesetzt.

## 4.2.2 Netzsicherheitsmanagement

Allgemein gilt:

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
1	Leistungsgradient für das Steigern und Reduzieren der Wirkleistung. $0,33 \% P_{b,inst} / s \leq \text{Gradient} \leq 0,66 \% P_{b,inst} / s$ (Bei Sollwertvorgaben durch Dritte auch langsamer, bei Leistungssteigerung aber nicht langsamer als $4 \% P_{b,inst} / \text{min}$ )	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1 und nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 1:</u></p> <p>Die Messung des minimalen und maximalen Gradienten bei der Vermessung hat folgende Ergebnisse ergeben:</p> <p>Für den Nachweis des maximalen Gradienten wurde ein Gradient von <math>0,66 \% P_{b,inst} / s</math> parametrisiert. Im Wirkleistungsregler wurde der Modus „Bypass“ eingestellt. Es wurde ein maximaler Gradient von <math>0,66 \% P_{b,inst} / s</math> ermittelt.</p> <p>Für den Nachweis des minimalen Gradienten wurde ein Gradient von <math>0,33 \% &gt; P_{b,inst} / s</math> parametrisiert. Im Wirkleistungsregler wurde der Modus „Bypass“ eingestellt. Es wurde ein minimaler Gradient von <math>0,33 \% P_{b,inst} / s</math> ermittelt.</p>		
2	Gleichmäßiger Verlauf der Leistungssteigerung/ -reduzierung.	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 2:</u></p> <p>Die Vermessung hat einen gleichmäßigen Verlauf der Leistungssteigerung und –reduzierung gezeigt, siehe Anhang 3, Gegenüberstellung Mess- und Simulationsverläufe im Kapitel 4.2.5.1 und 4.2.5.2 des Messberichtes.</p> <p><u>Nachweis der unmittelbaren Umsetzung der Wirkleistungsvorgabe bei <math>P_{\text{mom}} &lt; P_{\text{inst}}</math>.</u></p> <p>Zusätzlich zu den Vorgaben wurde eine Vermessung mit einem Sollwert von <math>90 \% P_{\text{inst}}</math> durchgeführt, wobei die momentane Wirkleistung kleiner als <math>70 \% P_{\text{inst}}</math> war. Dann erfolgte eine Sollwertvorgabe auf einen Wert von <math>0 \%</math>. Die Umsetzung der Wirkleistungsvorgabe erfolgte mit einem Gradienten von <math>0,66 \% P_{\text{inst}}</math>. Es erfolgte „kein Warten“ bis zum rechnerischen Erreichen des aktuellen Momentanwertes. Es erfolgte eine unmittelbare Reduzierung der Wirkleistung</p>		
3	Schnittstellen zur Wirkleistungsvorgabe (Netzbetreiber, Direktvermarkter) getrennt umgesetzt sowie konzeptionell überprüft, ob niedrigster Wirkleistungswert übernommen wird (auch bei sich zeitlich überschneidenden Vorgaben).	Wahr, siehe Herstellererklärung (Kapitel 4) in Anhang 1
<p><u>Bemerkung zu 3:</u></p> <p>Die Vermessung hat gezeigt, dass bei einer Sollwertvorgabe über die verschiedenen Schnittstellen, der kleinste Sollwert als neuer gültiger Sollwert übernommen und angefahren wird.</p>		

4	Regelabweichung ausgewiesen und Abweichung $\leq 5 \% P_{inst}$	Wahr, siehe nachfolgende Bemerkung
<p><u>Bemerkung zu 4:</u></p> <p>Bei der Vermessung ergab sich eine Regelabweichung von <math>0,2 \% P_{inst}</math>. Die Anforderung ist eingehalten. Es wurde nur die Funktion „Bypass“ (Wirkleistungssteuerung) des Wirkleistungsmanagement des Reglers vermessen. Die Funktion Wirkleistungsregelung ist nicht evaluiert.</p>		

### 4.3 Zuschaltbedingungen

Diese Funktion ist nicht im Regler umgesetzt.

### 4.4 Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung

Allgemein gilt:

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
1	Ausreichende Dimensionierung der Hilfsenergieversorgung ist vorhanden.	nicht evaluiert, siehe Bemerkung
1a	Quasistationärer Betrieb innerhalb der Grenzen nach Bild 4 ist möglich.	nicht evaluiert, siehe Bemerkung

Bemerkung zu 1 und 1a:

Eine USV ist nicht Bestandteil des Reglers. Die Prüfung muss auf Anlagenebene erfolgen, siehe Herstellererklärung (Kapitel 2) in Anhang 1.

### 4.5 Simulationsmodell

#### 4.5.1 Modellumfang

Allgemein gilt:

Nr.	Bewertungskriterien	Evaluierung
1	Die Anforderung an rechnerlauffähige Modelle für Komponenten gemäß Kapitel 11.2.6 sind sinngemäß eingehalten.	Wahr
2	Das Modell ist rechnerläuffähig (die Funktionen können in mehreren Modellen abgebildet werden).	Wahr
3	Das Modell beinhaltet die gleichen Ein- und Ausgangsgrößen wie der abgebildete EZA-Regler	Wahr
4	Es sind mindestens die Wirk- und Blindleistungsregelung im Normalbetrieb im EZA-Regler-Modell abgebildet	Wahr, es ist nur der Wirkleistungsmodus „Bypass“ (Wirkleistungssteuerung“ des Simulationsmodells evaluiert

#### 4.5.2 Genauigkeit

Nr.	Weitere Nachweise	Evaluierung
A	Für EZA-Regler gilt: Anforderungen an die stationäre Genauigkeit der Sollwerte des EZA-Reglers an die EZE bzw. für unterlagerte EZA sind eingehalten.	Wahr, siehe Anhang 3 Übersicht der Validierungsergebnisse

#### 4.6 Reglerüberbrückung

Die Reglerüberbrückung wurde bei der Vermessung nicht überprüft.

## 5 Zusammenfassung

Die WIND-certification GmbH wurde von der PLEXLOG GmbH beauftragt, die Konformität für die Komponente PL500+ durch ein Komponentenzertifikat gemäß der Technischen Richtlinie für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 8: „Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz.“ /189/, zu evaluieren. Der Evaluierungsbericht fasst die validierten Eigenschaften der Erzeugungseinheit zusammen.

Die Evaluierung stellt den Stand der Technik dar und basiert ausschließlich auf den bereitgestellten Unterlagen.

1)	<p>Statische Spannungshaltung / Blindleistungsbereitstellung</p> <p>zertifiziert sind folgende Regelverfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fester Verschiebungsfaktor <math>\cos\phi</math></li> <li>- feste Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion</li> <li>- spannungsabhängige Blindleistungskennlinie Q(U)</li> <li>- leistungsabhängige Blindleistungskennlinie Q (P)</li> </ul>	<b>OK</b>
2)	<p>Wirkleistungsregelung nach Sollwertvorgabe / Netzsicherheitsmanagement</p> <p>Es wurde nur die Funktion Bypass (Wirkleistungssteuerung) des Wirkleistungsmanagement vermessen und evaluiert. Im Rahmen der Anlagenzertifizierung muss sichergestellt werden, dass die Parkverluste zu keiner Grenzwertüberschreitung auf Grund der Wirkleistungssteuerung führen. Alternativ ist eine weitere Komponente zur Erfüllung dieses Prüfpunktes notwendig.</p>	<b>OK, siehe Kapitel 4.2.2</b>
3)	<p>Wirkleistungsregelung bei Frequenzänderung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktion ist nicht umgesetzt</li> </ul>	<b>nicht evaluiert</b>
4)	Verhalten bei Störungen	<b>OK</b>
5)	<p>Zuschaltbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktion ist nicht umgesetzt</li> </ul>	<b>nicht evaluiert</b>
6)	<p>Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Hilfsenergieversorgung ist kein Teil der evaluierten Komponente. Eine Hilfsenergieversorgung entsprechend den Angaben des Herstellers muss auf Anlagenebene geplant werden. Es erfolgt keine Evaluierung.</li> </ul>	<b>siehe Kapitel 4.4</b>
7)	Simulationsmodell und Simulationsbeschreibung	<b>OK</b>

## 6 Anhang

### Anhang 1 Herstellerbestätigungen/-erklärungen und ISO 9001 Zertifikat

PLEXLOG GmbH, „Technische Beschreibung EZA-Regler PL500+“	13 Seiten/ 21.11.2023
PLEXLOG GmbH, „IEC OpenGateway V1.0“	1 Seite
DEKRA Certification GmbH, ZERTIFIKAT ISO 9001:2015 für den zertifizierten Bereich: Entwicklung, Vertrieb und Support von Energiemanagement-Lösungen inklusive Monitoring, Analyse und Fernzugriff, Zertifikats Registrier-Nr.: 91222755, gültig bis 29.12.2025 (Deckblatt)	1 Seite/ 30.12.2022
PLEXLOG GmbH, Beschreibung EZA-Regler-Modell	31 Seiten/ 18.10.2023
<b>Anhang 2 Prüfberichte</b>	
WIND-consult GmbH, Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, nach FGW TR3 Rev.26“ mit Berichtsnummer: „WICO 219NV920-02“ (Deckblatt)	1 Seite/ 29.11.2023
<b>Anhang 3 Validierungsbericht</b>	
WIND-certification GmbH, „Bericht zur Validierung und Prüfung der Simulations- und Messergebnisse“, WIND-cert 104CC420/06; mit Genauigkeitsübersicht der Validierung (Deckblatt und Teilauszüge)	25 Seiten/ 04.12.2023



## Technische Beschreibung EZA-Regler PL500+

**Hersteller:** PLEXLOG GmbH  
 Bohmter Str. 12  
 49074 Osnabrück  
 Deutschland

### 1. Einleitung

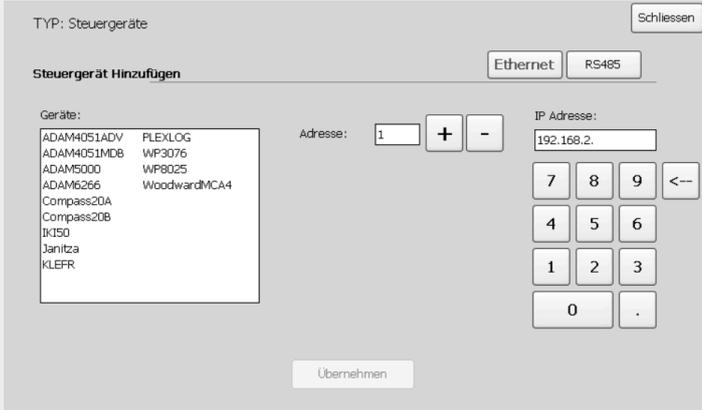
Der PLEXLOG Regler dient zur Überwachung, Regelung und Steuerung von PV-Wechselrichtern. Die Kommunikation zu den Wechselrichtern findet über die RS485-Schnittstelle oder die Ethernet-Schnittstelle statt. Die Reglereinheit beherrscht über 60 verschiedene Wechselrichter-Herstellerprotokolle zur Ansteuerung.

### 2. Systemaufbau

Gliederungsebene	Inhaltliche Definition	Anforderung
<b>Technische Beschreibung des EZA-Reglers:</b>	Regelungsbereich	Wirkleistungsregelung, Blindleistungsregelung
	Messdatenerfassung am Netzanschlusspunkt:	Die Messdatenerfassung am Netzanschlusspunkt erfolgt über ein Netzanalysegerät, das folgende Mindestanforderungen erfüllen muss: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfüllung der vorgeschrieben</li> </ul>

		<p>Mindestmessgenauigkeitsklasse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abtastrate (Aktualisierungszeit &lt; 300ms)</li> <li>- Folgende Messwerte werden minimal benötigt:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wirkleistung L1...L3</li> <li>○ Wirkleistung L1</li> <li>○ Wirkleistung L2</li> <li>○ Wirkleistung L3</li> <li>○ Blindleistung L1...L3</li> <li>○ Blindleistung L1</li> <li>○ Blindleistung L2</li> <li>○ Blindleistung L3</li> <li>○ Scheinleistung L1...L3</li> <li>○ Spannung L1-N</li> <li>○ Spannung L2-N</li> <li>○ Spannung L3-N</li> <li>○ Spannung L1-L2</li> <li>○ Spannung L2-L3</li> <li>○ Spannung L3-L1</li> <li>○ Strom L1</li> <li>○ Strom L2</li> <li>○ Strom L3</li> <li>○ Netzfrequenz</li> </ul> </li> </ul>
	Schnittstellen zur Sollwertvorgabe:	<p>Analog: Über externe Komponenten (RS485- oder ETH-gebunden):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ADAM6022</li> <li>- ADAM4022T</li> <li>- ADAM4051</li> </ul> <p>Digital:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IEC60870-5-101</li> <li>- IEC60870-5-104</li> <li>- ModBus TCP</li> </ul>
	EZA Kernel Version:	2.001

<b>Technische Daten des EZA-Reglers:</b>	<b>Elektrische Daten</b>	
	Akku (USV)	Nicht Teil des Lieferumfangs   AH
	Bemessungsspannung	12 – 24 V 12V (1A) Netzteil im Lieferumfang enthalten  VDC
	Frequenz	Hz
	Leistungsaufnahme	Max. 7,5   W
	<b>Strom und Spannungsmessung</b>	
	Art	Janitza 604UMG oder vergleichbare Geräte mit oben angegeben Mindestanforderungen (siehe Messdatenerfassung am Netzanschlusspunkt S. 1-2)
	Hersteller	Janitza
	Typ	604 UMG
	Leistungsaufnahme Strommessung	Ca. 0,1   VA
	Leistungsaufnahme Spannungsmessung	Ca. 0,1   VA
	<b>Umgebungsbedingungen im Betrieb</b>	
	Umgebungstemperatur	-10°C bis +70°C   °C
	<b>Haupt-Steuereinheit (SPS)</b>	
	Hersteller	FS Elektronik Systeme
	Typ	NXP i.MX 6ULL, 900MHz, 256MB RAM, 256MB SLC NAND Flash, 2x Ethernet, CAN, Touch, RTC, 4 x UART

<b>SCADA Datenbusanbindung (optional)</b>		
	Hersteller	-
	Typ	-
<b>I/O-Einheit</b>		
	Datenschnittstellen:	- Analog - Digital
	Fernwirkprotokolle	- IEC60870-5-101 - IEC60870-5-104 - ModBus TCP - ModBus RTU
	Digitale	Advantech I/O - Module oder ähnlich
	Digitale O	Advantech I/O Module oder ähnlich
	Analoge	Advantech I/O Module oder ähnlich
	Analoge O	Advantech I/O Module oder ähnlich
<p>Auswahlliste der aktuell verfügbaren I/O Einheiten:</p>  <p>The screenshot shows a configuration window titled 'TYP: Steuergeräte' with a 'Schliessen' button. Below it, there are 'Ethernet' and 'RS485' tabs. A section 'Steuergerät Hinzufügen' contains a list of devices under 'Geräte:' including ADAM4051ADV, ADAM4051MDB, ADAM5000, ADAM6266, Compass20A, Compass20B, IK150, Janitza, and KLEFR. To the right, there is an 'Adresse:' field with a value of '1' and '+' and '-' buttons, and an 'IP Adresse:' field with a value of '192.168.2.'. A numeric keypad is also visible. At the bottom, there is an 'Übernehmen' button.</p>		

<p><b>Anforderungen an Systemkomponenten zur Kompatibilität</b></p>	<p><b>Netzanalysegerät:</b> Janitza 604UMG Benötigte Wandlergenauigkeit: Klasse 0,5 und Klasse 0,2 bei Anlagen &gt;1 MVA sind ausreichend um der geforderten Blindleistungsgenauigkeit von 4 % bzw. 2 % bei Anlagen &gt; 300 kVA gerecht zu werden.</p> <p><b>Einstrahlungssensor:</b> Für Messung der prognostizierten Leistung, Umgebungstemperatur und Modultemperatur.</p> <p><b>Netzwerk:</b> Internetzugang (mind. 3G Netz),</p> <p><b>Komponentenkommunikation Wechselrichter:</b> Netzwerk (ETH): Cat 5 Netzwerkkabel mit maximal Kabellänge von 90m. RS485: Cat 5 Kabel mit geerdeter Schirmung mit maximaler Kabellänge von 1.200m.</p>	
<p><b>Bedien- und Anzeigeelemente Fernzugriff</b></p>	<p>7 Zoll Touchbedienung am lokalen Gerät, HTTPS (WSS) Websocket Connection für Fernzugriff</p>	

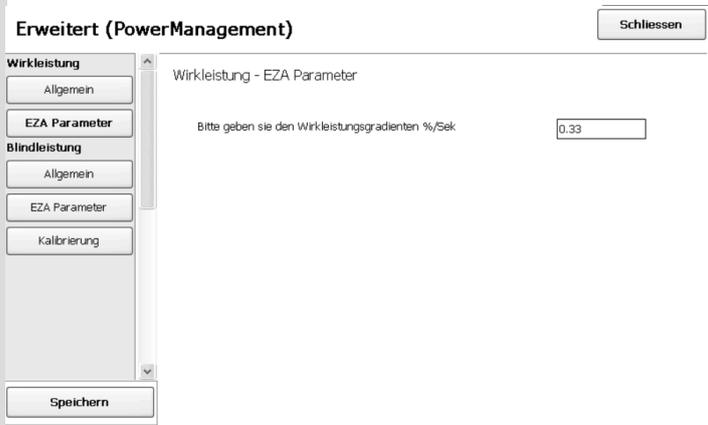
### 3. Schnittstellen

(Sollwertvorgaben/Rückgabewerte)

Gliederungsebene	Inhaltliche Definition	Anforderung
<b>Vorgabeschnittstellen</b> <b>Sollwert</b> <b>Ausgabeschnittstellen</b> <b>Stellglied</b> <b>Eingabeschnittstelle</b> <b>Messglied</b> <b>Ausgabeschnittstelle</b> <b>für</b> <b>Rückmeldungen</b>	Totzeit und Genauigkeit können in Abhängigkeit von folgenden Kenngrößen variieren: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der angeschlossenen Wechselrichter</li> <li>- Verwendetes Kommunikationsprotokoll</li> <li>- Antwortzeit der Wechselrichter</li> <li>- Verwendete Busgeschwindigkeit</li> <li>- Die Verwendung mehrere Protokolle parallel an verschiedenen Bussystemen hat ebenfalls eine Auswirkung auf die Totzeit des Systems</li> </ul>	
<b>Sonstiges</b>	Die Regelung der Wechselrichter kann über mehrere Schnittstellen (RS485, ETH) gleichzeitig erfolgen. Ebenso können bei Bedarf unterschiedliche Schnittstellen priorisiert werden.	

### 4. Regelung/Steuerung der EZA

Gliederungsebene	Inhaltliche Definition	Anforderung
<b>Wirkleistungsmanagement</b>	Das Wirkleistungsmanagement kann über folgende Schnittstellen betrieben werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- IEC608750-5-101</li> <li>- IEC608750-5-104</li> <li>- ModBus RTU</li> <li>- ModBus TCP</li> <li>- Analog I/O Module</li> </ul>	

	<p>Parametereingaben zum Verhalten können im folgenden Bereich getätigt werden:</p> 
<p><b>Wirkleistungsreduktion durch Sollwertvorgabe</b>  <b>Verriegelung der Wiederzuschaltung</b>  <b>Sonstige</b></p>	<p>Alle Funktionalitäten sind gegeben</p>
<p><b>Blindleistungsmanagement Kennlinienverfahren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fester Verschiebungsfaktor <math>\cos(\phi)</math></li> <li>- fester Q</li> <li>- fester Q/Pbinst</li> <li>- Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie Q(U)</li> <li>- Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzung s-funktion</li> <li>- Kennlinie Q(P)</li> <li>- sonstige Funktionen</li> </ul>	<p><b>Allgemein:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es gilt das Erzeugerpeilsystem</li> <li>• Erläuterung der Funktion „Standardverfahren“: Diese Funktion wird benötigt um nach einem Ausfallverhalten, wieder die standardmäßig definierte Kennlinie zu aktivieren.</li> </ul> <p><b>Fester Verschiebungsfaktor <math>\cos(\phi)</math>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstellbereich: Präzision: 0.001 <math>\cos(\phi)</math></li> <li>• WR (EZEs) limitieren die Grenzen</li> <li>• Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben</li> <li>• Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert</li> </ul>

TYP: Blindleistungsverfahren
Schliessen

---

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Fester cos(phi)

cos(phi)

Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

**Fester Q:**

- Einstellbereich: Präzision: 1 var
- WR (EZEs) limitieren die Grenzen
- Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben
- Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert

TYP: Blindleistungsverfahren
Schliessen

---

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Fester Q

Q(var)

Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

**Fester Q/Pbinst:**

- Einstellbereich: Präzision: 0.001 Q/Pbinst
- WR (EZEs) limitieren die Grenzen
- Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben
- Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert

TYP: Blindleistungsverfahren Schliessen

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Fester Q/Pbinst Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

Q/Pbinst

**Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie Q(U):**

- Einstellbereich: Präzision: 0.001 (für alle Werte)
- WR (EZEs) limitieren eventuelle Grenzen
- Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben ( $5 \leq m \leq 16.5$ )
- Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert
- Die Einstellung des Toleranzband (Umsetzung Totband gemäß VDE-AR-N 4110) wird im Menüpunkt → Konfiguration → PowerManagement → Erweitert → „Blindleistungseinstellungen Allgemein“ definiert (Präzision: 0.001 %)

TYP: Blindleistungsverfahren Schliessen

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie Q(U) VDE4110

kV Basis  Beispiel: 20

UQ0,ref/Uc  Wertebereich: 0 bis 2

Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

	1	2	3	4
U(kV)	<input type="text" value="19.2"/>	<input type="text" value="19.8"/>	<input type="text" value="20.2"/>	<input type="text" value="20.8"/>
Q/Pbinst	<input type="text" value="0.33"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.33"/>
	<input type="button" value="induktiv"/>	<input type="button" value="induktiv"/>	<input type="button" value="induktiv"/>	<input type="button" value="kapazitiv"/>

Es gilt grundsätzlich das Erzeugerfeisystem

### Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion:

- Steigungen  $m \geq 24$  werden nicht akzeptiert
- Einstellbereich: Präzision: 0.001 (für alle Werte)
- WR (EZEs) limitieren eventuelle Grenzen
- Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben
- Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert

TYP: Blindleistungsverfahren Schliessen

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Blindleistungs Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion VDE4110

kV Basis:  Beispiel: 20

Qref/Pbinst:  Wertebereich: -1 bis 1

Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

	1	2	3	4
U(kV)	<input type="text" value="19.2"/>	<input type="text" value="19.6"/>	<input type="text" value="20.4"/>	<input type="text" value="20.8"/>
Q/Pbinst	<input type="text" value="0.33"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.33"/>
	<input type="text" value="induktiv"/>	<input type="text" value="induktiv"/>	<input type="text" value="induktiv"/>	<input type="text" value="kapazitiv"/>

### Kennlinie Q(P):

- Einstellbereich: Präzision: 0.001 (für alle Werte)
- WR (EZEs) limitieren eventuelle Grenzen
- Oberfläche kontrolliert automatisch fehlerhafte Eingaben
- Verfahrensänderung (Aktivierungen) werden grundsätzlich innerhalb von 3Sek akzeptiert.

TYP: Blindleistungsverfahren Schliessen

**Blindleistungsverfahren Anpassen**

Kennlinie Q(P) (10 Punkt) VDE4110

Standardverfahren?:

Aktivieren bei Ausfall der FWA?:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P/Fbinst	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Q/Fbinst	0	0.05	0.12	0.15	0.188	0.20	0.25	0.30	0.33	0.33
	kapazitiv									

Sonstige Funktionen und Einstellungen lassen sich wie folgt einstellen:

**Erweitert (PowerManagement)** Schliessen

**Wirkleistung**

Allgemein

EZA Parameter

**Blindleistung**

Allgemein

EZA Parameter

Kalibrierung

Blindleistung - EZA Parameter

Aktuelle Erzeugungsleistung, direkt von Netzananschlusspunkt beziehen. Diese Option sollte nur bei Volleinspeiseanlagen aktiviert werden.

Bitte geben Sie die Blindleistungseinschwingzeit in Sek. an:

### weitere mögliche Funktionen des EZA-Reglers

#### Umschaltverfahren Blindleistungsverfahren:

Verfahren können auch in Kombination durchgeführt werden. Im Anhang befindet sich das Dokument IEC104 OpenGateway V1.0, wo das aktive Umschalten der Verfahren beispielhaft dokumentiert ist.

#### Ausfallverhalten:

Das Ausfallverhalten kann an den jeweiligen Blindleistungsverfahren definiert und eingestellt werden (siehe Screenshots Abschnitt 4). Sobald eine Ausfallkennlinie definiert wurde, wird diese im Falle eines Ausfalls aktiviert. Es kann sich hierbei auch um eine Verfahrensänderung handeln.

Beispiel: Q(U) Kennlinie ist das Standardverfahren - sobald ein Ausfall aktiv ist, wechselt der Regler auf das Verfahren Fester cos(phi).

Wenn kein Ausfallverhalten definiert wurde, gilt die letzte Sollwertvorgabe.

**Fernwirkanbindung** Schliessen

Name	Ausfall	Standard
Fester cos(phi)	Ja	Nein
Fester Q/Pbinst	Nein	Nein
Fester Q	Nein	Nein
Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie Q(U) VDE4110	Nein	Ja
Kennlinie Q(P) (10 Punkt) VDE4110	Nein	Nein
Blindleistungs Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion VDE4110	Nein	Nein

## 5. Kennwerte und sonstige Eigenschaften

Gliederungsebene	Inhaltliche Definition	Anforderung
Zulässige Totzeit	Es werden Totzeiten von maximal einer Sekunde akzeptiert.	

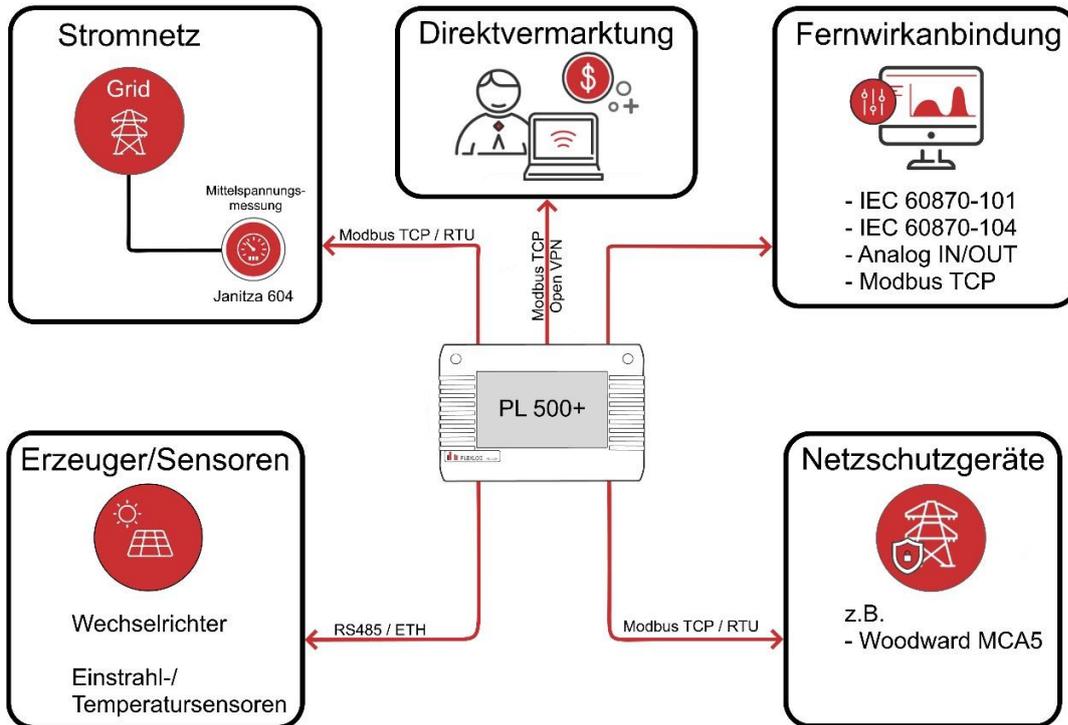


Abbildung Blockschaltbild EZA-Regler PL500+

Osnabrück, 21.11.2023

Bastian Gontek



Protokolltyp IEC 60870_5_104 (ASDU Adresse: 0-1)				
Einstellung Port C: Fernwirkanbindung --> DynIEC60870_5_104_Profil_8 muss aktiviert sein				
APCI Parameter: k=12,w=8,t0=10,t1=15,t2=10,t3=20				
Datenpunkt	Einheit	TK	IOA	Hinweis
<b>Übergabefeld</b>				
Wirkleistung	MW	13	0-0-1	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Wirkleistung L1	MW	13	0-0-2	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Wirkleistung L2	MW	13	0-0-3	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Wirkleistung L3	MW	13	0-0-4	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Blindleistung	Mvar	13	0-0-5	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Blindleistung L1	Mvar	13	0-0-6	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Blindleistung L2	Mvar	13	0-0-7	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Blindleistung L3	Mvar	13	0-0-8	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung LL	kV	13	0-0-9	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L1-L2	kV	13	0-0-10	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L2-L3	kV	13	0-0-11	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L3-L1	kV	13	0-0-12	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L1-N	kV	13	0-0-13	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L2-N	kV	13	0-0-14	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Spannung L3-N	kV	13	0-0-15	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Strom L1	A	13	0-0-16	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Strom L2	A	13	0-0-17	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
Strom L3	A	13	0-0-18	nur wenn Netzanalysegerät im System eingebunden
<b>Einspeise-/ Blindleistungsmanagement</b>				
<b>Einspeisemanagement Energieart 1</b>				
Vorgabe Wirkleistung EA1	%	50	0-1-1	Einstellung: Leistungsreduzierung --> Slave Modus muss aktiviert sein
Rückmeldung Vorgabe EA1	%	13	0-1-2	
Wirkleistung EA1	MW	13	0-1-3	
Aktuell verfügbare Wirkleistung EA1	MW	13	0-1-5	nur wenn Einstrahlungssensor im System eingebunden
Dargebotsleistung (Pbinst) EA1	MW	13	0-1-6	
Marketingbasierte Abreglung EA1	%	13	0-1-7	100% = keine Reduzierung durch DV
<b>Blindleistungsmanagement Energieart 1</b>				
Blindleistung EA1	Mvar	13	0-1-43	EZS Richtung beachten
cos(phi) EA1	cos(phi)	13	0-1-44	EZS Richtung beachten
Aktuell verfügbare Blindleistung EA1	Mvar	13	0-1-20	nur wenn Einstrahlungssensor im System eingebunden
<b>Fester cos(phi)</b>				
Aktivieren Vorgabe Fester cos(phi) EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-21	
Rückmeldung Aktivierung Fester cos(phi) EA1	AUS/EIN	3	0-1-22	
Vorgabe cos(phi) EA1	cos(phi)	50	0-1-23	EZS Richtung beachten
Rückgabe Vorgabe cos(phi) EA1	cos(phi)	13	0-1-24	
<b>Fester Q</b>				
Aktivieren Vorgabe Fester Q EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-25	
Rückmeldung Aktivierung Fester Q EA1	AUS/EIN	3	0-1-26	
Vorgabe Q EA1	Mvar	50	0-1-27	EZS Richtung beachten
Rückgabe Vorgabe Q EA1	Mvar	13	0-1-28	
<b>Fester Q/Pbinst</b>				
Aktivieren Vorgabe Fester Q/Pbinst EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-29	
Rückmeldung Aktivierung Fester Q/Pbinst EA1	AUS/EIN	3	0-1-30	
Vorgabe Q/Pbinst EA1	Q/Pbinst	50	0-1-31	EZS Richtung beachten - Wertebereich -5 bis 5
Rückgabe Vorgabe Q/Pbinst EA1	Q/Pbinst	13	0-1-32	
<b>Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie Q(U) VDE4110</b>				
Aktivieren Kennlinie: Blindleistungs-Spannungs_Kennlinie Q(U) VDE 4110 EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-33	
Rückmeldung Aktivierung Kennlinie: Blindleistungs-Spannungs_Kennlinie Q(U) VDE 4110 EA1	AUS/EIN	3	0-1-34	
Vorgabe für VAR (Qref/Uc) EA1	VAR (Qref/Uc)	50	0-1-35	Wertebereich 0 bis 2
Rückgabe Vorgabe VAR (Qref/Uc) EA1	VAR (Qref/Uc)	13	0-1-36	
<b>Blindleistungs Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion VDE4110</b>				
Aktivieren Kennlinie: Blindleistung Q mit Spannungsbegrenz. VDE4110 EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-37	
Rückmeldung Aktivierung Kennlinie: Blindleistung Q mit Spannungsbegrenz. VDE4110 EA1	AUS/EIN	3	0-1-38	
Vorgabe für VAR (Qref/Pbinst) EA1	VAR (Qref/Pbinst)	50	0-1-39	EZS Richtung beachten - Wertebereich -5 bis 5
Rückgabe Vorgabe VAR (Qref/Pbinst) EA1	VAR (Qref/Pbinst)	13	0-1-40	
<b>Kennlinie Q(P) (10 Punkt) VDE4110</b>				
Aktivieren Kennlinie: Kennlinie Q(P) VDE 4110 EA1	AUS/EIN	46/45	0-1-41	
Rückmeldung Aktivierung Kennlinie: Kennlinie Q(P) VDE 4110 EA1	AUS/EIN	3	0-1-42	
<b>Wetterdaten</b>				
Außentemperatur	°C	13	0-3-1	nur wenn Einstrahlungssensor mit Tempfühler im System eingebunden
Gloabalstrahlung	W/m²	13	0-3-2	nur wenn Einstrahlungssensor im System eingebunden
<b>System</b>				
Watchdog	-	50	0-4-1	Watchdogtrigger - Standardmäßig deaktiviert

# ZERTIFIKAT



## ISO 9001:2015

DEKRA Certification GmbH bescheinigt hiermit, dass die Organisation

### PLEXLOG GmbH

Bohmter Straße 12, 49074 Osnabrück, Deutschland

#### für den zertifizierten Bereich:

Entwicklung, Vertrieb und Support von Energiemanagement-Lösungen inklusive Monitoring, Analyse und Fernzugriff

ein Qualitätsmanagementsystem entsprechend der oben genannten Norm eingeführt hat und aufrechterhält. Der Nachweis wurde mit Auditbericht-Nr. 22081417 erbracht.

Zertifikats Registrier-Nr.:	91222755
Gültigkeit vorheriges Zertifikat:	---
Zertifikat gültig vom:	30.12.2022
Zertifikat gültig bis:	29.12.2025



Dr. Rolf Krökel  
DEKRA Certification GmbH, Berlin, 30.12.2022



Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-ZM-16029-01-01



EZA-Regler zur Umsetzung der  
Vorgaben für die Wirk- und Blind-  
leistungsregelung gemäß VDE-4110

**PLEXLOG GmbH**  
Bohmter Straße 12  
49074 Osnabrück  
Tel.: +49 541 357 318 40  
Fax: +49 541 357 318 31  
info@plexlog.de  
[www.plexlog.de](http://www.plexlog.de)

Osnabrück, 18.10.2023

**Beschreibung EZA-Regler-Modell**



## Inhaltsverzeichnis

EZA-Regler .....	1
Q-Sollwertbildung .....	4
Verfahren a) Blindleistung-/Spannungskennlinie $QU$ .....	6
Verfahren b) Kennlinie Blindleistung als Funktion der Wirkleistung .....	7
Verfahren c) Blindleistungsvorgabe mit Spannungsbegrenzungsfunktion .....	8
Verfahren d) Fester Verschiebungsfaktor $\cos\varphi$ .....	10
Wirkleistungsregler .....	10
Blindleistungsregler .....	12
Faustformeln für PID-Regelparameter .....	16
Methode von Ziegler und Nichols .....	17
Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick .....	17
T-Summen-Regel .....	18
Betragsoptimum .....	18
Betragsoptimum mit vorgegebener Einschwingzeit .....	19
EZA-Regler Parametrierung .....	19
Zählfeil-Systeme .....	20
Simulation .....	21
Softwareversion .....	21
Modelleinstellungen .....	21
Modellbestandteile .....	22
Beispiel-Projekt (RMS, Phasor-Simulation) .....	23



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EZA-Regler.....	1
Abbildung 2: Die drei internen Blöcke des EZA-Reglers .....	3
Abbildung 3: Der Block Q-Sollwertbildung .....	4
Abbildung 4: Eingabemaske Block Q-Sollwertbildung.....	5
Abbildung 5: Kennlinie Verfahren a).....	6
Abbildung 6: Kennlinienparameter von Verfahren a).....	6
Abbildung 7: Kennlinienverschiebung Verfahren a).....	7
Abbildung 8: Kennlinie Verfahren b).....	7
Abbildung 9: Kennlinienparameter von Verfahren b).....	8
Abbildung 10: Kennlinie Verfahren c).....	8
Abbildung 11: Kennlinienparameter Verfahren c).....	9
Abbildung 12: Kennlinienverschiebung Verfahren c).....	9
Abbildung 13: Wirkleistungsregler .....	10
Abbildung 14: Wirkleistungsregelalgorithmus .....	10
Abbildung 15: Parameter des Wirkleistungsreglers .....	11
Abbildung 16: Blindleistungsregler .....	12
Abbildung 17: Blindleistungsregelalgorithmus .....	13
Abbildung 18: Parameter des Blindleistungsreglers .....	14
Abbildung 19: PT1Tt - Sprungantwort.....	16
Abbildung 20: Erzeugerzählpeilsystem .....	20
Abbildung 21: Verbraucherzählpeilsystem .....	20
Abbildung 22: Simulink Einstellungen.....	21
Abbildung 23: Simscape Einstellungen.....	22
Abbildung 24: Beispielaufbau .....	23
Abbildung 25: Netzanalysegerät .....	23
Abbildung 26: Sende-Intervall Regler .....	24
Abbildung 27: Abtastzeit des Netzanalysegeräts.....	25
Abbildung 28: Abfrageintervall Janitza.....	26
Abbildung 29: Nachbildung Zeitverhalten EZE.....	26
Abbildung 30: Park.....	27
Abbildung 31: EZA_1 .....	27
Abbildung 32: Beschreibung Dynamic Load.....	28



### EZA-Regler

Der EZA-Regler wurde zur Umsetzung der Vorgaben für die Wirk- und Blindleistungsregelung gemäß VDE-4110 entworfen. Der EZA-Regler besteht intern aus drei Blöcken. Jeweils ein Regler für Wirkleistung und Blindleistung, sowie ein Block zur Berechnung des Blindleistungssollwertes gemäß den vier geforderten Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung. Der EZA-Regler arbeitet mit bezogenen Größen.

Für alle Inputs, Outputs und Parameter gilt:

Spannungen sind bezogen auf  $U_c$

Leistungen sind bezogen auf  $P_{b,inst}$

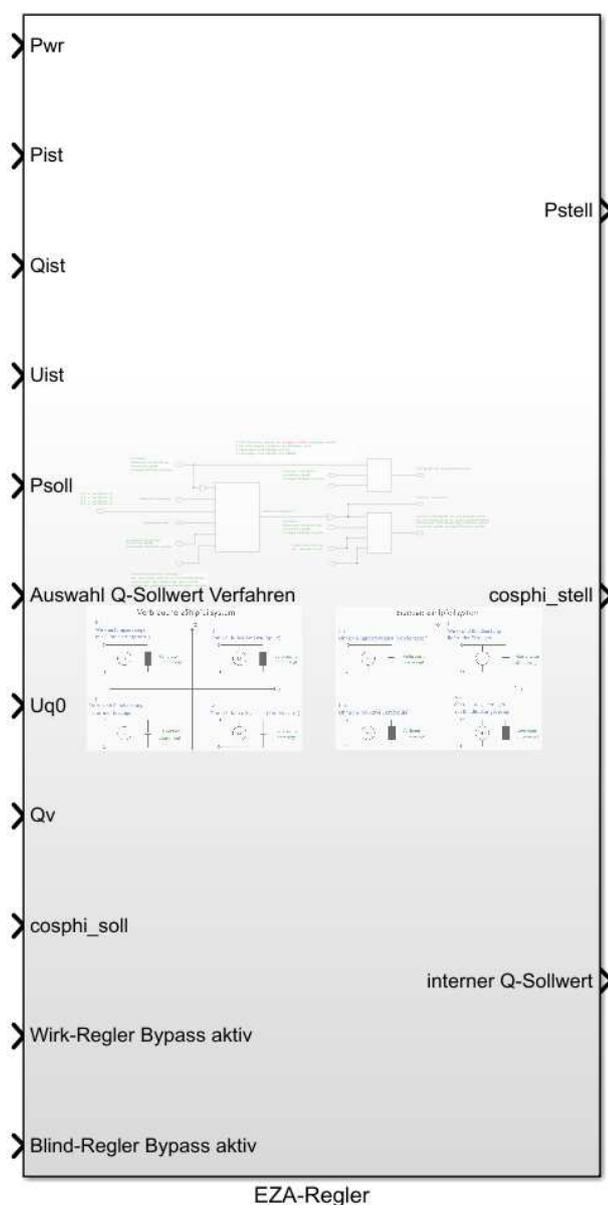


Abbildung 1: EZA-Regler



Signal in pu	Beschreibung
Pwr	Gesamte geregelte Wechselrichter Wirkleistung-Istwert:  Momentane Leistung der Wechselrichter  Bei Volleinspeiseanlagen kann alternativ auch Pist auf diesen Eingang aufgeschaltet werden.
Pist	NAP-Wirkleistung-Istwert:  Momentane Wirkleistung am Netzanschlusspunkt. Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System
Qist	NAP-Blindleistung-Istwert:  Momentane Blindleistung am Netzanschlusspunkt. Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System
Uist	NAP-Spannung-Istwert:  Momentane Spannung am Netzanschlusspunkt.
Psoll	NAP-Wirkleistung-Sollwert:  Sollwert für die Wirkleistung am Netzanschlusspunkt. Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System
Auswahl Q-Sollwert Verfahren	Auswahl welches Verfahren zur Berechnung des NAP-Blindleistung-Sollwert verwendet werden soll.
Uq0	Vorgabespannung (Verfahren a)
Qv	Vorgabeblindleistung (Verfahren c)  Vorzeichen gemäß Verbraucherzählpfeil-System
cosphi_soll	Verschiebungsfaktor-Sollwert (Verfahren d)  Das Vorzeichen gibt an, ob die Blindleistung untererregt oder übererregt sein sollen. Vorzeichen gemäß Verbraucherzählpfeil-System.
Wirk-Regler Bypass aktiv	Aktiviert die Bypass-Funktion des Wirkleistungsreglers.
Blind-Regler Bypass aktiv	Aktiviert die Bypass-Funktion des Blindleistungsreglers.
Pstell	Wirkleistungsstellgröße für die Wechselrichter
cosphi_stell	$\cos(\varphi)$ – Stellgröße für die Wechselrichter.



	Das Vorzeichen gibt an, ob die Wechselrichter untererregt oder übererregt arbeiten sollen. Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System.
interner Q-Sollwert	Interner vom Blindleistungsregler verwendete NAP-Blindleistung-Sollwert. Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System.

Tabelle 1: Beschreibung der Ein- und Ausgangssignale des EZA-Reglers

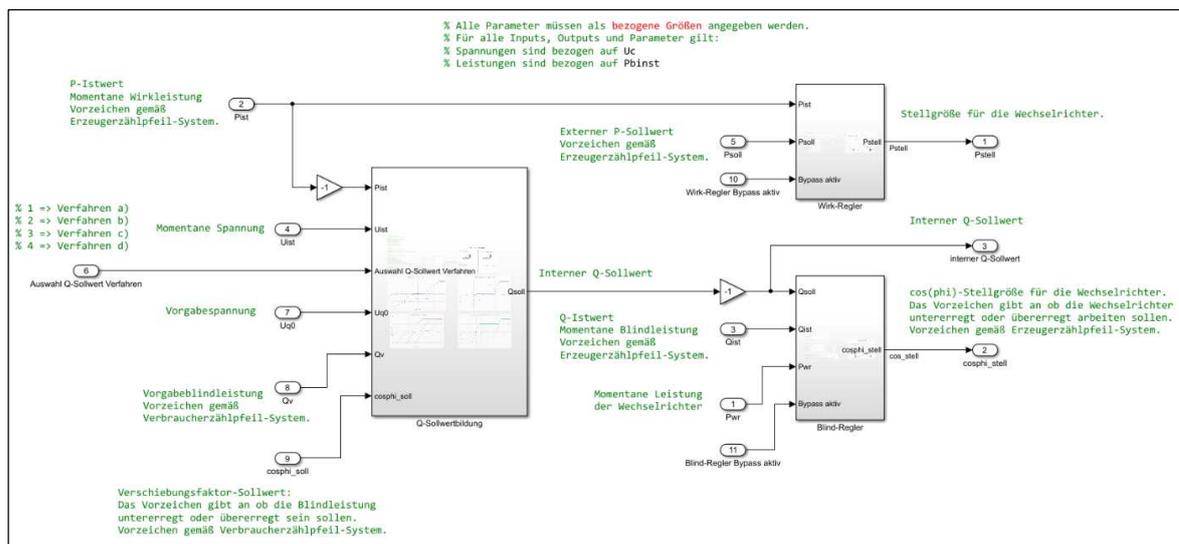


Abbildung 2: Die drei internen Blöcke des EZA-Reglers

## Q-Sollwertbildung

Die VDE-4110 definiert 4 Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung:

- Blindleistung-/Spannungskennlinie  $Q(U)$
- Kennlinie Blindleistung als Funktion der Wirkleistung
- Blindleistungsvorgabe mit Spannungsbegrenzungsfunktion
- Fester Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$

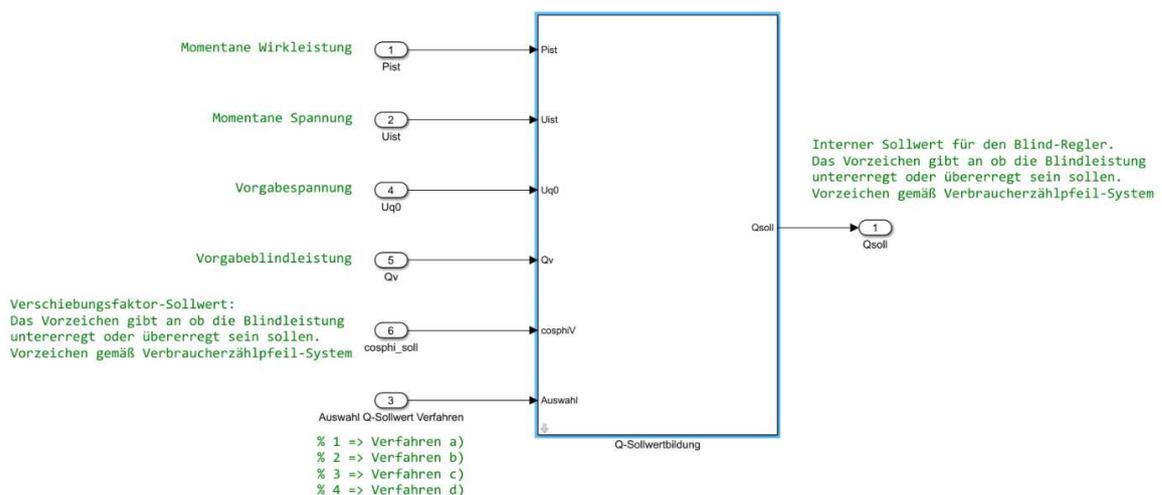


Abbildung 3: Der Block Q-Sollwertbildung

Die Kennlinien der vier Verfahren können über die Eingabemaske des Blocks eingestellt werden. Die Vorgabespannung  $U_{Q0}$  (Verfahren a), die Vorgabeblindleistung  $Q_v$  (Verfahren c) und der Vorgabeverschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)_{soll}$  (Verfahren d) werden über die Eingänge des Blocks eingespielt. Mit dem Eingang „Auswahl“ kann zwischen den Verfahren gewechselt werden. Als Ausgabe liefert der Block den Sollwert für die Blindleistung am Netzanschlusspunkt  $Q_{soll}$ .

Für alle Inputs, Outputs und Parameter gilt:

Spannungen sind bezogen auf  $U_c$

Leistungen sind bezogen auf  $P_{b,inst}$

Vorzeichen gemäß Verbraucher-Zählpfeilsystem.



Block Parameters: Q-Sollwertbildung

**Q-Sollwertbildung**

Berechne Blindleistungssollwert aus den Vorgaben des Netzbetreibers.  
 Alle Parameter müssen als bezogene Größen angegeben werden.  
 Für alle Inputs, Outputs und Parameter gilt:  
 Spannungen sind bezogen auf  $U_c$   
 Leistungen sind bezogen auf  $P_{\text{binst}}$   
 Vorzeichen gemäß Verbraucherzählpfeil-System

**Parameter**

**Verfahren a)**

Uq0ref:

UstbL:

UstbH:

Umin:

Umax:

Qmin:

Qmax:

**Verfahren b)**

P-Werte der Stützpunkte der Q(P)-Kennlinie:

Q-Werte der Stützpunkte der Q(P)-Kennlinie:

**Verfahren c)**

Up1:

Up2:

Up3:

Up4:

Qp1:

Qref:

Qp4:

OK Cancel Help Apply

Abbildung 4: Eingabemaske Block Q-Sollwertbildung



Verfahren a) Blindleistung-/Spannungskennlinie  $Q(U)$

Ziel dieses Verfahren ist es, dass die Erzeugungsanlage in Abhängigkeit von der aktuellen Spannung am Netzanschlusspunkt Blindleistung mit dem Netz austauscht ( $Q = f(U)$ ).

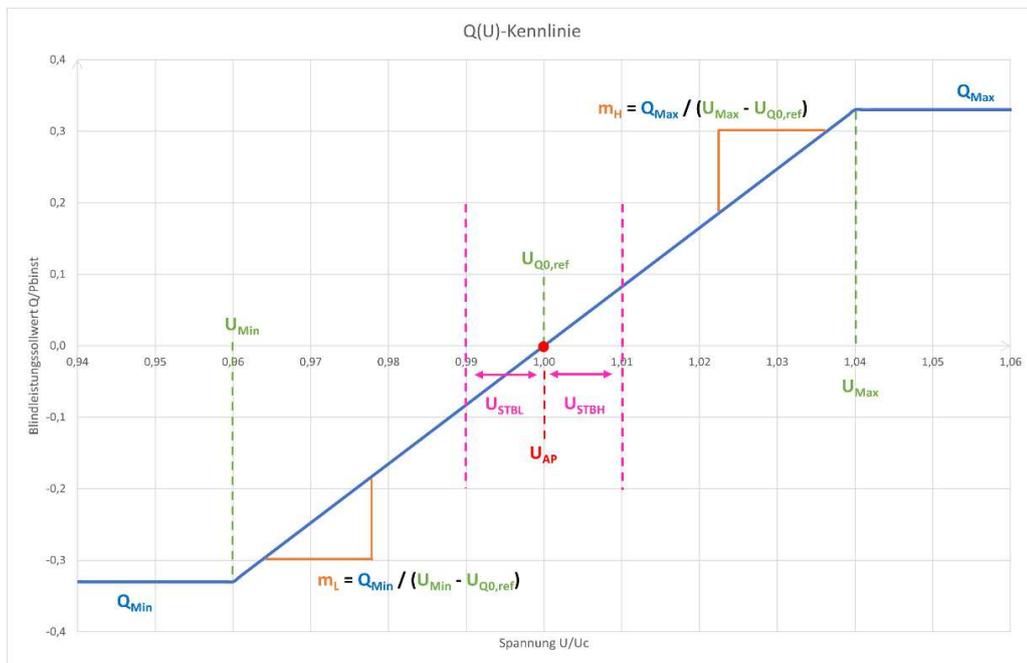


Abbildung 5: Kennlinie Verfahren a)

Verfahren a)

Uq0ref:

UstbL:

UstbH:

Umin:

Umax:

Qmin:

Qmax:

Parameter	Beschreibung
Uq0ref	Referenzspannung bei Q = 0
UstbL	Breite des unteren Spannungstotband
UstbH	Breite des oberen Spannungstotband
Umin	Untere Spannungsgrenze
Umax	Obere Spannungsgrenze
Qmin	Minimale Blindleistung
Qmax	Maximale Blindleistung

Abbildung 6: Kennlinienparameter von Verfahren a)



Die Vorgabespannung  $U_{Q0}$  wird vom Netzbetreiber dynamisch per Fernwirkanlage vorgegeben. Sie bewirkt eine Parallelverschiebung der Kennlinie in horizontaler Richtung.

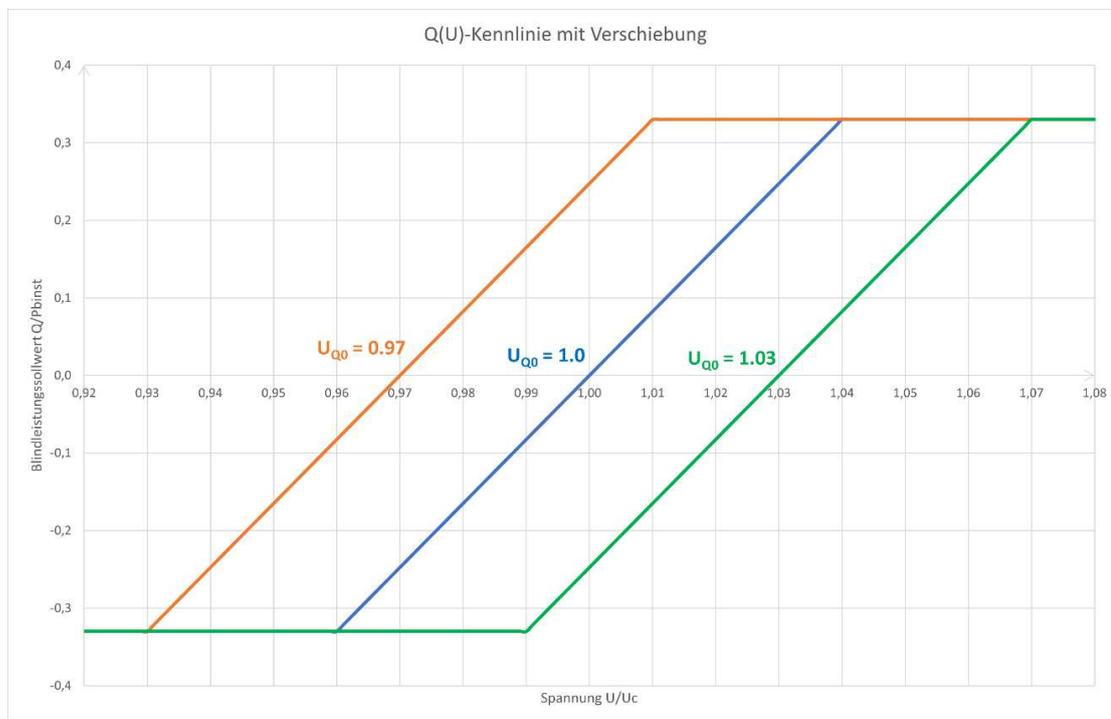


Abbildung 7: Kennlinienverschiebung Verfahren a)

Verfahren b) Kennlinie Blindleistung als Funktion der Wirkleistung

Ziel dieses Verfahren ist es, dass die Erzeugungsanlage in Abhängigkeit von der aktuellen Wirkleistung am Netzanschlusspunkt Blindleistung mit dem Netz austauscht ( $Q = f(P)$ ).

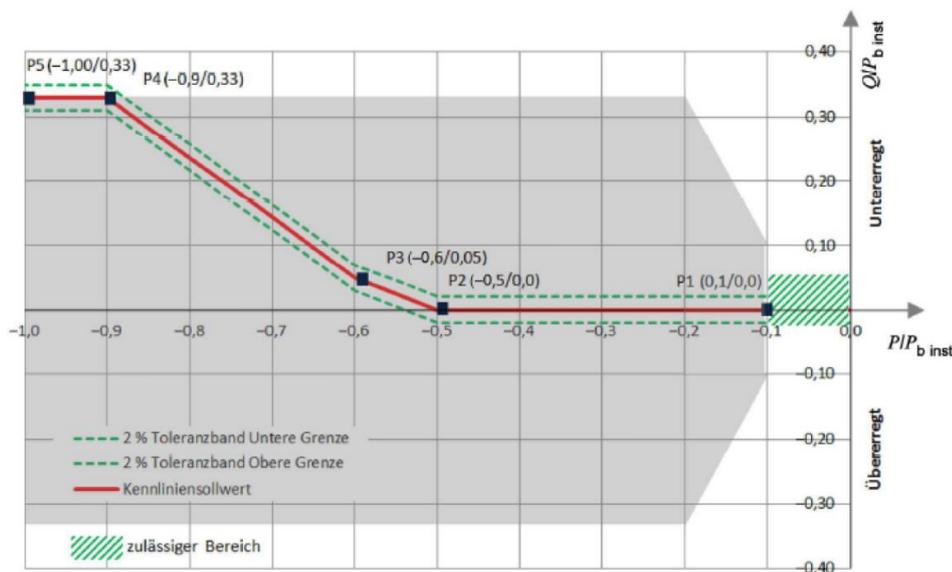


Abbildung 8: Kennlinie Verfahren b)



Verfahren b)

P-Werte der Stützpunkte der Q(P)-Kennlinie: [-1, -0.9, -0.6, -0.5, -0.1] ⋮

Q-Werte der Stützpunkte der Q(P)-Kennlinie: [0.33, 0.33, 0.05, 0.0, 0.0] ⋮

Abbildung 9: Kennlinienparameter von Verfahren b)

Die Kennlinie wird aus maximal 10 Stützpunkten definiert. Zwischen den Stützpunkten wird die Kennlinie linear interpoliert. Die Stützpunkte werden als (P, Q) -Wertepaare vorgegeben. Die Stützpunkte müssen nach Größe aufsteigend sortiert an den Block übergeben werden.

#### Verfahren c) Blindleistungsvorgabe mit Spannungsbegrenzungsfunktion

Ziel ist es, dass die Erzeugungsanlage weitestgehend unabhängig von der Wirkleistungseinspeisung eine vom Netzbetreiber vorgegebene Blindleistung in das Netz einspeist ( $Q = \text{konstant}$ ). Um konträre Auswirkungen zwischen Blindleistungsvorgabe und Einhaltung der Spannungsgrenzen zu vermeiden, soll in definierten Bereichen eine spannungsabhängige Blindleistung erfolgen.

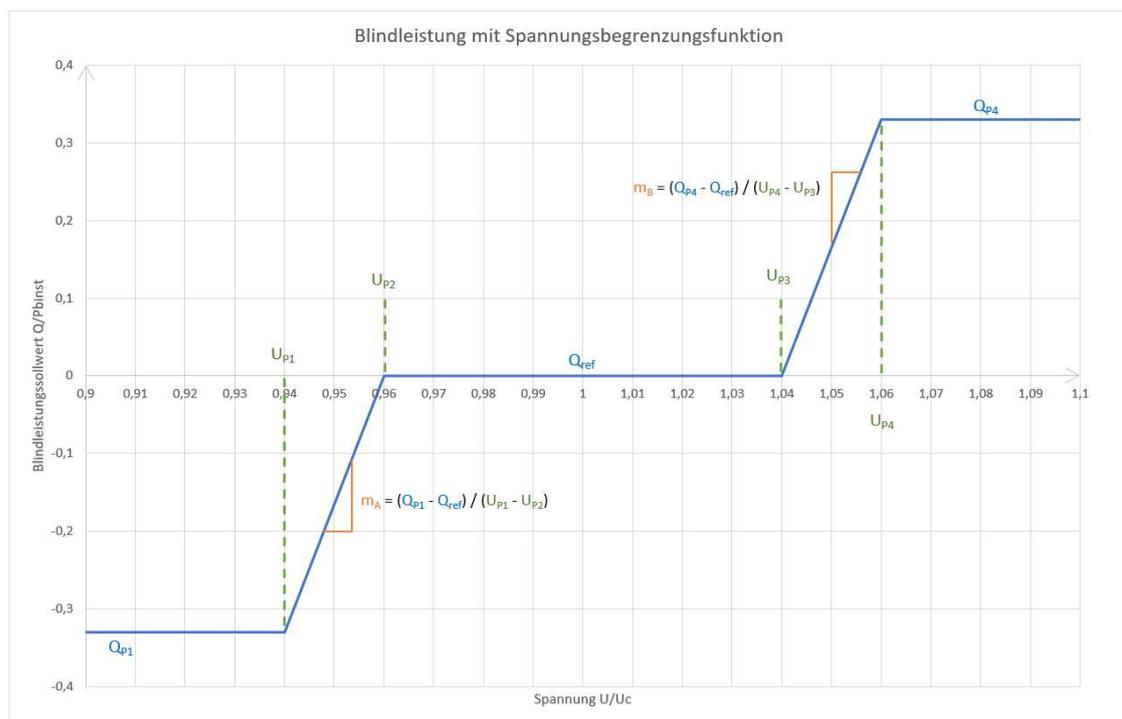


Abbildung 10: Kennlinie Verfahren c)



Verfahren c)

Up1:

Up2:

Up3:

Up4:

Qp1:

Qref:

Qp4:

Parameter	Beschreibung
Up1	Spannung des Wertepaar P1
Up2	Spannung des Wertepaar P2
Up3	Spannung des Wertepaar P3
Up4	Spannung des Wertepaar P4
Qp1	Blindleistung des Wertepaar P1
Qref	Blindleistung der Wertepaare P2 & P3
Qp4	Blindleistung des Wertepaar P4

Abbildung 11: Kennlinienparameter Verfahren c)

Die Vorgabebindleistung  $Q_v$  wird vom Netzbetreiber dynamisch per Fernwirkanlage vorgegeben. Sie bewirkt eine Parallelverschiebung des Kennlinienabschnitt zwischen P2 und P3 in vertikaler Richtung unter Berücksichtigung der Steigungen  $m_a$  und  $m_b$ .

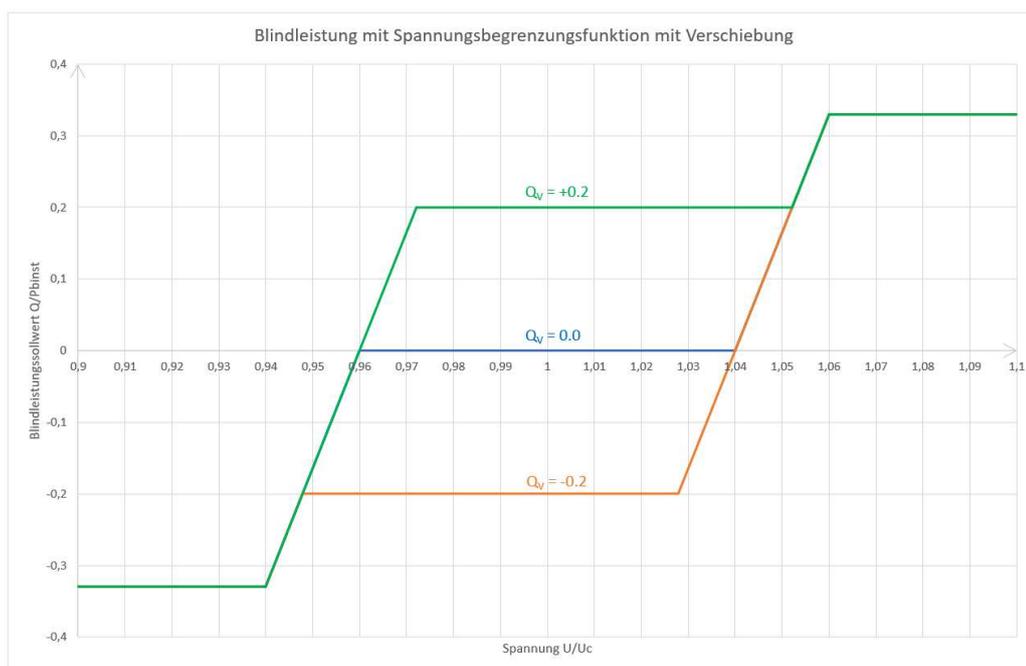


Abbildung 12: Kennlinienverschiebung Verfahren c)



## Verfahren d) Fester Verschiebungsfaktor $\cos(\varphi)$

Ziel des Verfahrens ist es, dass die Erzeugungsanlage Leistung mit einem konstanten Verhältnis aus Wirk- und Scheinleistung in das Netz einspeist ( $\cos(\varphi) = \text{konstant}$ ).

## Wirkleistungsregler

Der Regler arbeitet mit normierten Größen. Die Bezugsgröße ist  $P_{b,inst}$ . Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System. Der Regler arbeitet mit einer festen Abtastzeit  $T_s = 1 \text{ s}$ . Als Ausgabe liefert der Regler die an den Wechselrichtern der Erzeugungsanlage einzustellende Wirkleistung.

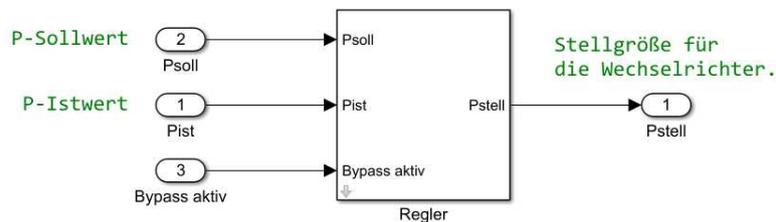


Abbildung 13: Wirkleistungsregler

Intern besteht er aus einem PID-Regler mit nachgeschaltetem Gradientenbegrenzer. Über einen Bypass kann der PID-Regler überbrückt werden und der Sollwert direkt auf den Gradientenbegrenzer aufgeschaltet werden.

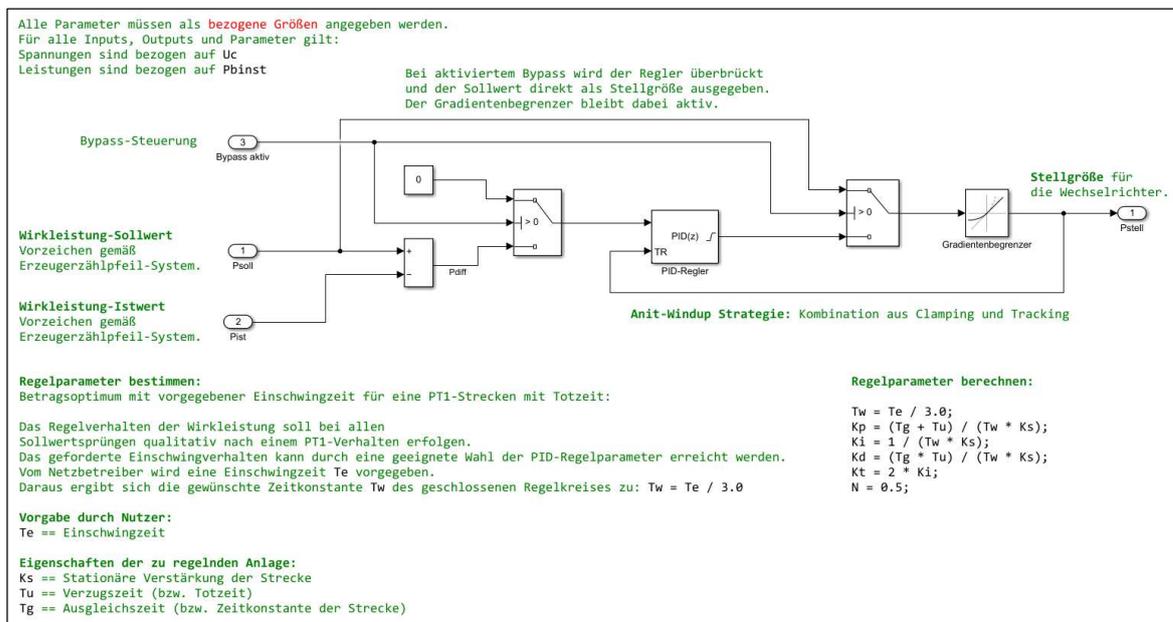


Abbildung 14: Wirkleistungsregelalgorithmus

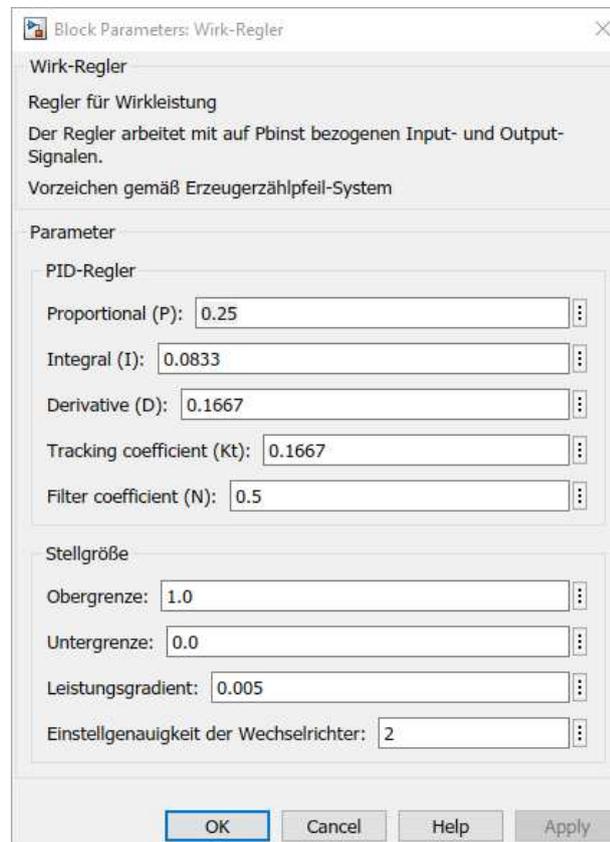


Abbildung 15: Parameter des Wirkleistungsreglers

Parameter	Beschreibung
Proportional (P)	Der P-Regler besteht ausschließlich aus einem proportionalen Anteil der Verstärkung $K_p$ .
Integral (I)	Ein I-Regler (integrierender Regler, I-Glied) wirkt durch zeitliche Integration der Regelabweichung $e(t)$ auf die Stellgröße mit der Gewichtung durch die Nachstellzeit $T_n$ : $K_i = \frac{K_p}{T_n}$
Derivative (D)	Das D-Glied ist ein Differenzierer, der nur in Verbindung zu Reglern mit P- und/oder I-Verhalten als Regler eingesetzt wird. Er reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung $e(t)$ , sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit. (Vorhaltzeit $T_v$ : $K_d = K_p \cdot T_v$ )
Tracking coefficient ( $K_t$ )	Verstärkungsfaktor der Tracking Feedback-Schleife. Der Wirk-Regler verwendet die Tracking Feedback-Schleife, um einen sanften Übergang zwischen Bypass und Regelung zu gewährleisten und als Anti-



	Windup-Methode für die Einflüsse des Leistungsgradient. $K_t = 2 \cdot K_i$ ist ein guter Wert.
Filter coefficient (N)	Filterkonstante des D-Glieds. Es muss gelten: $N \cdot T_s < 1$ . Bei einer Abtastzeit von $T_s = 1s$ ist $N = 0,5$ ein guter Wert.
Obergrenze	Maximalwert für die Stellgröße
Untergrenze	Minimalwert für die Stellgröße
Leistungsgradient	Begrenzt die maximale Änderungsgeschwindigkeit der Stellgröße.  Wertebeispiel: 0,005 => 0,5 % pro Sekunde Wertebeispiel: 0,01 => 1,0 % pro Sekunde Wertebeispiel: 0,1 => 10 % pro Sekunde
Einstellgenauigkeit der Wechselrichter	Begrenzt die Stellgröße auf 'n' Nachkommastellen. Die Stellgröße ist dementsprechend sowohl zeit- als auch wertdiskret.

## Blindleistungsregler

Der Regler arbeitet mit normierten Größen. Die Bezugsgröße ist  $P_{b,inst}$ . Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System. Der Regler arbeitet mit einer festen Abtastzeit  $T_s = 1s$ . Als Ausgabe liefert der Regler den an den Wechselrichtern der Erzeugungsanlage einzustellenden Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$ . Das Vorzeichen des  $\cos(\varphi)$ -Wert gibt an, ob die Wechselrichter untererregt oder übererregt arbeiten sollen.

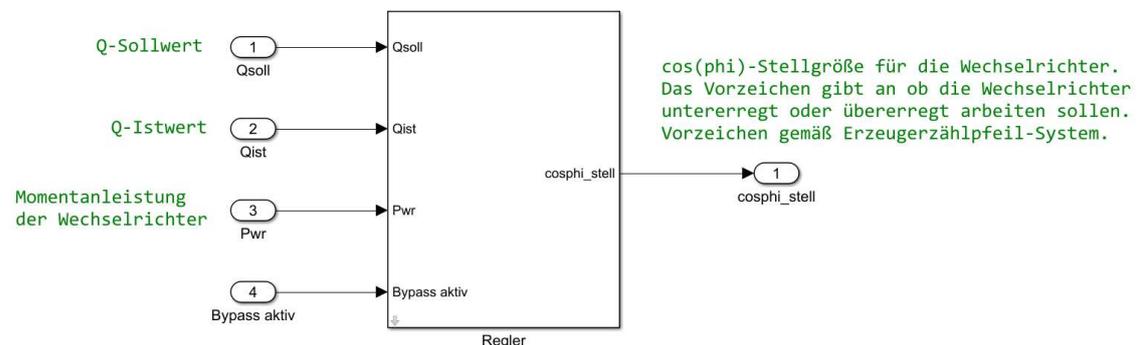


Abbildung 16: Blindleistungsregler

Intern besteht er aus einem PID-Regler mit nachgeschalteter Umrechnungsstufe. Über einen Bypass kann der PID-Regler überbrückt werden und der Sollwert auf die Umrechnungsstufe aufgeschaltet werden. Um auch bei aktivem Bypass bei Sollwertsprüngen ein  $PT_1$ -Verhalten zu gewährleisten, kommt ein Einschwingfilter zum Einsatz.



Block Parameters: Regler

**Blind-Regler**  
 Regler für Blindleistung  
 Der Regler arbeitet mit auf Pbinst bezogenen Input-Signalen  
 Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpeil-System.

Parameter

Steuerung

Zeitkonstante des Bypass-Einschwingfilter: 10

PID-Regler

Proportional (P): 0.21

Integral (I): 0.1

Derivative (D): 0.1

Tracking coefficient (Kt): 0.2

Filter coefficient (N): 0.5

Stellgröße

Obergrenze: 1.0

Untergrenze: 0.8

Einstellgenauigkeit der Wechselrichter: 3

Transformator

Kompensation aktivieren?

Messreihe Leistung der Wechselrichter: [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0]

Messreihe cos(phi)-Stell: [0.95, 0.95, 0.95, 0.95, 0.95, 0.95, 0.95, 0.95, 0.95]

Messreihe cos(phi)-Netz: [0.951, 0.952, 0.952, 0.953, 0.954, 0.955, 0.955, 0.956, 0.957, 0.958]

Null hinzufügen?

OK Cancel Help Apply

Abbildung 18: Parameter des Blindleistungsreglers

Parameter	Beschreibung
Zeitkonstante des Bypass-Einschwingfilters	Die vom Netzbetreiber vorgegebene Einschwingzeit $T_e$ entspricht $3 \cdot T_w \Rightarrow T_w = \frac{1}{3} \cdot T_e$
Proportional (P)	Der P-Regler besteht ausschließlich aus einem proportionalen Anteil der Verstärkung $K_p$ .
Integral (I)	Ein I-Regler (integrierender Regler, I-Glied) wirkt durch zeitliche Integration der Regelabweichung $e(t)$ auf die Stellgröße mit der Gewichtung durch die Nachstellzeit $T_n$ : $K_i = \frac{K_p}{T_v}$
Derivative (D)	Das D-Glied ist ein Differenzierer, der nur in Verbindung zu Reglern mit P- und/oder I-Verhalten als Regler eingesetzt wird. Er reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung $e(t)$ , sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit. (Vorhaltzeit $T_v$ : $K_d = K_p \cdot T_v$ )



Tracking coefficient ( $K_t$ )	<p>Verstärkungsfaktor der Tracking Feedback-Schleife. Der Wirk-Regler verwendet die Tracking Feedback-Schleife, um einen sanften Übergang zwischen Bypass und Regelung zu gewährleisten und als Anti-Windup-Methode für die Einflüsse des Leistungsgradient.</p> <p><math>K_t = 2 \cdot K_i</math> ist ein guter Wert.</p>
Filter coefficient (N)	<p>Filterkonstante des D-Glieds. Es muss gelten: <math>N \cdot T_s &lt; 1</math>. Bei einer Abtastzeit von <math>T_s = 1s</math> ist <math>N = 0,5</math> ein guter Wert.</p>
Obergrenze	Maximaler $\cos(\varphi)$ -Wert für die Stellgröße.
Untergrenze	Minimaler $\cos(\varphi)$ -Wert für die Stellgröße.
Einstellgenauigkeit der Wechselrichter	Begrenzt die Stellgröße auf 'n' Nachkommastellen. Die Stellgröße ist dementsprechend sowohl zeit- als auch wertdiskret.
Kompensation aktivieren	Aktiviert die Transformatorkompensation bei aktivem Bypass.
Messreihe Leistung der Wechselrichter	Gemessene Leistung der Wechselrichter der Erzeugungsanlage.
Messreihe $\cos(\varphi)$ -Stell	An den Wechselrichtern der Erzeugungsanlage eingestellter $\cos(\varphi)$ . Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System
Messreihe $\cos(\varphi)$ -Netz	Am Netzanschlusspunkt gemessener $\cos(\varphi)$ Vorzeichen gemäß Erzeugerzählpfeil-System
Null hinzufügen?	Füge intern den Messwert (0.0, 1.0, 1.0) zu den Messreihen hinzu. Dadurch kann bei ungünstig gewählten Messpunkten die Stabilität des Kompensationsalgorithmus verbessert werden.



## Faustformeln für PID-Regelparameter

Nachfolgend sind einige Faustformeln für einen PID-Regler zum Regeln einer  $PT_1T_t$ -Strecke aufgelistet. Für alle Formeln gilt:

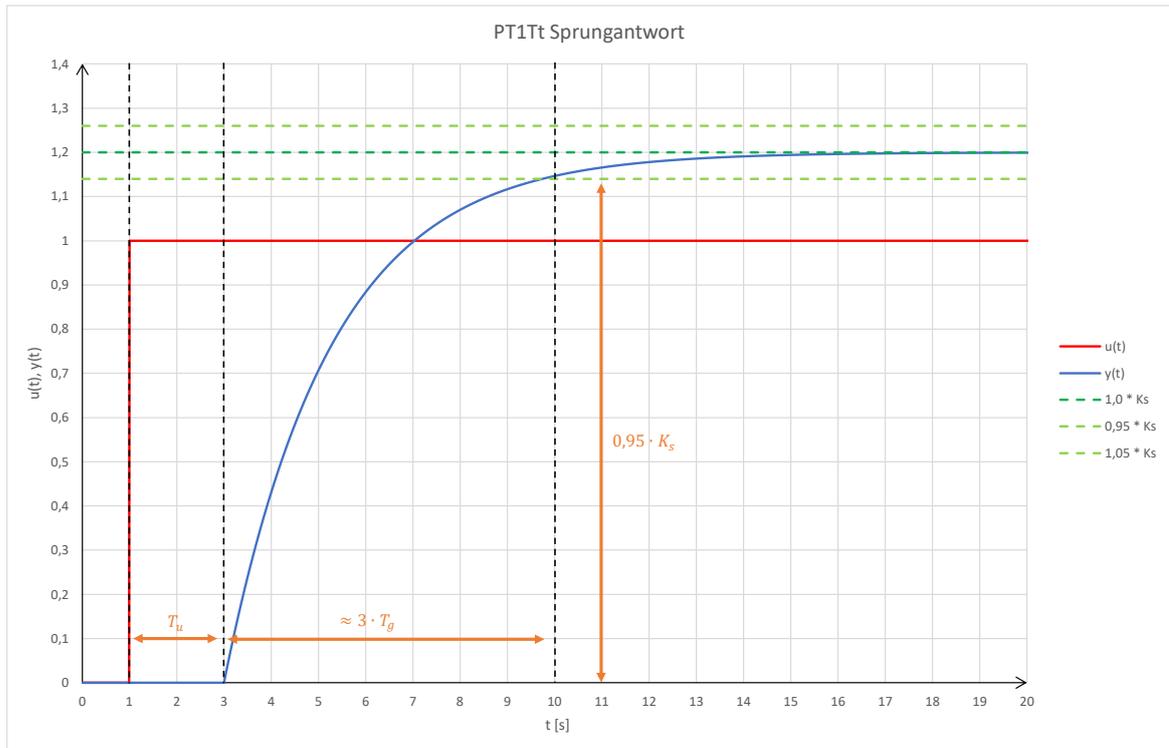


Abbildung 19:  $PT_1T_t$  - Sprungantwort

$K_s$  = Stationäre Streckenverstärkung

$T_u$  = Totzeit der Strecke

$T_g$  = Zeitkonstante der Strecke

In der Literatur werden statt der vom PID-Regler verwendeten Regelparameter  $K_p$ ,  $K_i$  und  $K_d$  teilweise die Parameter  $K_r$ ,  $T_n$  und  $T_v$  verwendet. Beide Parametersätze können ineinander umgerechnet werden:

$$K_p = K_r$$

$$K_i = \frac{K_r}{T_n}$$

$$K_d = K_r \cdot T_v$$



### Methode von Ziegler und Nichols

Die Regler-Einstellungen nach Ziegler-Nichols sind für stark verzögernde Prozesse ( $T_g \gg T_u$ ), wie sie z. B. in verfahrenstechnischen Prozessen auftreten, vorgesehen. Charakteristisch für solche Prozesse ist der Wendepunkt in der Sprungantwort. Bei Einstellung des Reglers nach diesem Verfahren wird ein leicht schwingendes Führungsverhalten (schlechter als beim Regler-Entwurf nach dem Betragsoptimum) aber ein gutes Störverhalten erreicht. Es eignet sich deshalb vor allem für Prozesse, bei denen überwiegend Störungen ausgeglichen werden sollen:

$$K_r = \frac{1,2 \cdot T_g}{K_s \cdot T_u}$$

$$T_n = 2,0 \cdot T_u$$

$$T_v = 0,5 \cdot T_u$$

### Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick

Die Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick sind eine 1952 entwickelte Vorgehensweise zur günstigen Einstellung von Reglern. Sie gelten als eine Weiterentwicklung der zweiten Methode von Ziegler und Nichols. Vorteilhaft ist, dass die Regelparameter getrennt sind für ein günstiges Stör- und Führungsverhalten. Sie sind ebenso unterteilt für aperiodische oder periodische Regelungen. Die Regeln gelten für Strecken höherer Ordnung, von denen die Parameter stationäre Verstärkung  $K_s$ , Verzugszeit  $T_u$  und Ausgleichzeit  $T_g$  bekannt sein müssen:

Aperiodischer Regelverlauf:	
Führung:	Störung:
$K_r = \frac{0,6 \cdot T_g}{K_s \cdot T_u}$ $T_n = T_u$ $T_v = 0,5 \cdot T_u$	$K_r = \frac{0,95 \cdot T_g}{K_s \cdot T_u}$ $T_n = 2,4 \cdot T_u$ $T_v = 0,42 \cdot T_u$
Regelverlauf mit 20 % Überschwingen:	
Führung:	Störung
$K_r = \frac{0,95 \cdot T_g}{K_s \cdot T_u}$ $T_n = 1,35 \cdot T_u$ $T_v = 0,47 \cdot T_u$	$K_r = \frac{1,2 \cdot T_g}{K_s \cdot T_u}$ $T_n = 2,0 \cdot T_u$ $T_v = 0,42 \cdot T_u$



### T-Summen-Regel

Diese Regel gilt für Strecken mit Tiefpassverhalten, die eine S-förmige Sprungantwort aufweisen. Die Summenzeitkonstante  $T_{\Sigma}$  wird als Summe aller verzögernden Zeitkonstanten abzüglich aller differenzierenden Zeitkonstanten gebildet:

$$T_{\Sigma} = T_u + T_g$$

Regulär:	Schneller Regelverlauf:
$K_r = \frac{1}{K_s}$	$K_r = \frac{2,0}{K_s}$
$T_n = 0,66 \cdot T_{\Sigma}$	$T_n = 0,8 \cdot T_{\Sigma}$
$T_v = 0,167 \cdot T_{\Sigma}$	$T_v = 0,194 \cdot T_{\Sigma}$

### Betragsoptimum

Beim Betragsoptimum handelt es sich um einen Begriff aus der Regelungstheorie, genauer um ein regelungstechnisches Optimierungskriterium im Frequenzraum. Eine Regelung wird allgemein dann als optimal bezeichnet, wenn die Regelgröße dem Wert der Führungsgröße mit möglichst geringer zeitlicher Verzögerung folgen kann. Bei der Optimierung mittels des Betragsoptimums wird die Einschwingzeit eines Regelsystems optimiert. Für eine  $PT_1T_t$ -Strecke gilt, wenn  $T_g \gg T_u$ :

$$K_r = \frac{T_g}{2 \cdot K_s \cdot T_u}$$

$$T_n = T_g$$

$$T_v = 0$$



### Betragsoptimum mit vorgegebener Einschwingzeit

Das Regelverhalten der Blindleistung muss (gemäß VDE-4110 10.2.2.4) bei allen Sollwertsprüngen qualitativ nach einem PT1-Verhalten erfolgen. Das geforderte Einschwingverhalten kann durch eine geeignete Wahl der PID-Regelparameter erreicht werden. Vom Netzbetreiber wird eine Einschwingzeit  $T_e$  vorgegeben. Daraus ergibt sich die gewünschte Zeitkonstante  $T_w$  des geschlossenen Regelkreises gemäß:

$$T_w = \frac{1}{3} \cdot T_e$$

$$K_p = \frac{T_g + T_u}{K_s \cdot T_w}$$

$$K_i = \frac{1}{K_s \cdot T_w}$$

$$K_d = \frac{T_g \cdot T_u}{K_s \cdot T_w}$$

$T_e$  = Einschwingzeit des geschlossenen Regelkreises

### EZA-Regler Parametrierung

Das Matlab-Skript „EZA\_Regler\_model\_ini.m“ dient als Sammelstelle für alle Parameter des EZA-Regler Modells. Das Skript legt Variablen für die Parameter des EZA-Reglers an. Die Regelparameter für Wirk- und Blindleistungsregler werden dabei gemäß der Methode „Betragsoptimum mit vorgegebener Einschwingzeit“ berechnet.

Für eine vereinfachte Parametrierung müssen vom Nutzer nur geeignete Werte für folgende Variablen vorgegeben werden:

Variable	Beschreibung
<b>Wirkleistungsregler:</b>	
Tsp	Zeitkonstante der zu regelnden Strecke.
Ttp	Totzeit der zu regelnden Strecke.
Teinschwing_wirk	Gewünschte Einschwingzeit des geschlossenen Regelkreises.
slew_rate_wirk	Leistungsgradient für die Wirkleistung.
<b>Blindleistungsregler:</b>	
Tsq	Zeitkonstante der zu regelnden Strecke.
Ttq	Totzeit der zu regelnden Strecke.
Teinschwing_blind	Vom Netzbetreiber vorgegebene Einschwingzeit des geschlossenen Regelkreises.

## Zählpfeil-Systeme

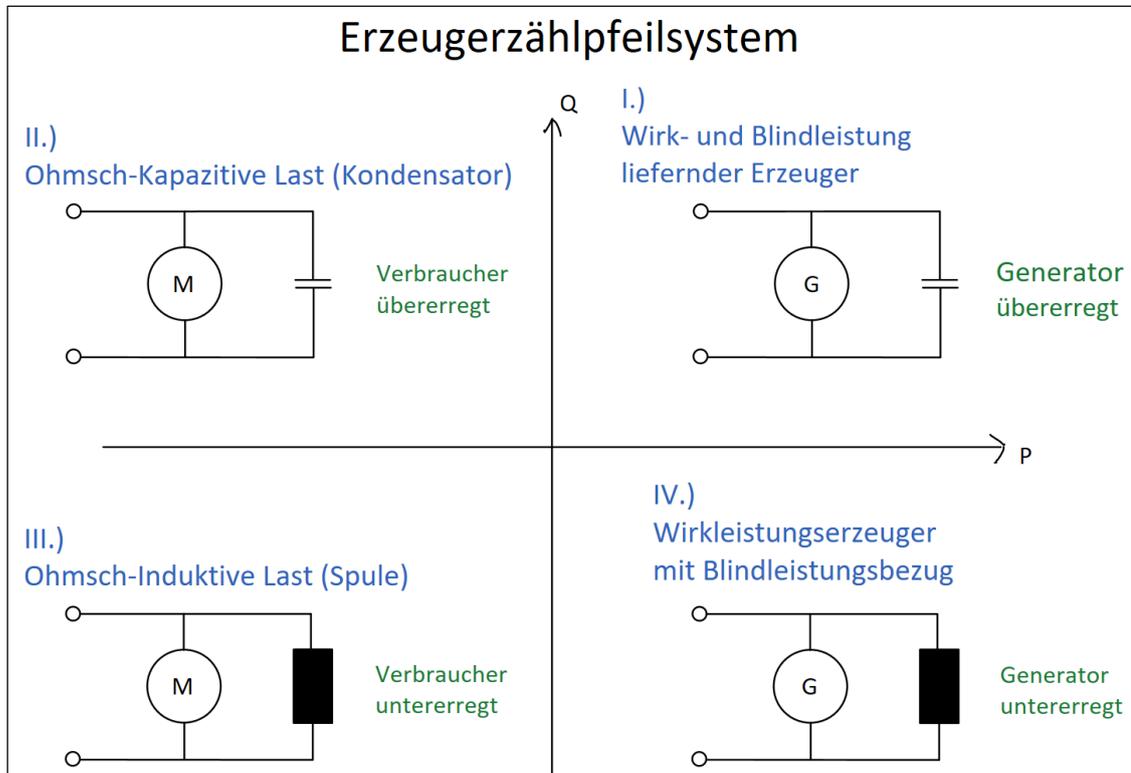


Abbildung 20: Erzeugerzählpfeilsystem

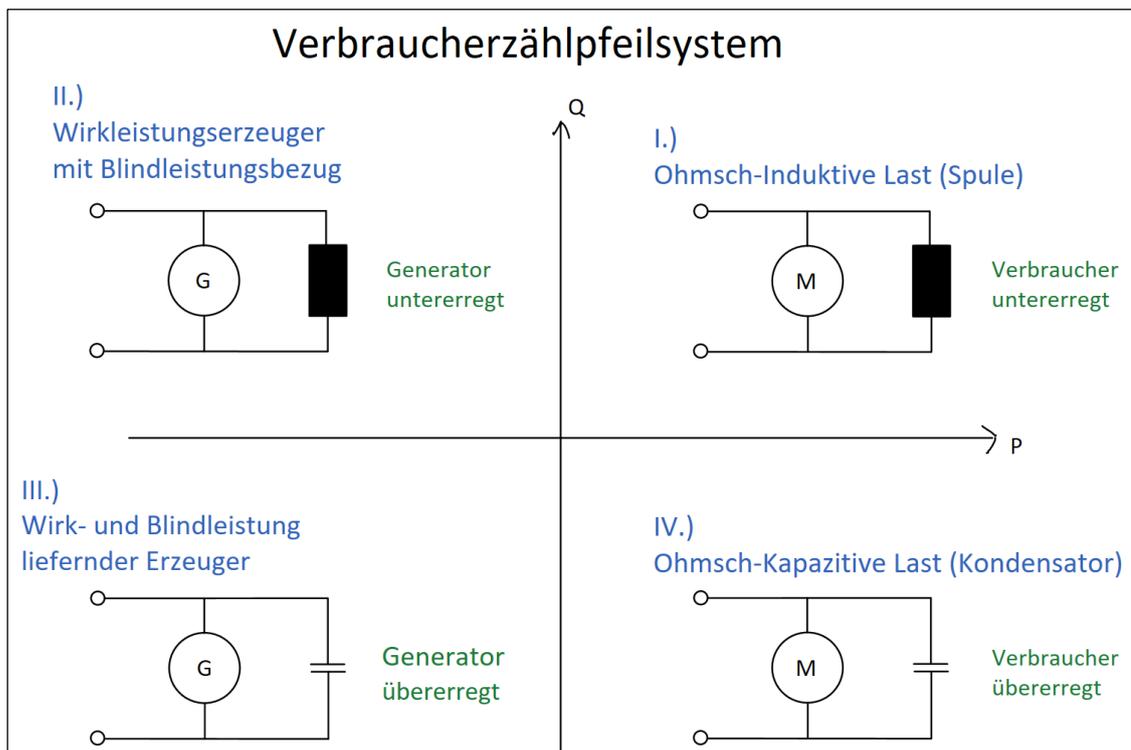


Abbildung 21: Verbraucherzählpfeilsystem



## Simulation

### Softwareversion

MATLAB Version: R2021b

---

MATLAB	Version 9.11	(R2021b)
Simulink	Version 10.4	(R2021b)
Simscape	Version 5.2	(R2021b)
Simscape Electrical	Version 7.6	(R2021b)

### Modelleinstellungen

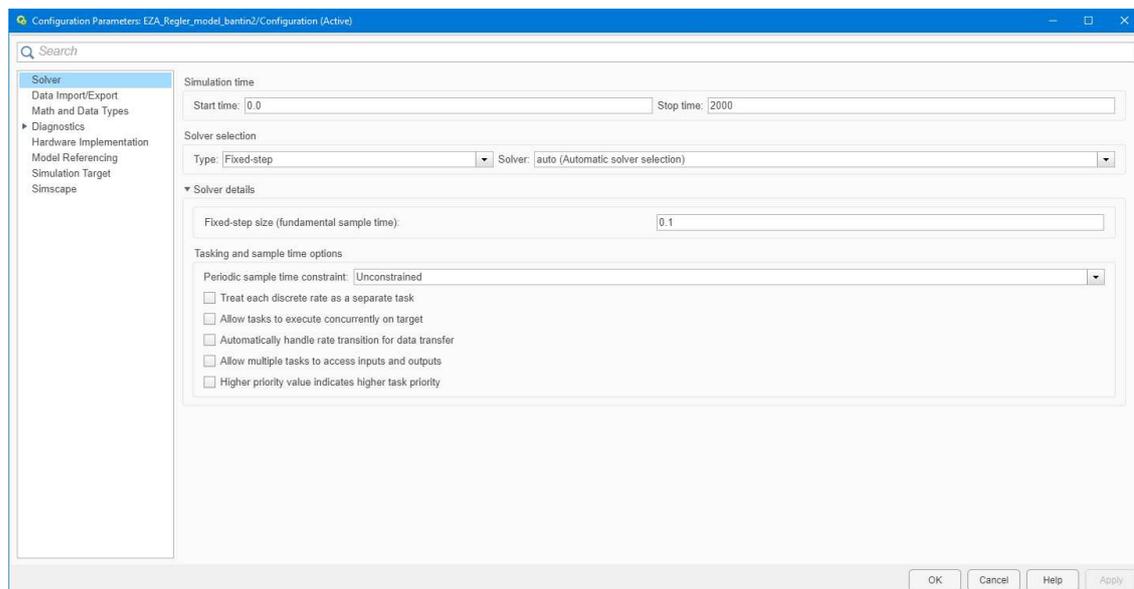


Abbildung 22: Simulink Einstellungen



Q Search

- Solver
- Data Import/Export
- Math and Data Types
- Diagnostics
- Hardware Implementation
- Model Referencing
- Simulation Target
- Simscape**

Editing

Editing Mode: Full

Physical Networks Model-Wide Simulation Diagnostics

Explicit solver used in model containing Physical Networks blocks: warning

Zero-crossing control is globally disabled in Simulink: warning

System Scaling

Normalize using nominal values Specify nominal values...

Data Logging

Log simulation data: None

Log simulation statistics

Record data in Simulation Data Inspector

Open viewer after simulation

Workspace variable name: simlog

Decimation: 1

Limit data points

Data history (last N steps): 5000 Specify the number of simulation

Operating Point

Enable operating point initialization

Model operating point: <empty>

Compilation

Reuse components during compilation

Abbildung 23: Simscape Einstellungen

## Modellbestandteile

Alle Dateien müssen im Projektordner liegen.

Datei	Beschreibung
libEZA.dll	Dynamische Bibliothek für Wirk- und Blindleistungsregler sowie Q-Sollwertberechnung nach VDE-AR-N 4110.
WirkRegler.mexw64 BlindRegler.mexw64 qSollwertbildung.mexw64	Schnittstelle zwischen Matlab und libEZA.dll.
EZA_Regler_model.slx	Simulink-Modell des EZA-Reglers.
EZA_Regler_model_ini.m	Matlab-Skript zur Initialisierung der im Simulink-Modell eingetragenen Variablen.
Modellbeschreibung.pdf	Beschreibung des Simulink-Modells.



### Beispiel-Projekt (RMS, Phasor-Simulation)

Zur Integration in ein vorhandenes Projekt kann das Modell des Reglers direkt in das vorhandene Projekt kopiert werden.

Nachfolgend ist der Aufbau eines Beispielparks gezeigt.

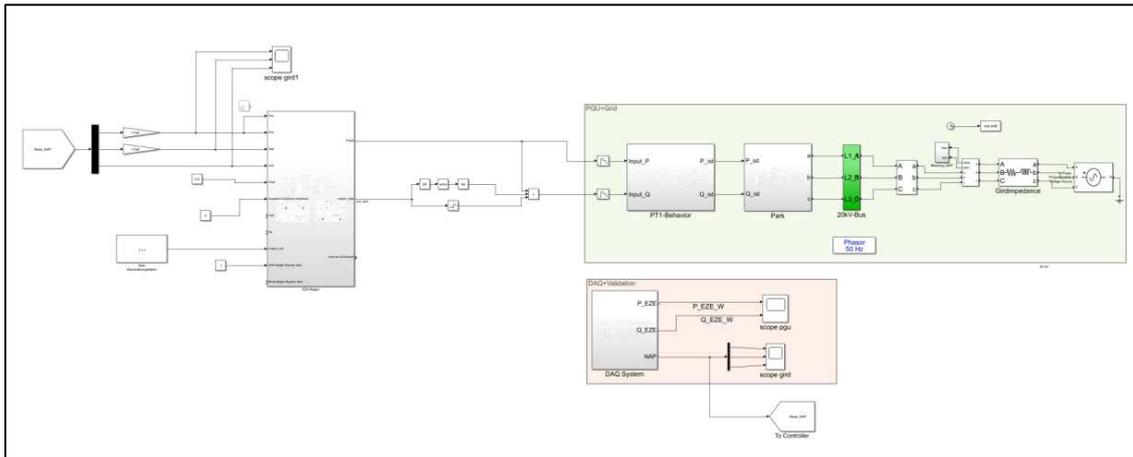


Abbildung 24: Beispielaufbau

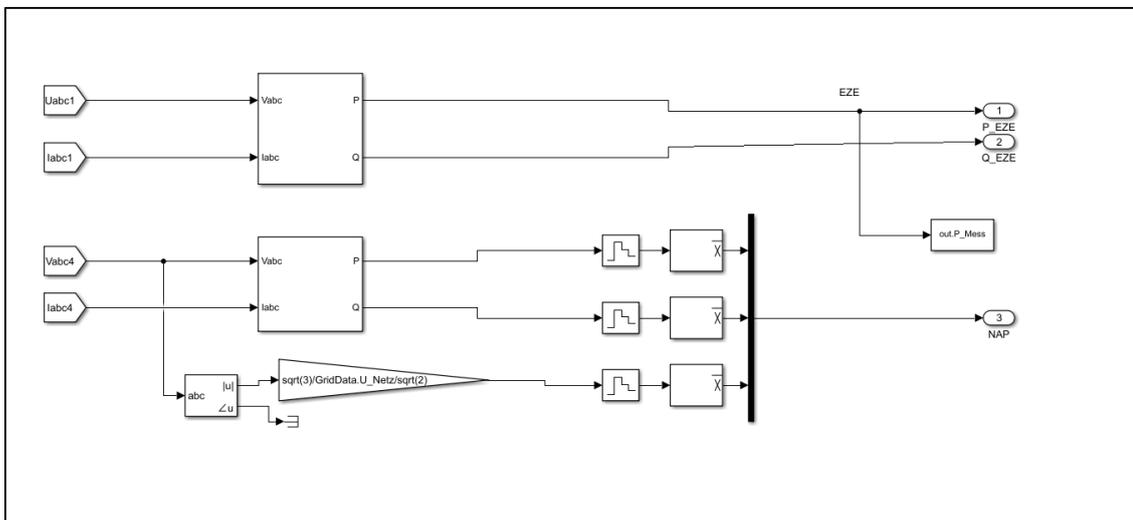


Abbildung 25: Netzanalysegerät

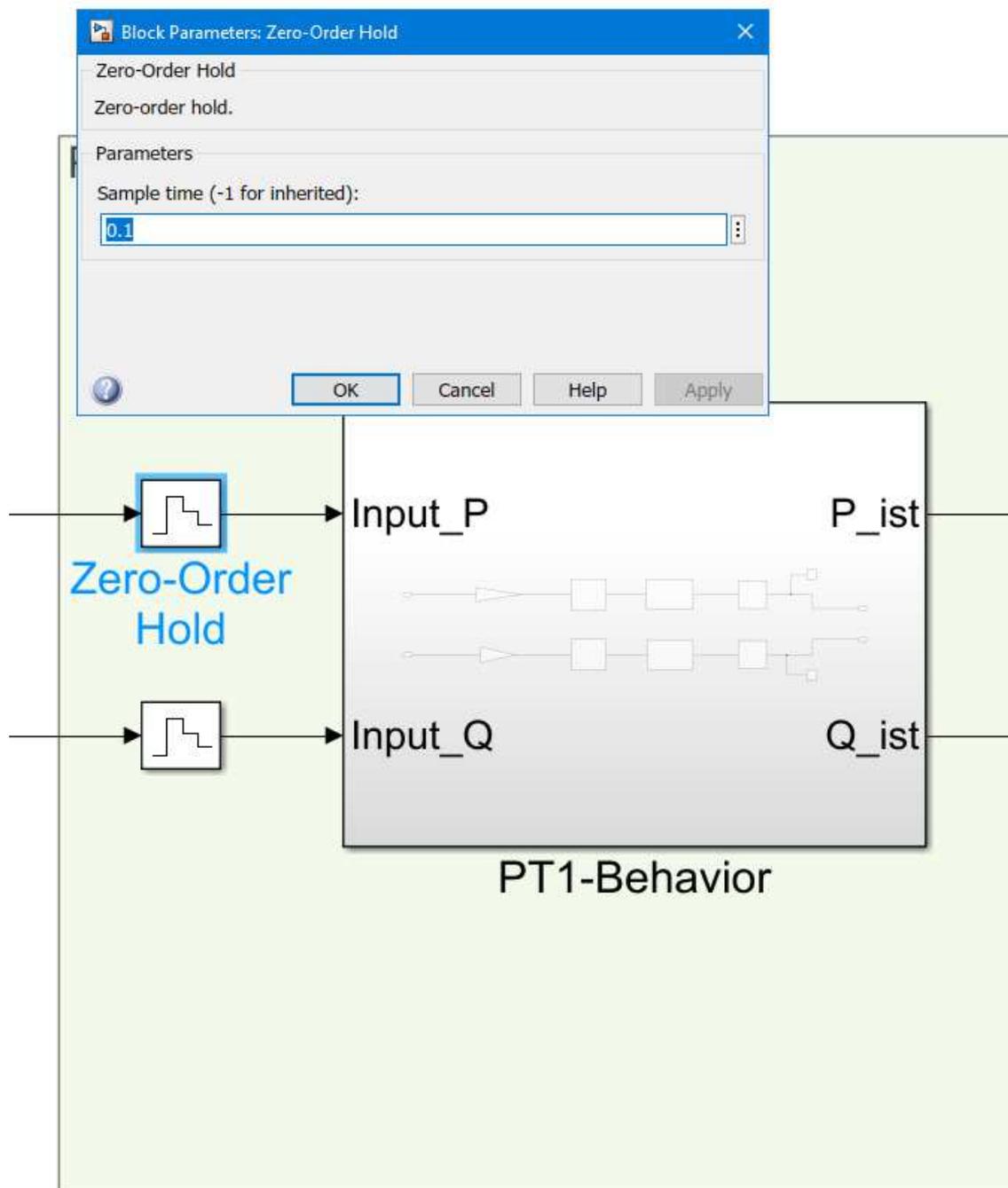


Abbildung 26: Sende-Intervall Regler

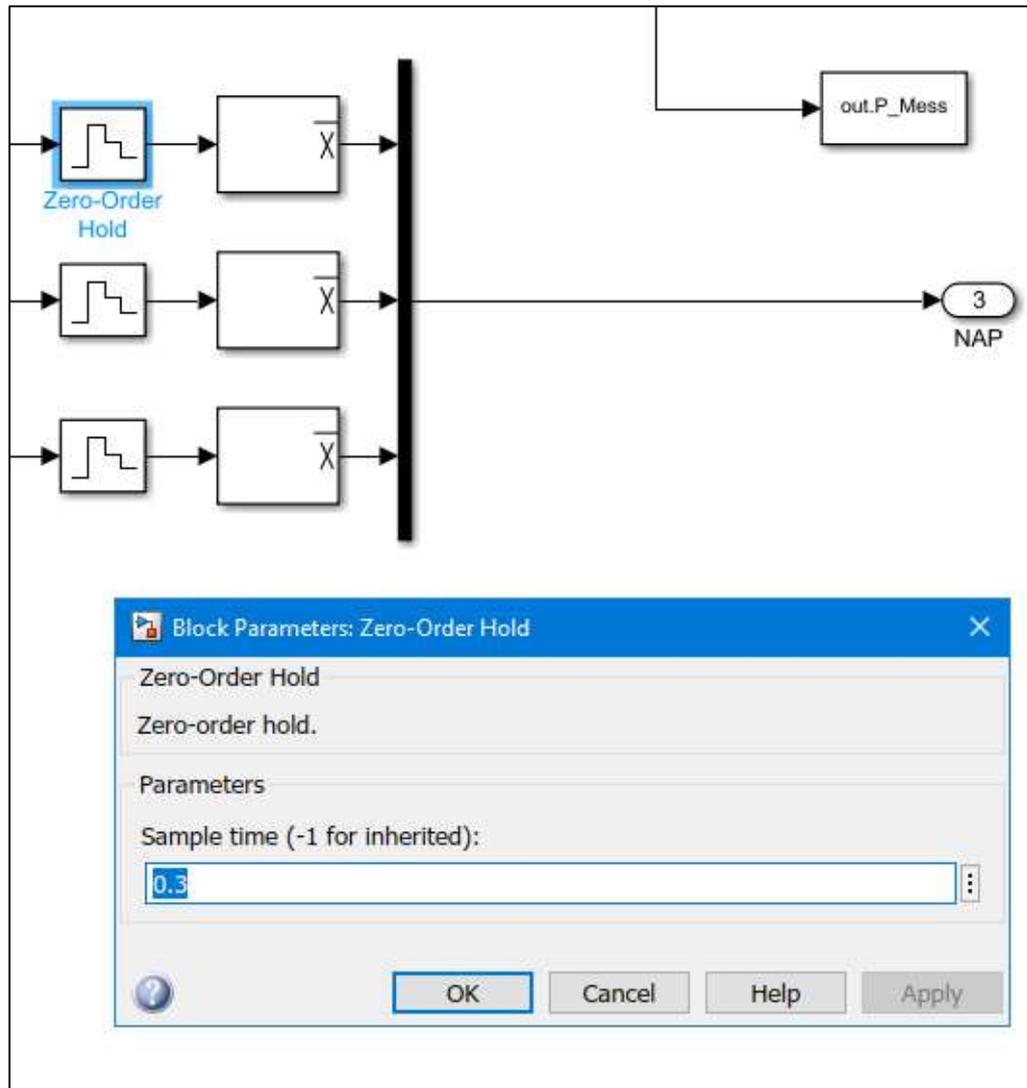


Abbildung 27: Abtastzeit des Netzanalysegeräts

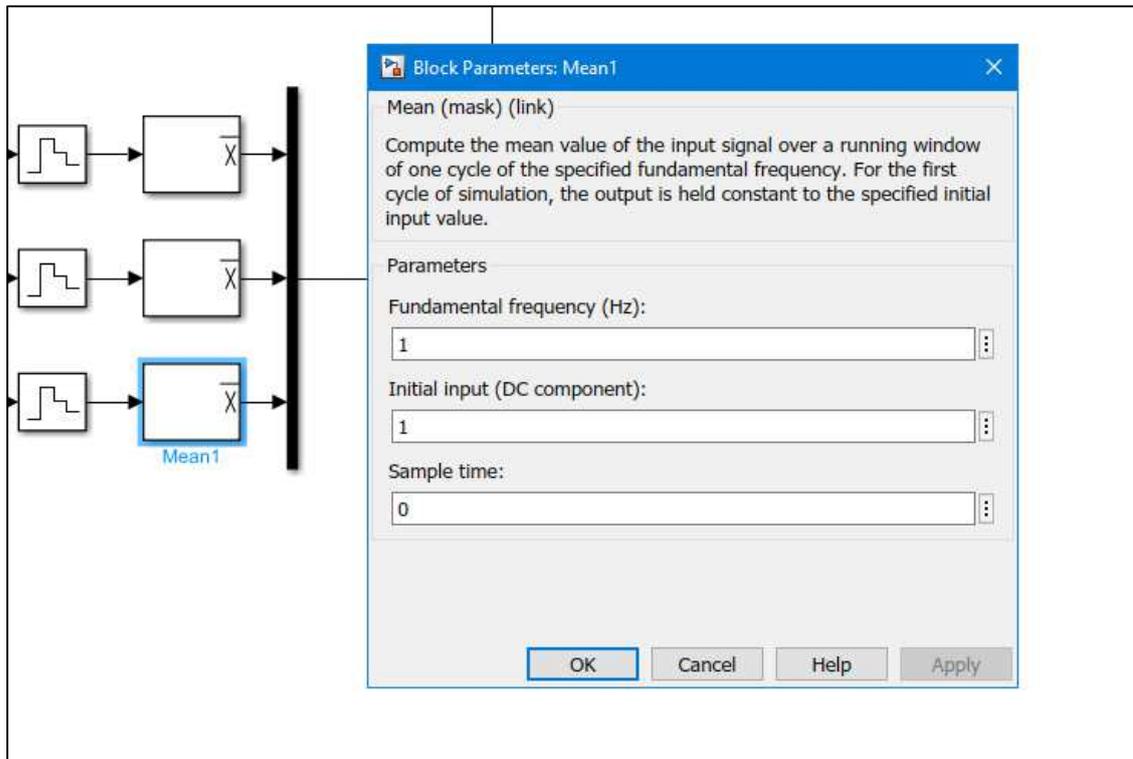


Abbildung 28: Abfrageintervall Janitza

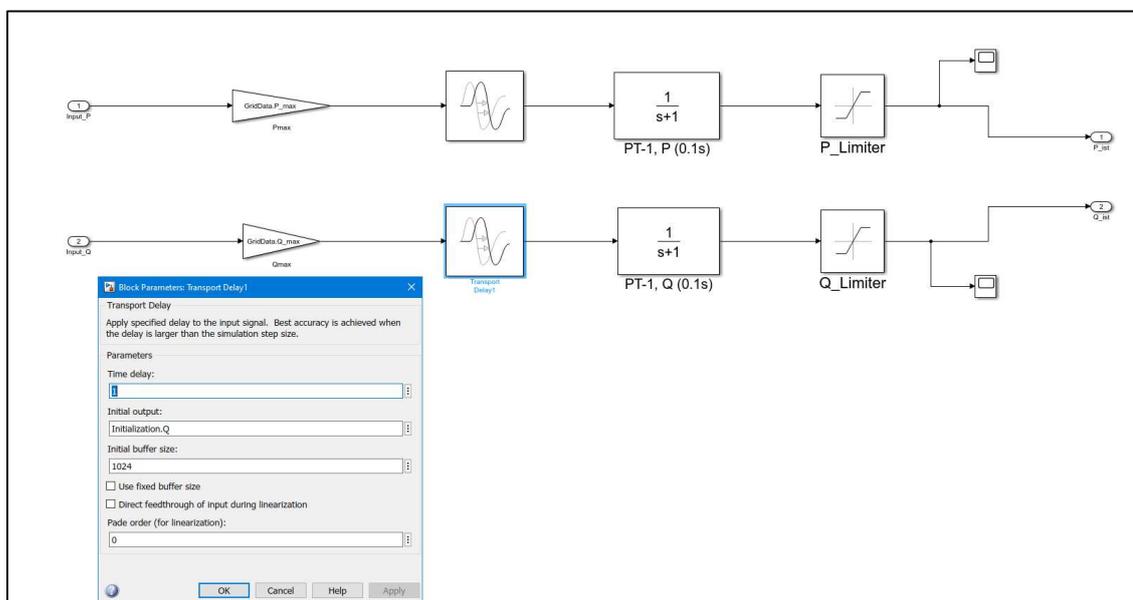


Abbildung 29: Nachbildung Zeitverhalten EZE und Umrechnung in Absolutgrößen

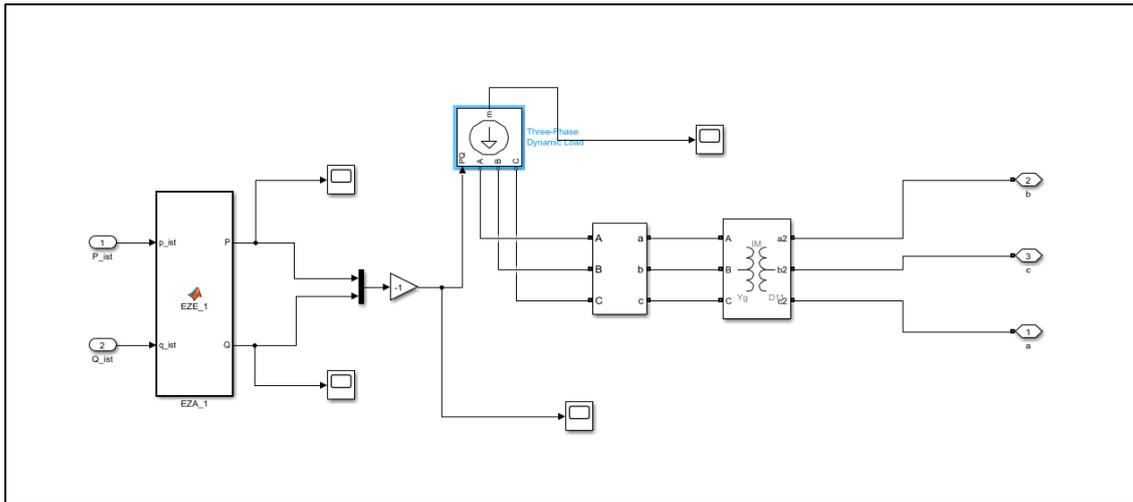


Abbildung 30: Park

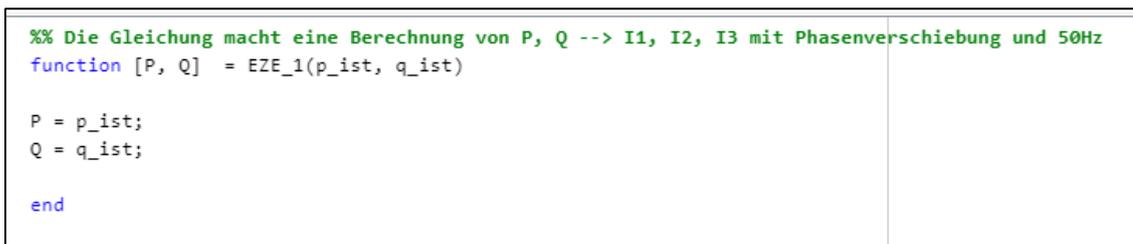


Abbildung 31: EZA\_1



The screenshot shows a software dialog box titled "Block Parameters: Three-Phase Dynamic Load". The dialog contains the following text and input fields:

Three-Phase Dynamic Load (mask) (parameterized link)  
Implements a three-phase, three-wire dynamic load. Active power  $P$  and reactive power  $Q$  absorbed by the load vary as function of positive-sequence voltage  $V$ .

Parameters

Nominal L-L voltage and frequency [Vn(Vrms) fn(Hz)]:  
[ 20e3 50 ]

Active and reactive power at initial voltage [Po(W) Qo(var)]:  
[-0.9e6 0e6]

Initial positive-sequence voltage Vo [Mag(pu) Phase (deg.)]:  
[ 1 0 ]

External control of PQ

Filtering time constant (s):  
0.1

At the bottom of the dialog are four buttons: "OK", "Cancel", "Help", and "Apply".

Abbildung 32: Beschreibung Dynamic Load



**WIND-consult**

Ingenieurgesellschaft für umwelt-  
schonende Energiewandlung mbH

Prüfbericht

WICO 219NV920-02

29.11.2023

Dieser Bericht ersetzt den Prüfbericht mit der Nummer 219NV920-01 vom 25.10.2023.

# Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz

nach FGW TR3 Rev. 26 /1/

Standort: Bantin, Deutschland  
Typ: EZA-Regler Plexlog PL500+  
Seriennummer: 99353282





# **Bericht zur Validierung und Prüfung der Simulations- und Messergebnisse**

**WIND-cert 104CC420/06**

Hersteller: PLEXLOG GmbH

Produktbezeichnung: Plexlog PL500+

Prüfverfahren: FGW-Richtlinie, Teil 4 Rev. 9  
FGW-Richtlinie, Teil 8 Rev. 9

**Bargeshagen, 04.12.2023**

		Bezugsgröße				1,000	1,000 MW	Einschwingdauer			Stationäre
Kapitel-Nr. Messbericht/ TR3 Rev. 26	Messung	Simulation		Messung	Simulation	Messung	Simulation	Differenz	Abweichung		
4.1.1/ 6.1.3.2 Einstell- genauigkeit	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %	
	Stufe 1	120,4	135,8	120,4	129,4	0,195	0,181			1,39	
	Stufe 2	240,6	242,8	240,6	243,2	0,276	0,261			1,59	
	Stufe 3	360,6	383,4	360,6	370,6	0,014	0,001			1,30	
	Stufe 4	480,6	500,0	480,6	488,6	-0,167	-0,181			1,37	
	Stufe 5	600,6	605,0	600,6	603,2	-0,248	-0,260			1,29	
	Stufe 6	721,6	741,8	721,6	731,6	0,010	0,000			1,00	
4.1.2.1/ 6.1.3.3 Einstell- genauigkeit (Qref = 0)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %	
	Stufe 1	120,4	136,8	120,4	128,8	0,169	0,165			0,38	
	Stufe 2	238,6	256,6	238,6	246,4	0,341	0,330			1,13	
	Stufe 3	361,4	389,6	361,4	375,8	-0,157	-0,165			0,77	
	Stufe 4	481,8	496,6	481,8	489,4	-0,325	-0,330			0,46	
	Stufe 5	600,6	626,2	600,6	612,0	0,014	0,000			1,42	
	4.1.2.2/ 6.1.3.3 Einstell- genauigkeit (Qref-> übererregt)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %
	Stufe 1	120,0	120,0	120,0	120,0	0,238	0,247			-0,99	
	Stufe 2	240,6	249,2	240,6	243,2	0,323	0,330			-0,70	
	Stufe 3	360,8	389,6	360,8	374,8	-0,182	-0,165			-1,70	
Stufe 4	480,6	497,0	480,6	488,4	-0,347	-0,330			-1,66		
Stufe 5	601,8	631,2	601,8	616,2	0,189	0,200			-1,14		
4.1.2.3/ 6.1.3.3 Einstell- genauigkeit (Qref-> untererregt)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %	
	Stufe 1	120,4	143,2	120,4	132,4	0,153	0,165			-1,25	
	Stufe 2	240,8	256,4	240,8	248,2	0,323	0,330			-0,75	
	Stufe 3	360,4	388,2	360,4	374,8	-0,183	-0,200			1,73	
	Stufe 4	541,0	557,0	541,0	545,4	-0,348	-0,330			-1,75	
	Stufe 5	671,4	681,6	671,4	674,2	-0,263	-0,247			-1,59	
4.1.3.1/ 6.1.3.4 Einstell- genauigkeit (Standard)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %	
	Stufe 1	120,8	137,8	120,8	128,6	0,153	0,165			-1,18	
	Stufe 2	240,4	257,8	240,4	248,4	0,323	0,330			-0,70	
	Stufe 3	360,6	390,8	360,6	375,4	-0,263	-0,247			-1,56	
	Stufe 4	480,6	490,4	480,6	483,2	-0,181	-0,165			-1,64	
	Stufe 5	600,4	600,4	600,4	600,4	-0,183	-0,165			-1,76	
	Stufe 6	720,4	720,4	720,4	720,4	-0,182	-0,165			-1,73	
	Stufe 7	840,8	856,8	840,8	848,2	-0,346	-0,330			-1,59	
	4.1.3.2/ 6.1.3.4 Einstell- genauigkeit (Uq0,ref)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %
	Stufe 1	120,4	136,6	120,4	128,6	0,149	0,165			-1,61	
	Stufe 2	240,2	265,0	240,2	251,6	-0,186	-0,165			-2,11	
	Stufe 3	360,6	378,2	360,6	368,4	-0,006	0,000			-0,58	
	4.1.4/ 6.1.3.5 Einstell- genauigkeit	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar				ΔQ_Mittel in %
		Stufe 1	121,4	121,4	121,4	121,4	-0,344	-0,322			-2,19
Stufe 2		241,6	281,0	241,6	269,4	-0,207	-0,184			-2,29	
Stufe 3		361,0	402,2	361,0	389,2	-0,061	-0,048			-1,30	
Stufe 4		481,6	481,6	481,6	481,6	-0,035	-0,023			-1,18	
Stufe 5		601,4	601,4	601,4	601,4	-0,009	0,000			-0,87	
Stufe 6		721,0	721,0	721,0	721,0	-0,005	0,000			-0,49	
Stufe 7	890,0	890,0	890,0	890,0	-0,005	0,000			-0,52		
4.1.5/ 6.1.3.6 Einstell- genauigkeit	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	P_Mittel in MW	P_Mittel in MW				ΔP_Mittel in %	
	Stufe 1	120,8	192,6	120,8	193,2	0,601	0,595			0,63	
	Stufe 2	301,0	351,2	301,0	354,2	0,302	0,297			0,49	
	Stufe 3	480,8	532,2	480,8	533,4	0,001	-0,002			0,28	
Stufe 4	660,4	854,4	660,4	853,2	1,002	0,990			1,14		
4.2.1.1/ 6.1.4.2 Einschwingzeit (60 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s		
	Stufe 1	40,6	74,6	40,6	84,6	-0,268	-0,220	34,00	44,00	10,00	
	Stufe 2	150,6	194,2	150,6	207,4	0,229	0,188	43,60	56,80	13,20	
	Stufe 3	253,2	292,4	253,2	292,6	-0,005	0,034	39,20	39,40	0,20	
	4.2.1.2/ 6.1.4.2 Einschwingzeit (30 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	88,8	111,2	88,8	119,8	-0,277	-0,254	22,40	31,00	8,60	
	Stufe 2	200,6	228,2	200,6	242,6	0,252	0,249	27,60	42,00	14,40	
	Stufe 3	312,6	334,4	312,6	341,8	-0,006	0,009	21,80	29,20	7,40	

		Bezugsgröße		1,000		1,000 MW		Einschwingdauer			Stationäre
Kapitel-Nr. Messbericht/ TR3 Rev. 26	Messung		Simulation		Messung	Simulation		Messung	Simulation	Differenz	Abweichung
Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion	4.2.2.1/ 6.1.4.3 Einschwingzeit (6 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	61,8	70,6	61,8	70,2	-0,347	-0,330	8,80	8,40	-0,40	
	Stufe 2	182,2	194,4	182,2	191,8	0,323	0,330	12,20	9,60	-2,60	
	Stufe 3	308,6	317,0	308,6	317,2	-0,006	0,000	8,40	8,60	0,20	
	4.2.2.2/ 6.1.4.3 Einschwingzeit (10 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	60,2	71,6	60,2	71,6	-0,348	-0,330	11,40	11,40	0,00	
	Stufe 2	180,0	193,8	180,0	196,6	0,323	0,330	13,80	16,60	2,80	
	Stufe 3	303,8	313,6	303,8	315,0	-0,007	0,001	9,80	11,20	1,40	
	4.2.2.3/ 6.1.4.3 Einschwingzeit (60 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
Stufe 1	30,8	69,0	30,8	85,2	-0,343	-0,299	38,20	54,40	16,20		
Stufe 2	156,6	206,4	156,6	223,8	0,306	0,259	49,80	67,20	17,40		
Stufe 3	270,8	313,2	270,8	321,8	-0,007	0,032	42,40	51,00	8,60		
Blindleistungsspannungskennlinie Q(U)	4.2.3.1/ 6.1.4.4 Einschwingzeit (6 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	62,4	71,0	62,4	71,2	-0,348	-0,330	8,60	8,80	0,20	
	Stufe 2	194,2	206,4	194,2	203,6	0,323	0,330	12,20	9,40	-2,80	
	Stufe 3	300,2	309,2	300,2	309,2	-0,005	0,000	9,00	9,00	0,00	
	4.2.3.2/ 6.1.4.4 Einschwingzeit (10 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	65,6	77,0	65,6	76,2	-0,348	-0,330	11,40	10,60	-0,80	
	Stufe 2	178,4	192,6	178,4	194,2	0,323	0,330	14,20	15,80	1,60	
	Stufe 3	300,2	311,0	300,2	311,6	-0,006	0,001	10,80	11,40	0,60	
	4.2.3.3/ 6.1.4.4 Einschwingzeit (60 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
Stufe 1	73,4	114,0	73,4	125,2	-0,342	-0,297	40,60	51,80	11,20		
Stufe 2	194,2	246,0	194,2	265,4	0,315	0,275	51,80	71,20	19,40		
Stufe 3	322,2	363,6	322,2	370,0	-0,004	0,041	41,40	47,80	6,40		
Kennlinie Q(P)	4.2.4.1/ 6.1.4.5 Einschwingzeit (6 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	62,4	74,6	62,4	73,6	0,012	0,000	12,20	11,20	-1,00	
	4.2.4.2/ 6.1.4.5 Einschwingzeit (10 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
Stufe 1	62,2	77,2	62,2	75,6	0,012	-0,002	15,00	13,40	-1,60		
4.2.4.3/ 6.1.4.5 Einschwingzeit (60 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s		
Stufe 1	60,8	107,0	60,8	101,4	0,009	-0,020	46,20	40,60	-5,60		
Wirkeistung	4.2.5.1/ 6.1.4.6 Einschwingzeit (max. Gradient, 0,66 %Pbinst./s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	P_Mittel in MW	P_Mittel in MW	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	40,8	155,2	40,8	155,2	0,105	0,103	114,40	114,40	0,00	
	Stufe 2	201,8	318,0	201,8	316,2	0,899	0,887	116,20	114,40	-1,80	
	4.2.5.2/ 6.1.4.6 Einschwingzeit (min. Gradient, 0,33 %Pbinst./s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	P_Mittel in MW	P_Mittel in MW	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
Stufe 1	31,4	74,6	31,4	76,2	0,512	0,506	43,20	44,80	1,60		
Stufe 2	131,4	174,0	131,4	174,4	0,688	0,681	42,60	43,00	0,40		
Umschaltverhalten	4.3/ 6.1.5 Einschwingzeit (30 s)	t_anfang in s	t_ende in s	t_anfang in s	t_ende in s	Q_Mittel in Mvar	Q_Mittel in Mvar	Δt in s	Δt in s	Δt in s	
	Stufe 1	60,2	83,4	60,2	95,8	-0,305	-0,328	23,20	35,60	12,40	
Stufe 2	194,0	217,0	194,0	224,0	-0,011	-0,024	23,00	30,00	7,00		

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.1-TR3-6-1-3-2

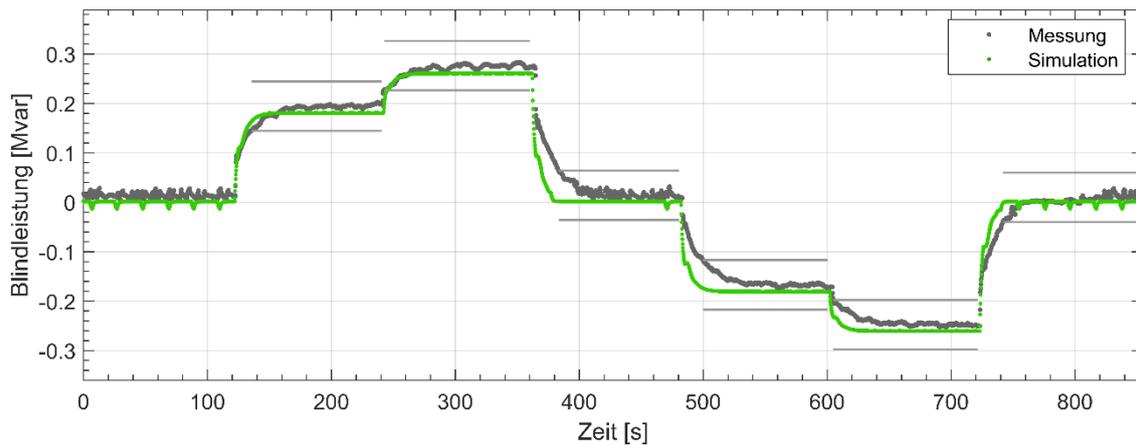
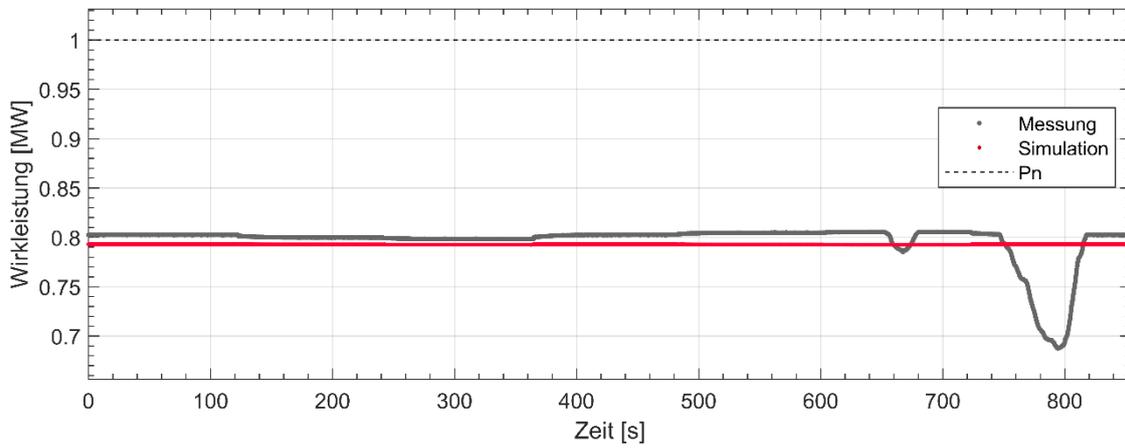
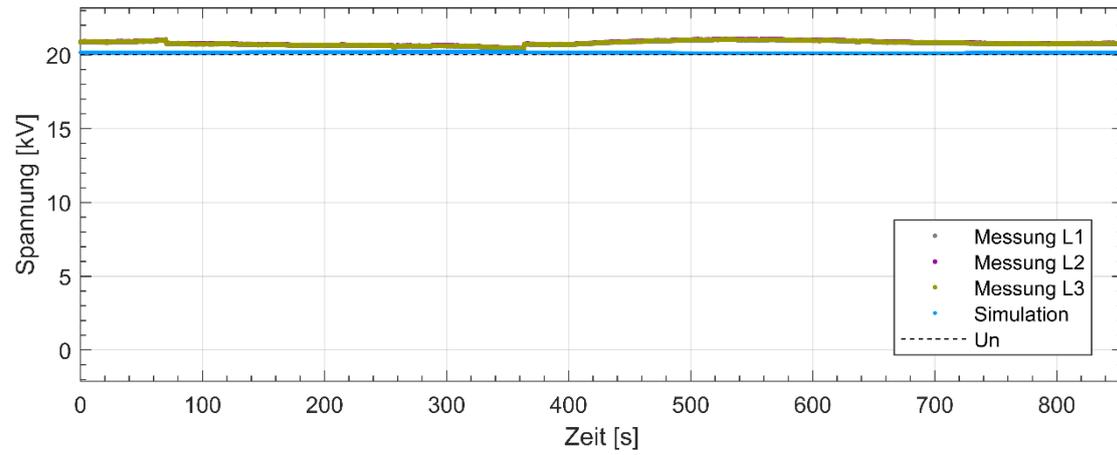


Abbildung 1 Einstellgenauigkeit, Verschiebungsfaktor

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.2.1-TR3-6-1-3-3

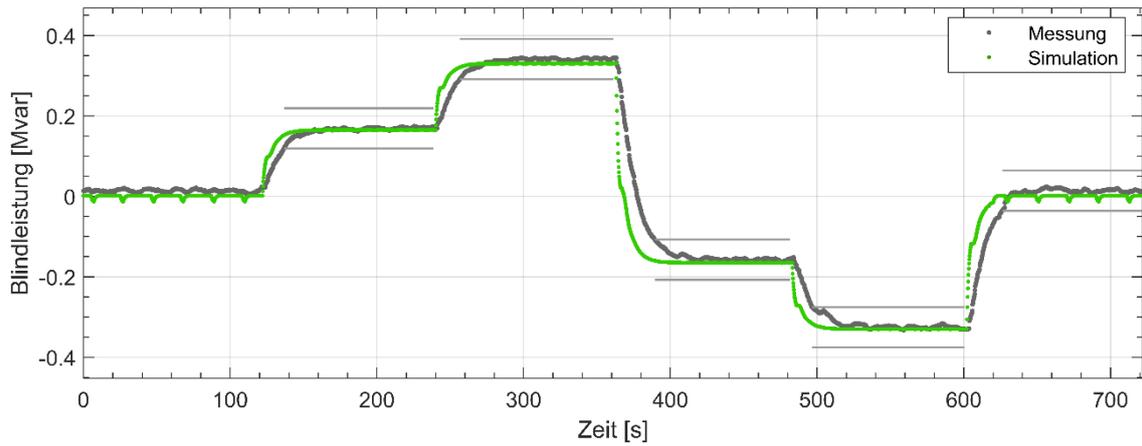
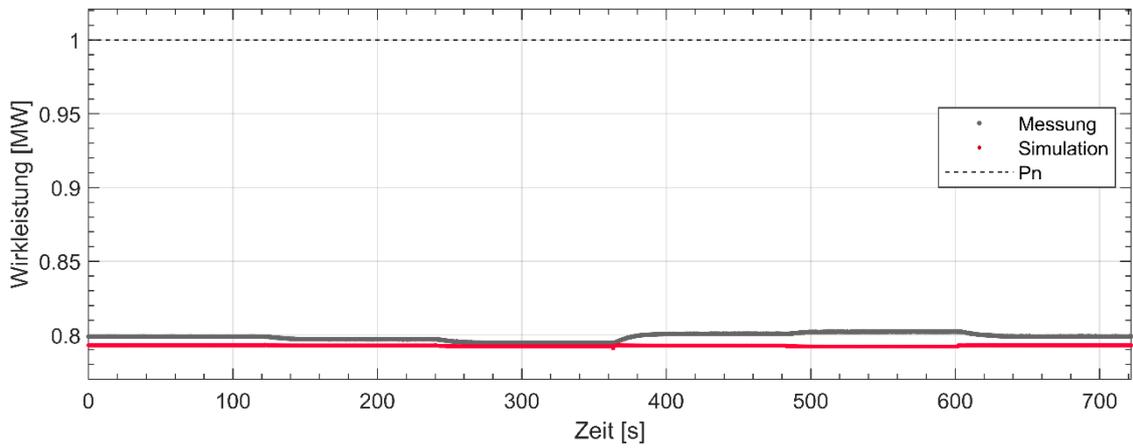
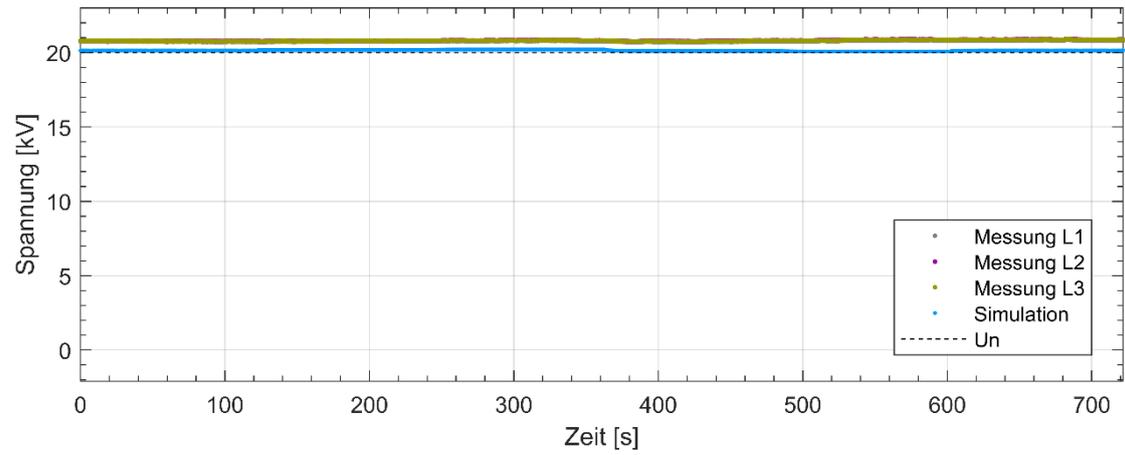


Abbildung 2 Einstellgenauigkeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion, Qref=0

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.2.2-TR3-6-1-3-3

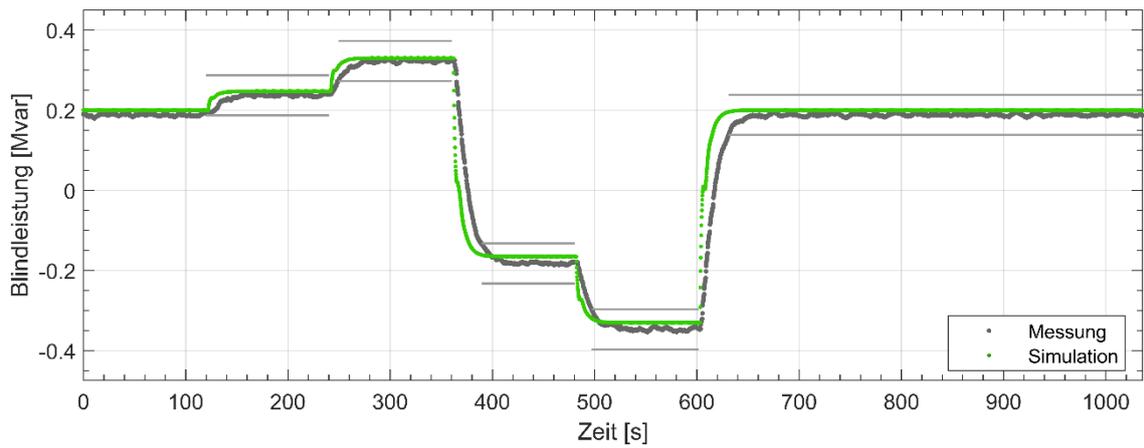
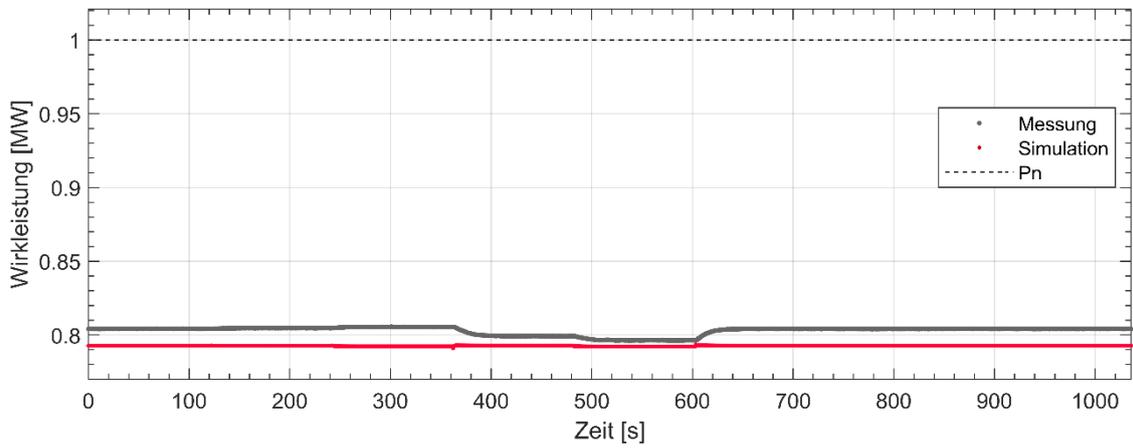
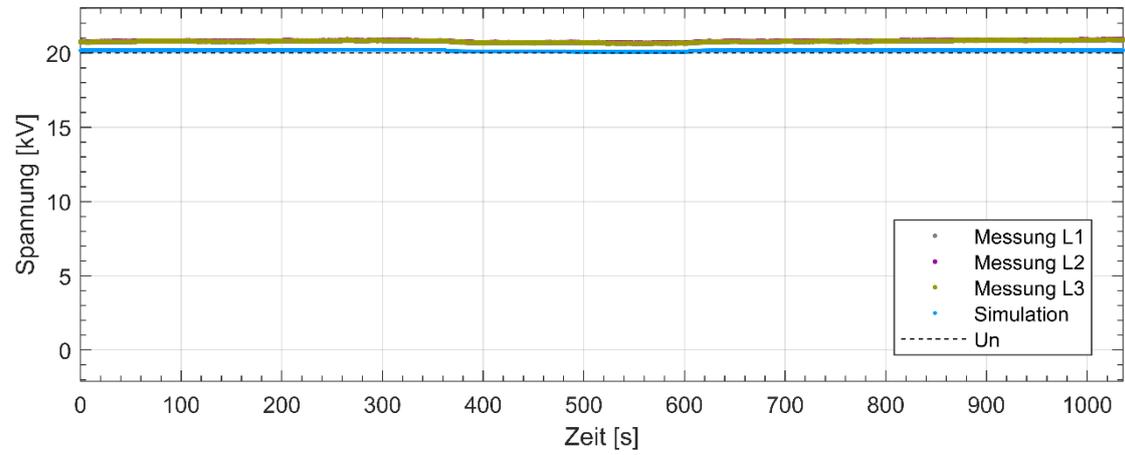


Abbildung 3 Einstellgenauigkeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion, Qref übererregt

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.2.3-TR3-6-1-3-3

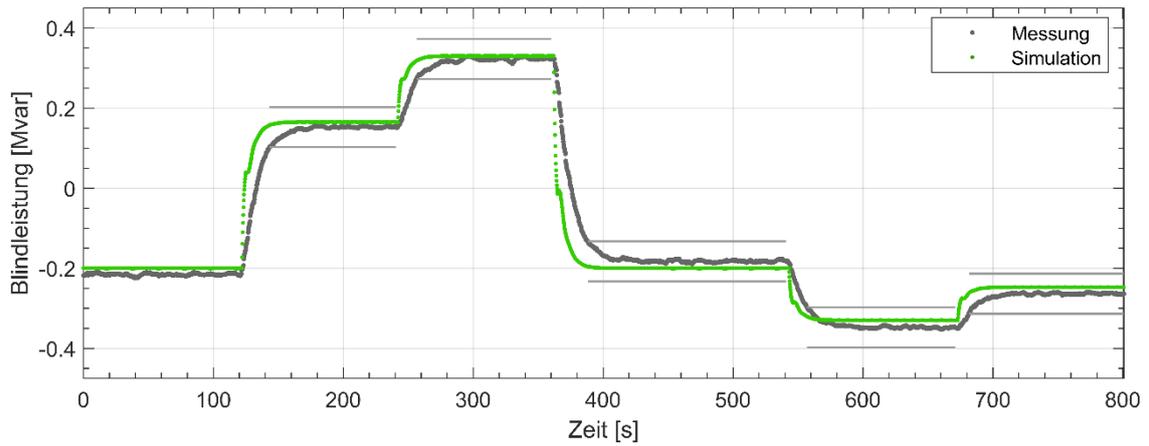
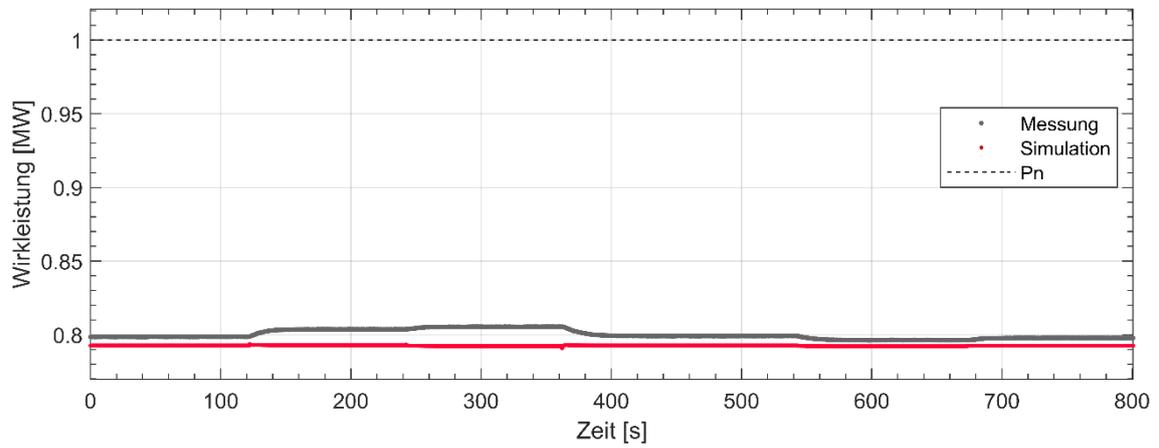
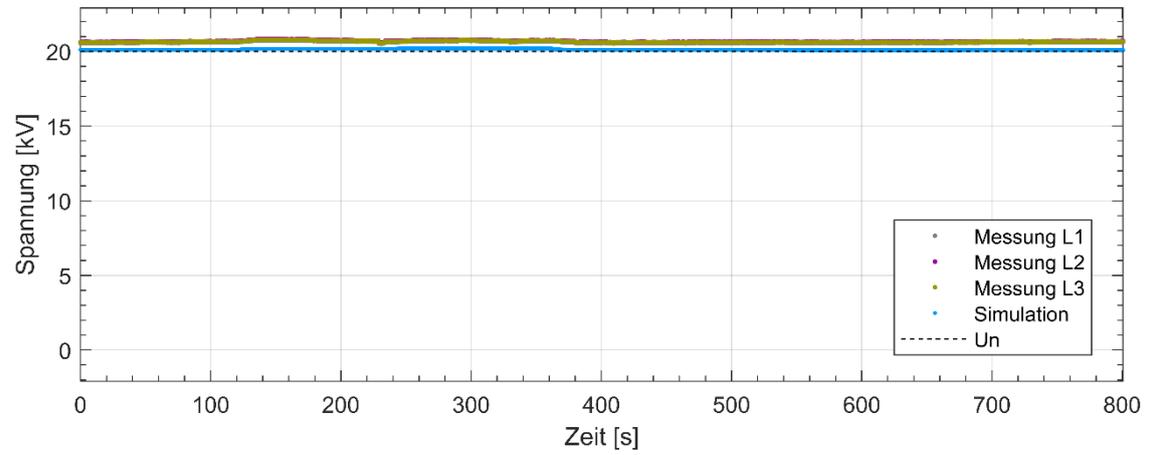


Abbildung 4 Einstellgenauigkeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion, Qref untererregt

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.3.1-TR3-6-1-3-4

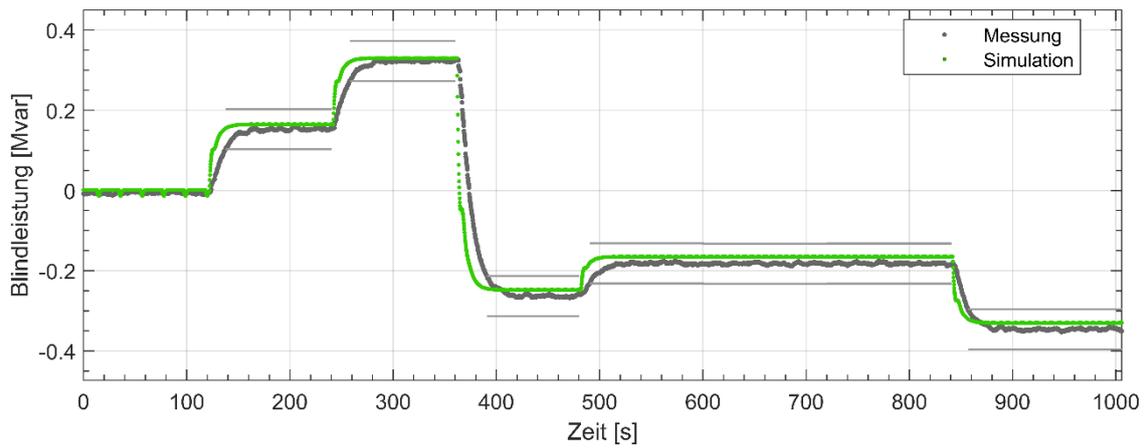
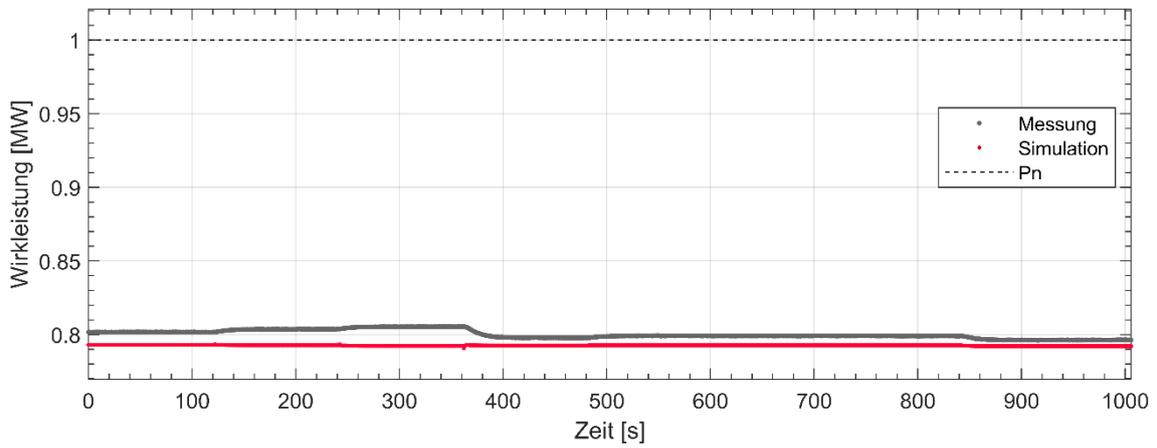
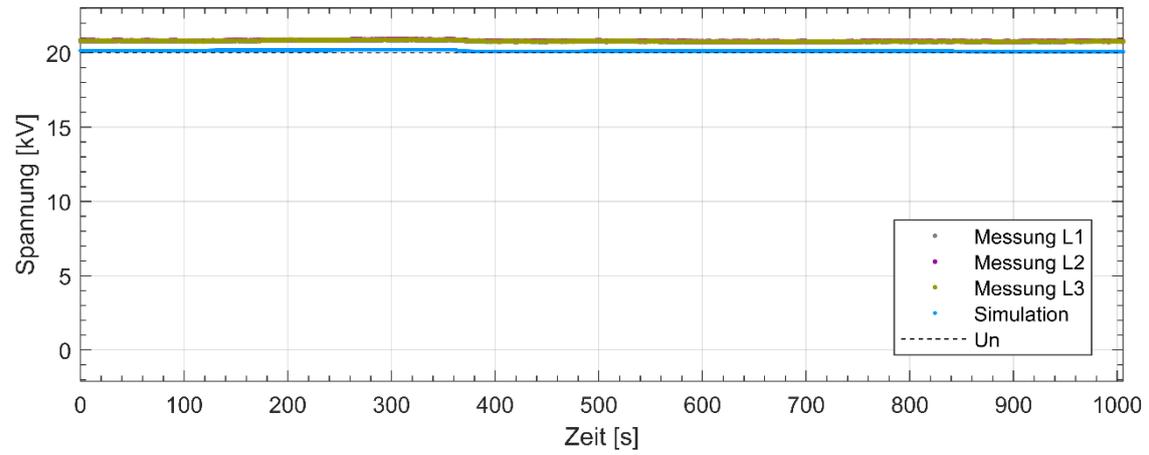


Abbildung 5 Einstellgenauigkeit, Blindleistungs-Spannungskennlinie Q(U), Standard, Test Totband

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.3.2-TR3-6-1-3-4

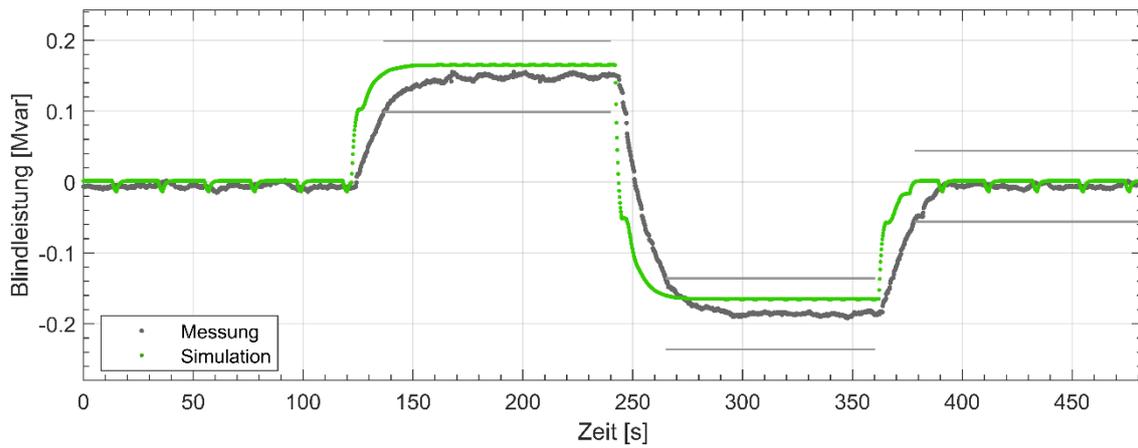
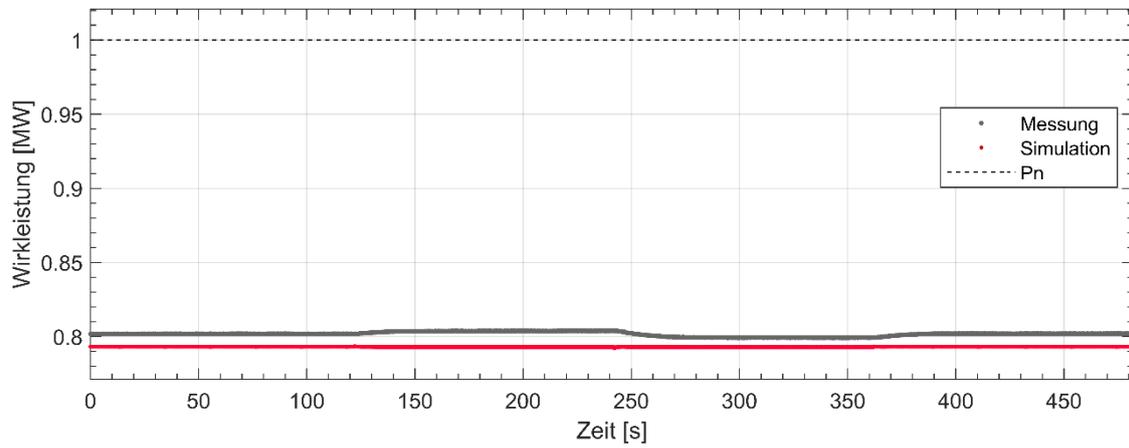
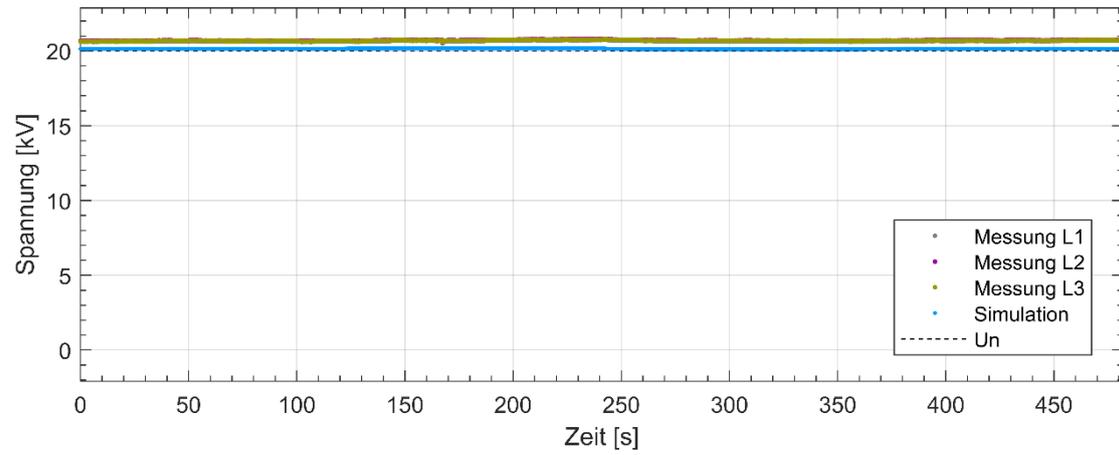


Abbildung 6 Einstellgenauigkeit, Blindleistungs-Spannungskennlinie Q(U), Test Uq0,ref

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.4-TR3-6-1-3-5

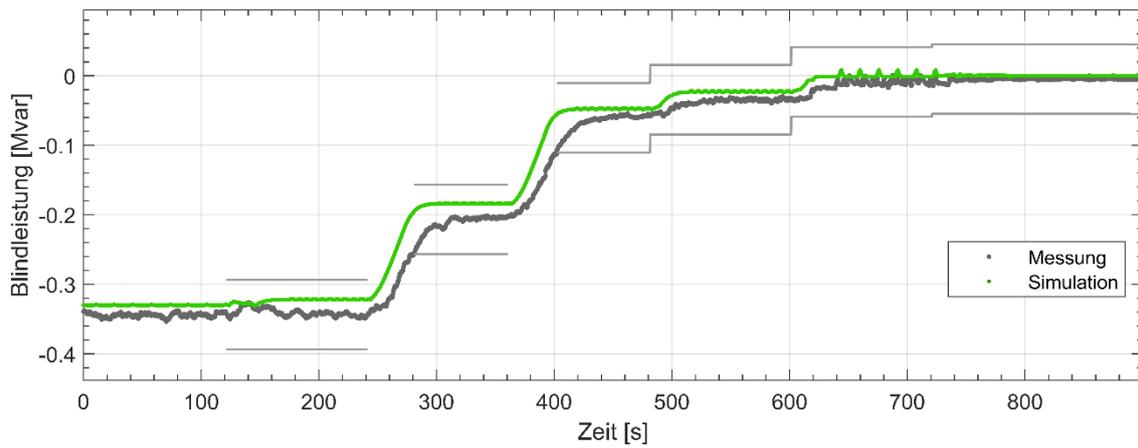
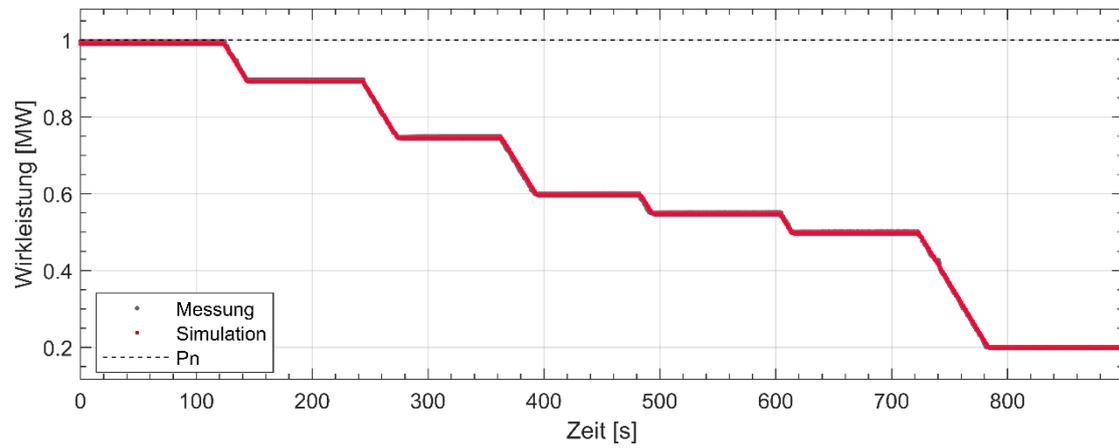
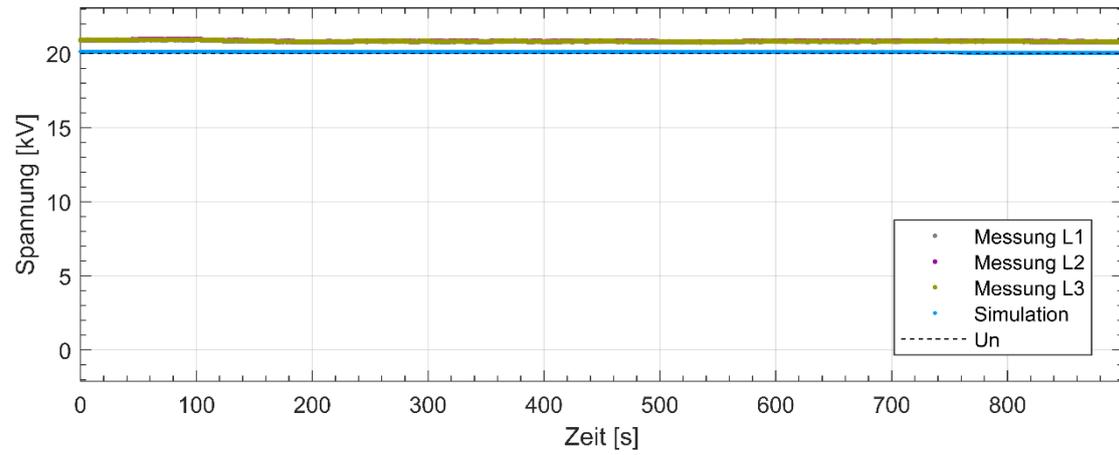
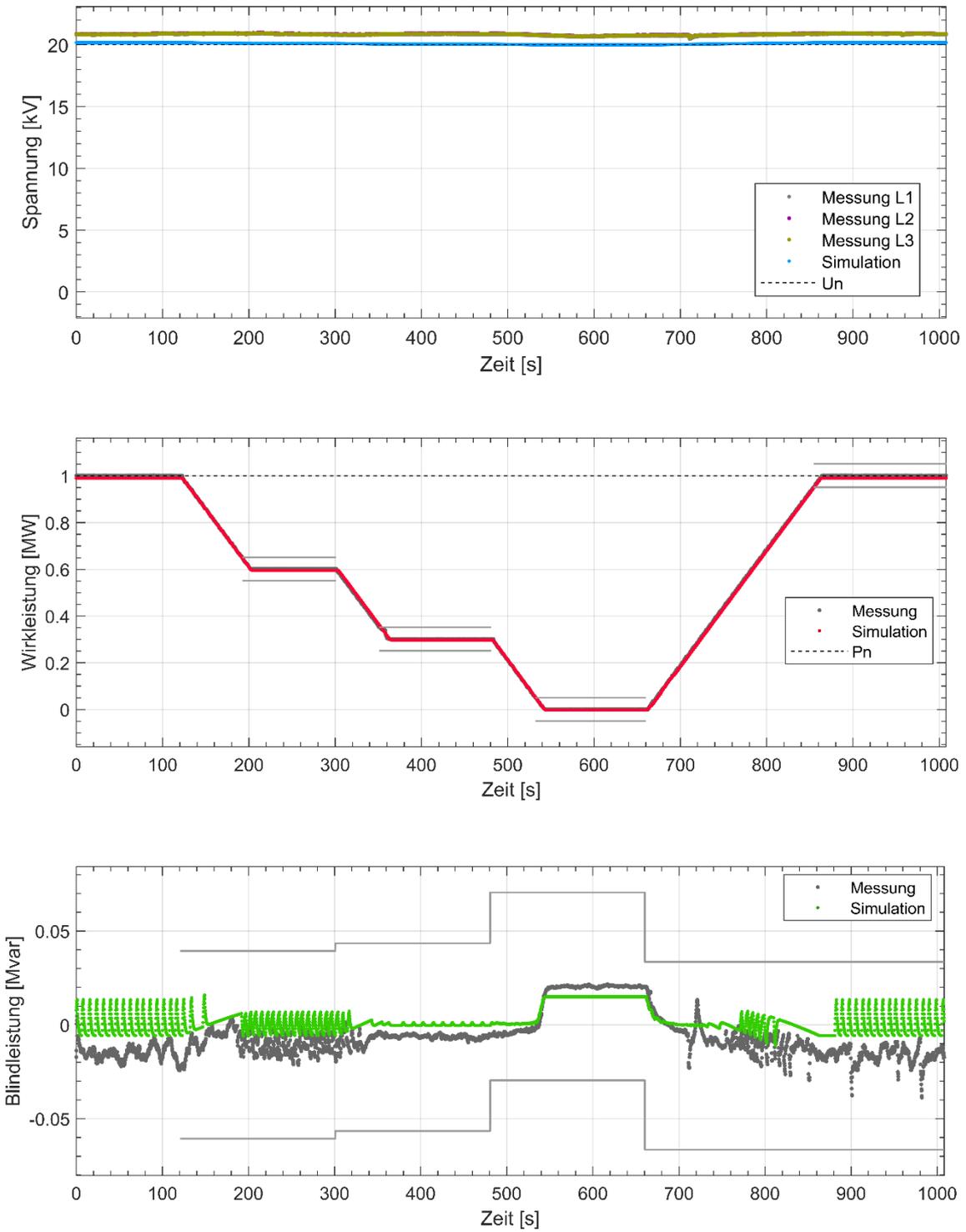


Abbildung 7 Einstellgenauigkeit, Kennlinie Q(P)

**Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.1.5-TR3-6-1-3-6**



**Abbildung 8** Einstellgenauigkeit, Wirkleistung

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.1.1-TR3-6-1-4-2

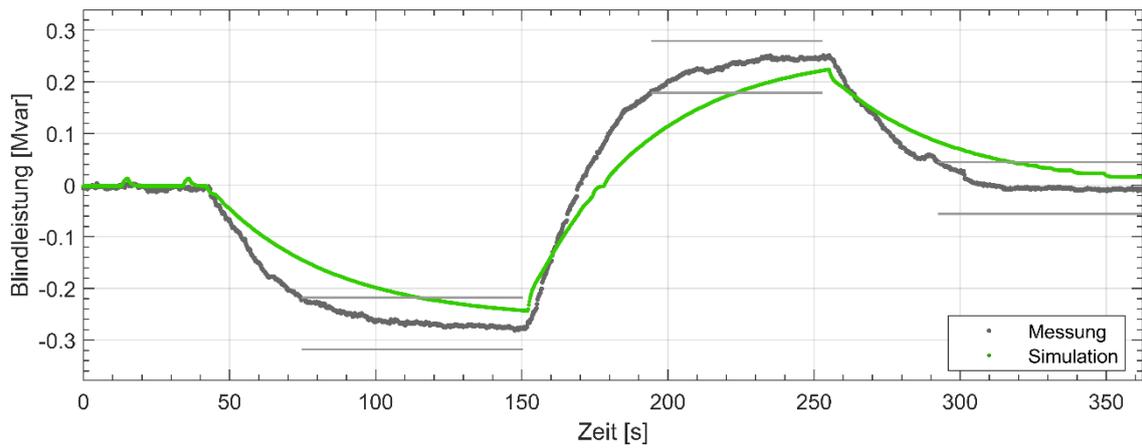
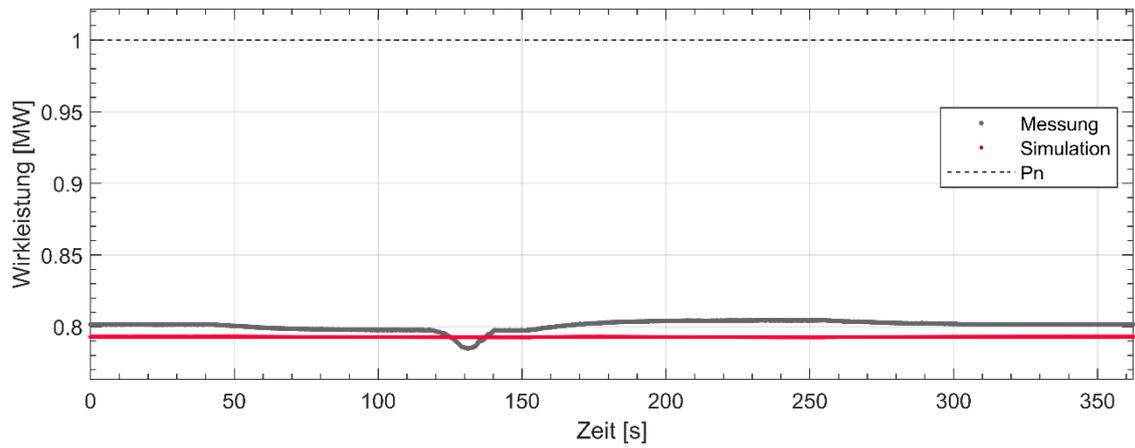
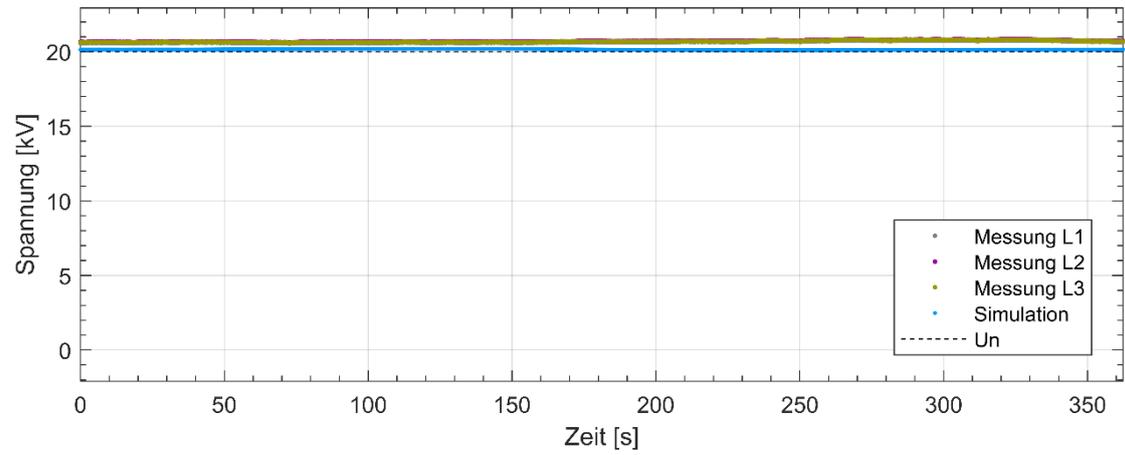


Abbildung 9 Einschwingzeit, Verschiebungsfaktor (60 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.1.2-TR3-6-1-4-2

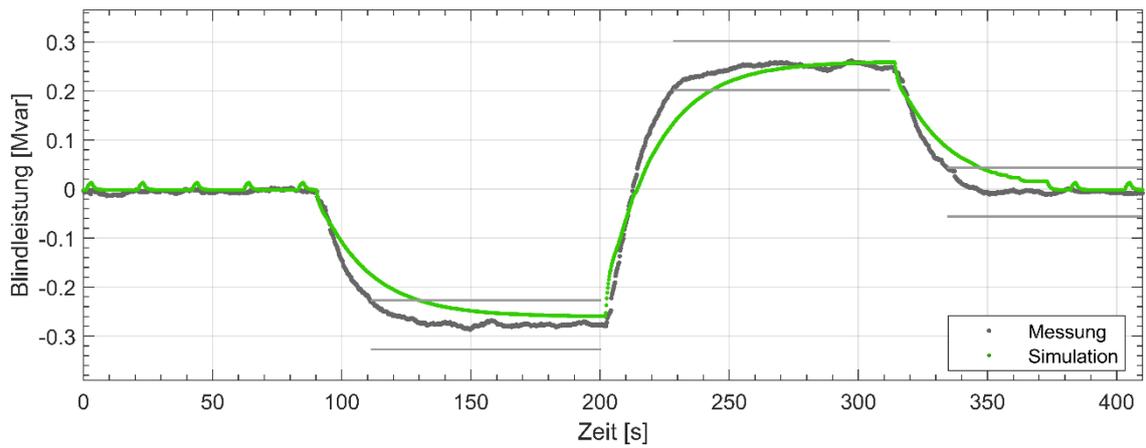
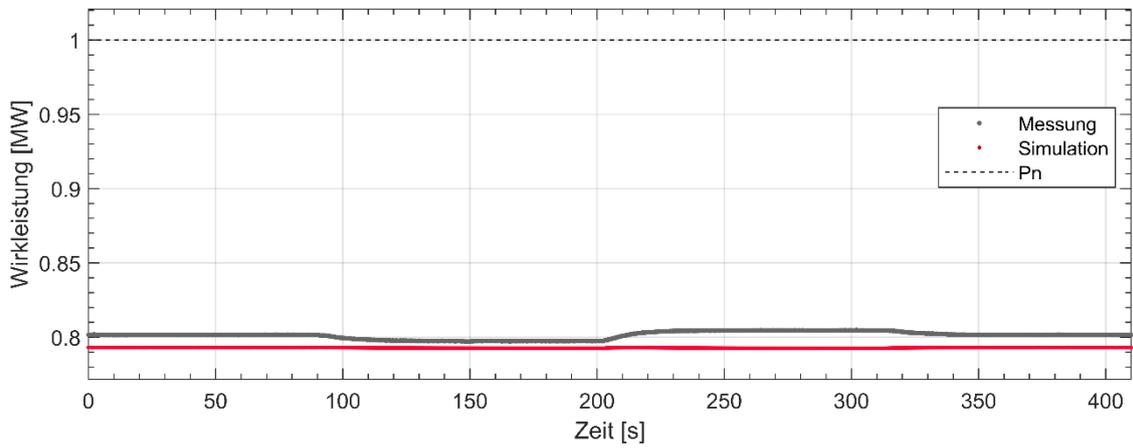
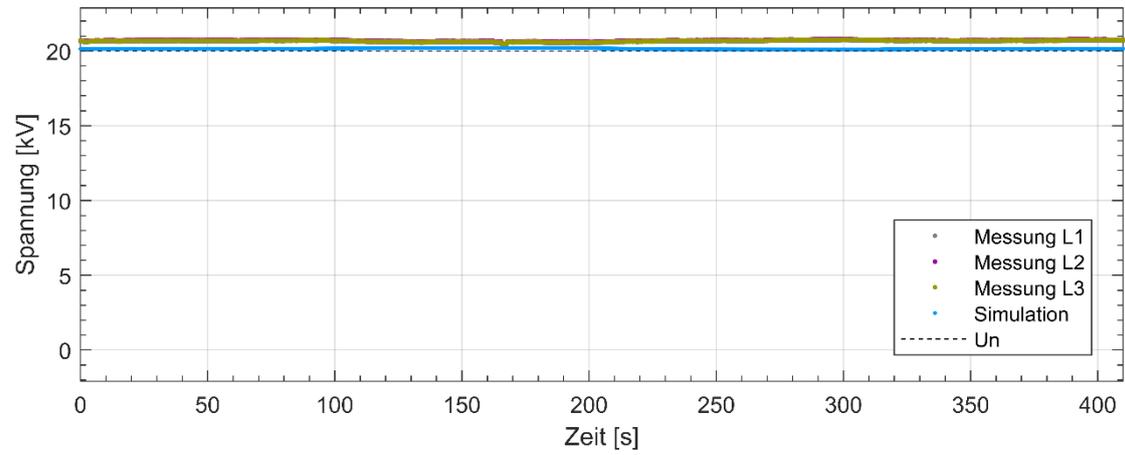


Abbildung 10 Einschwingzeit, Verschiebungsfaktor (30 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.2.1-TR3-6-1-4-3

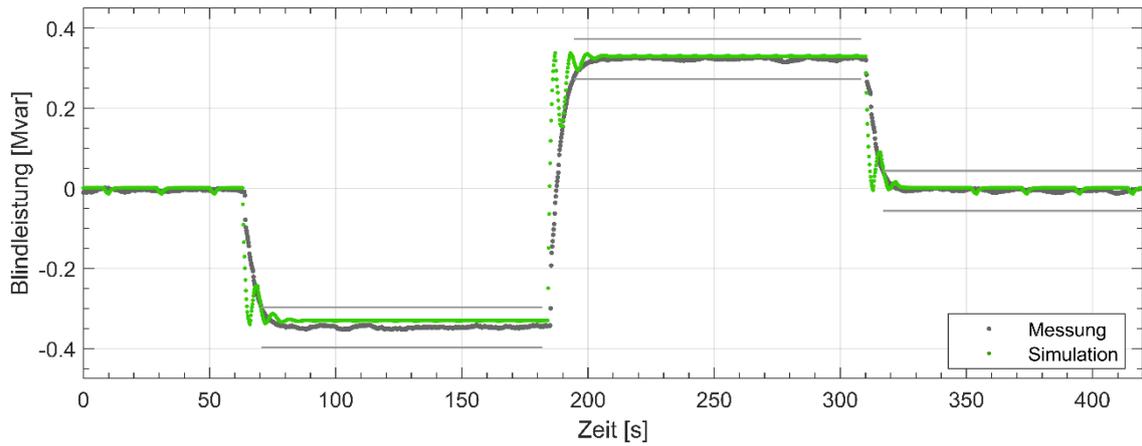
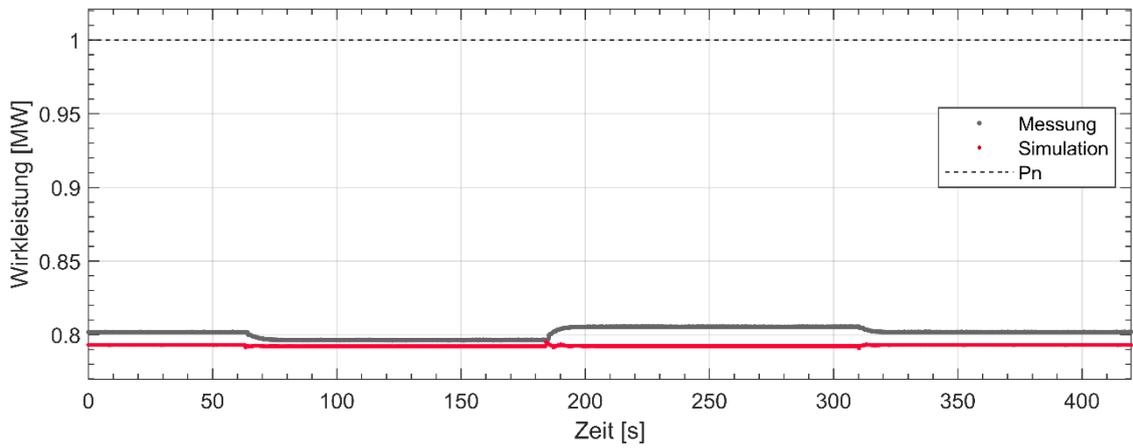
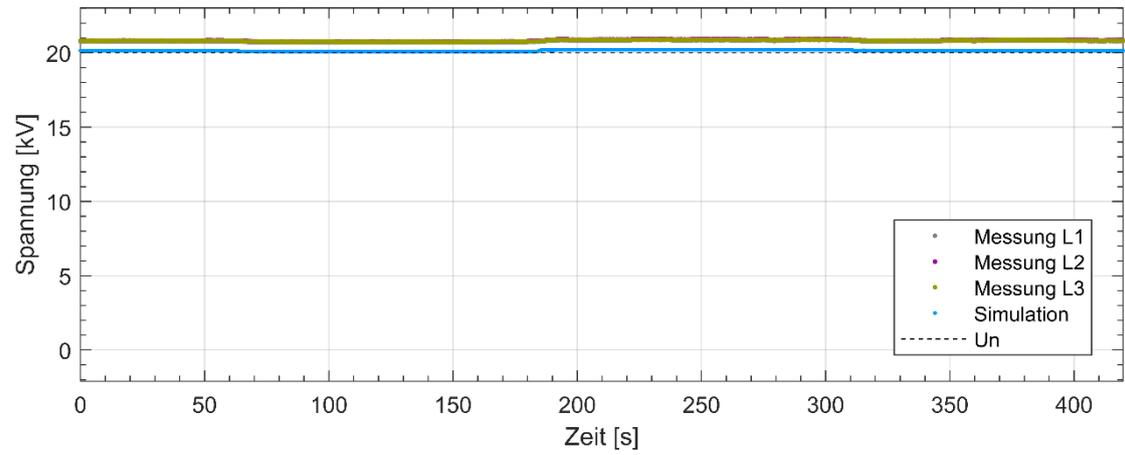


Abbildung 11 Einschwingzeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion (6 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.2.2-TR3-6-1-4-3

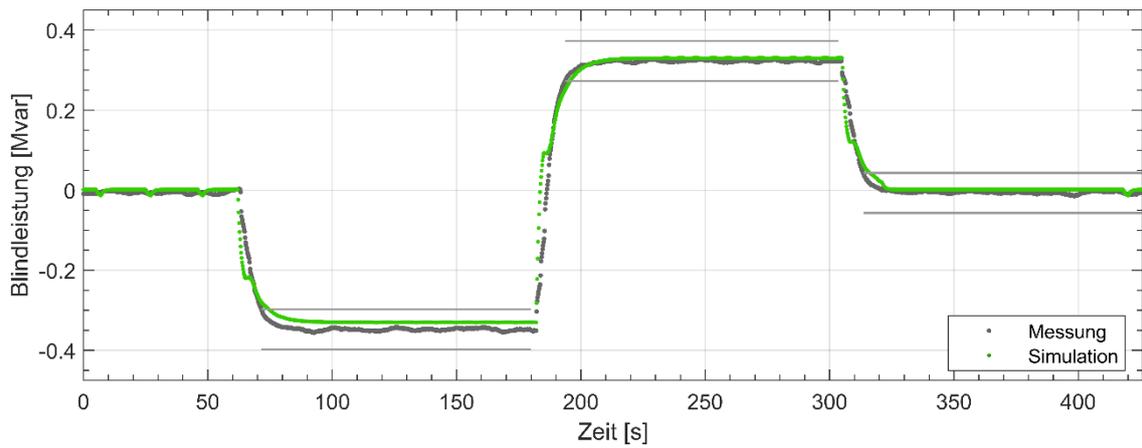
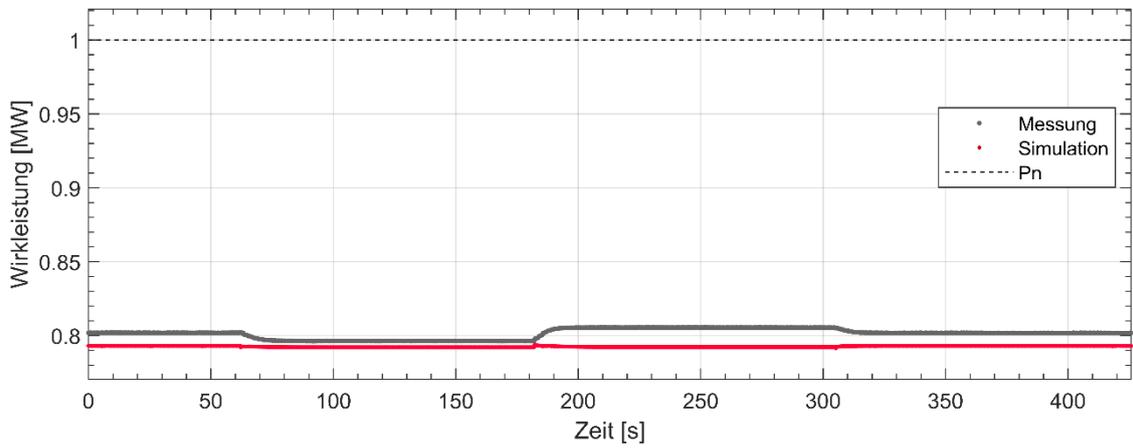
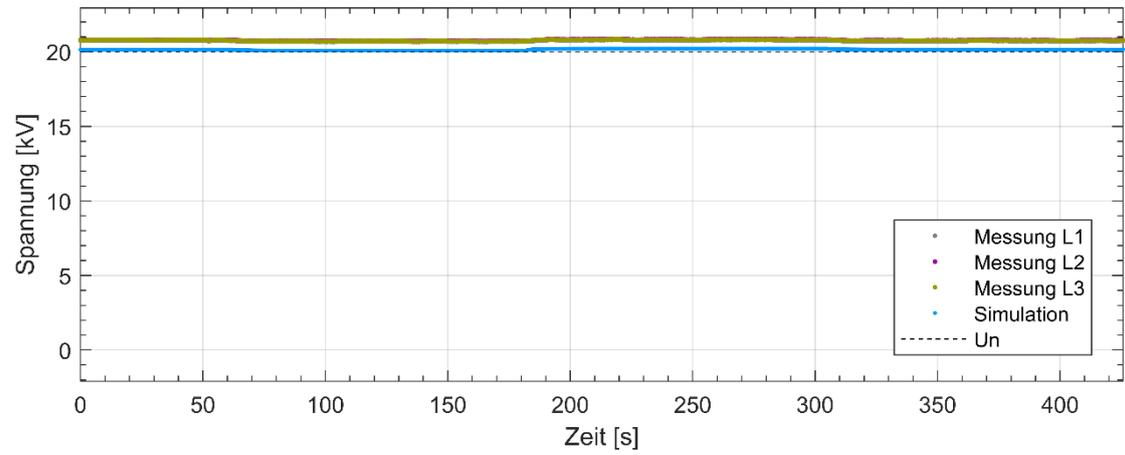


Abbildung 12 Einschwingzeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion (10 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.2.3-TR3-6-1-4-3

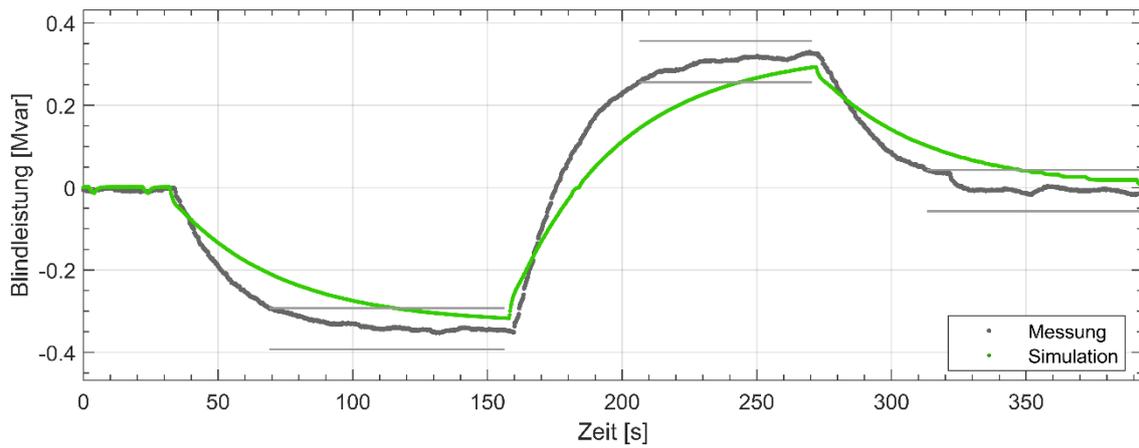
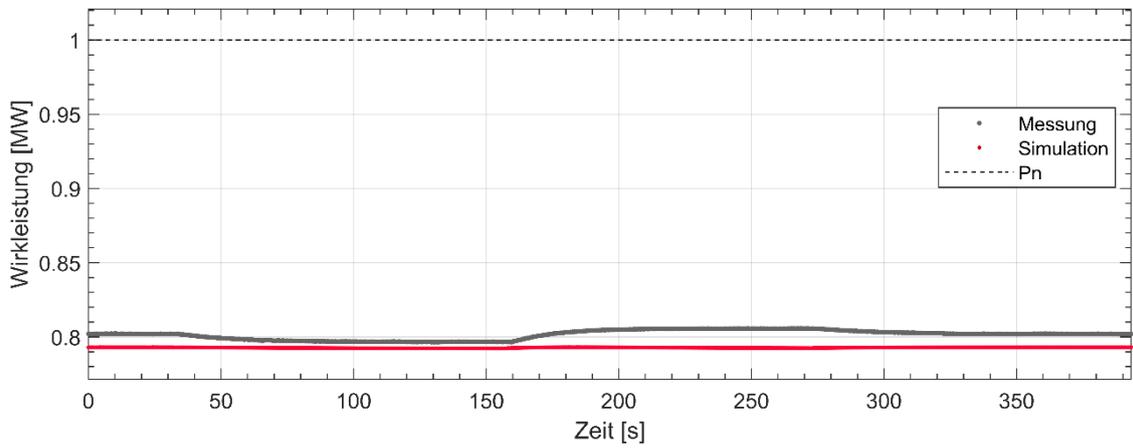
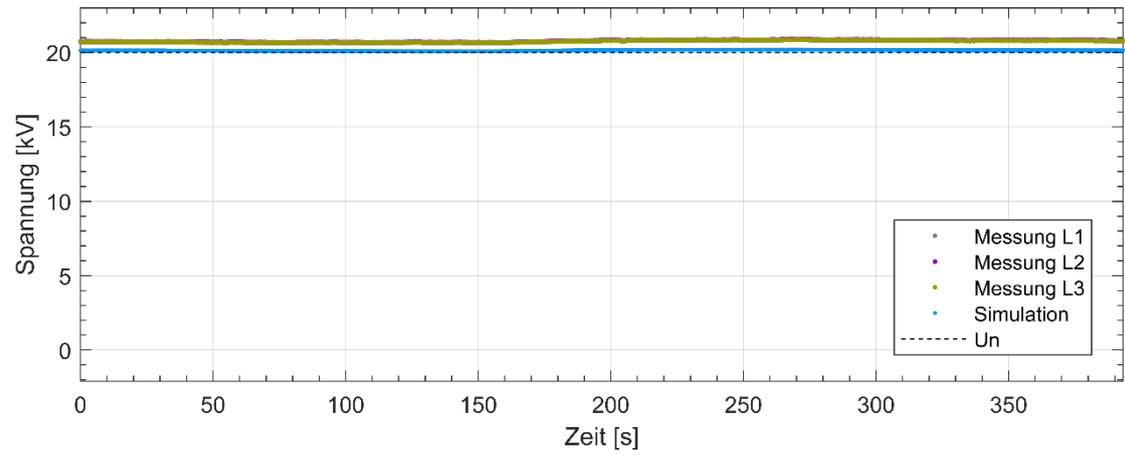


Abbildung 13 Einschwingzeit, Blindleistung mit Spannungsbegrenzungsfunktion (60 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.3.1-TR3-6-1-4-4

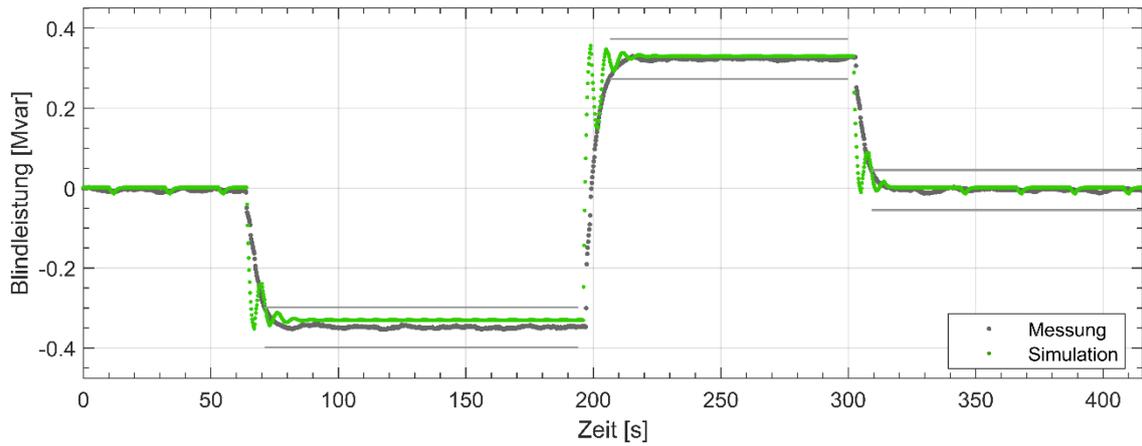
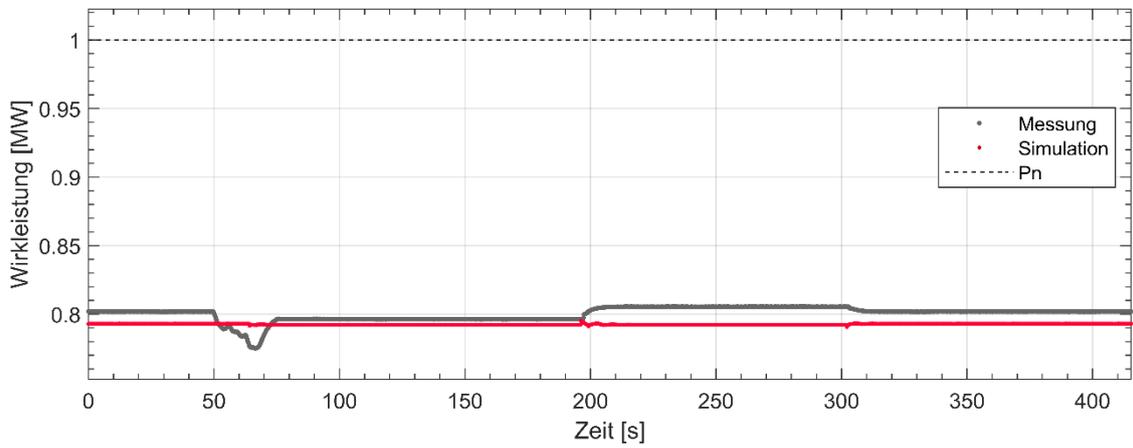
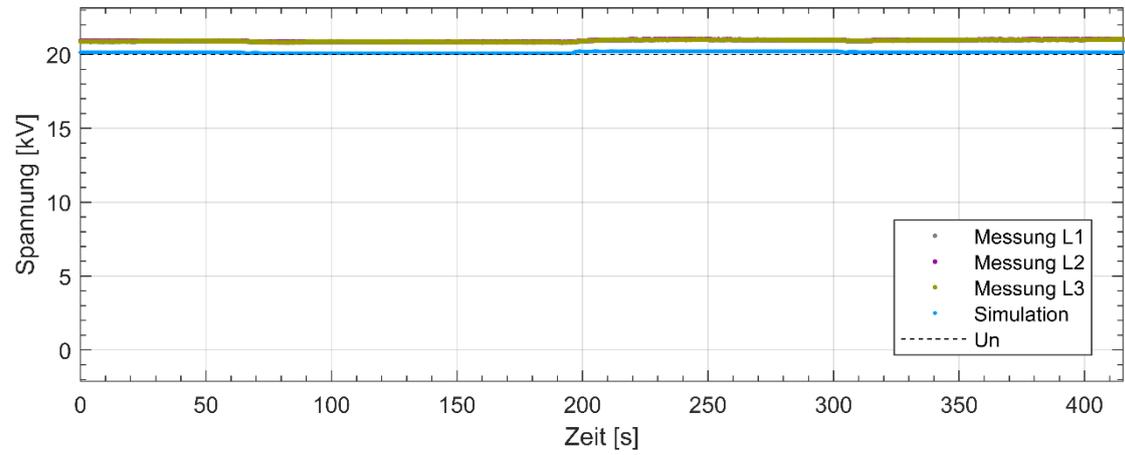


Abbildung 14 Einschwingzeit, Blindleistungs-Spannungskennlinie Q(U) (6 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.3.2-TR3-6-1-4-4

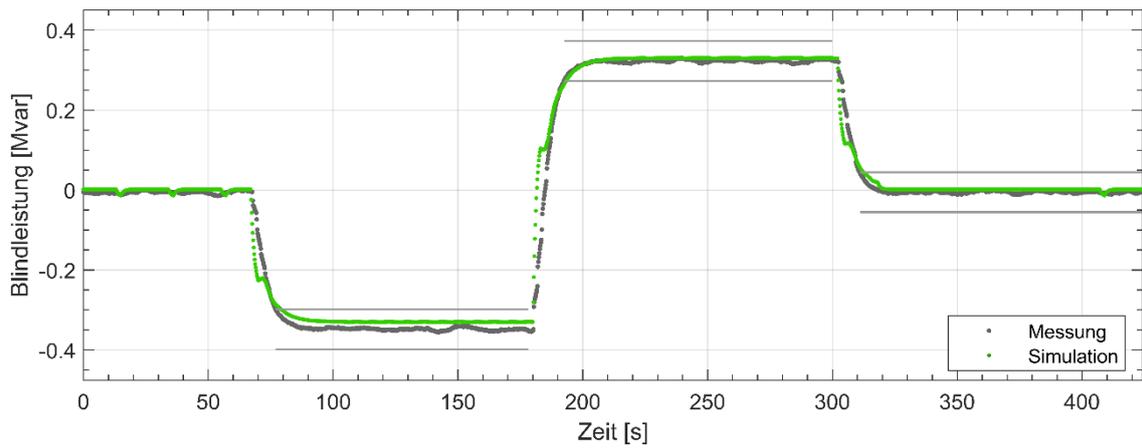
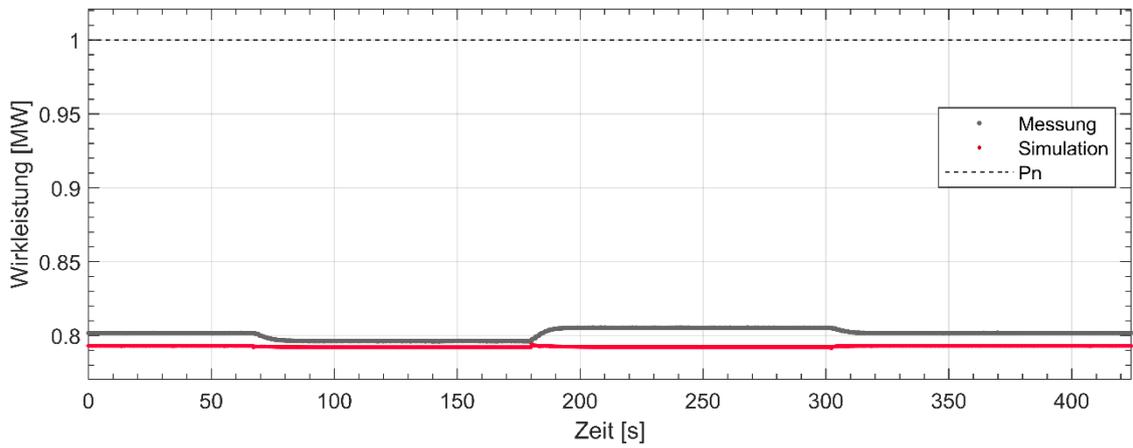
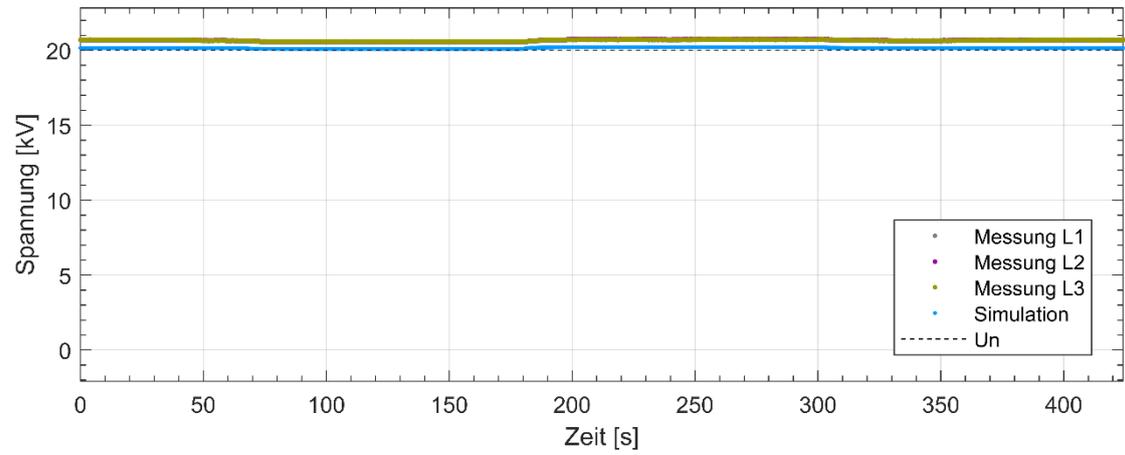


Abbildung 15 Einschwingzeit, Blindleistungs-Spannungskennlinie Q(U) (10 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.3.3-TR3-6-1-4-4

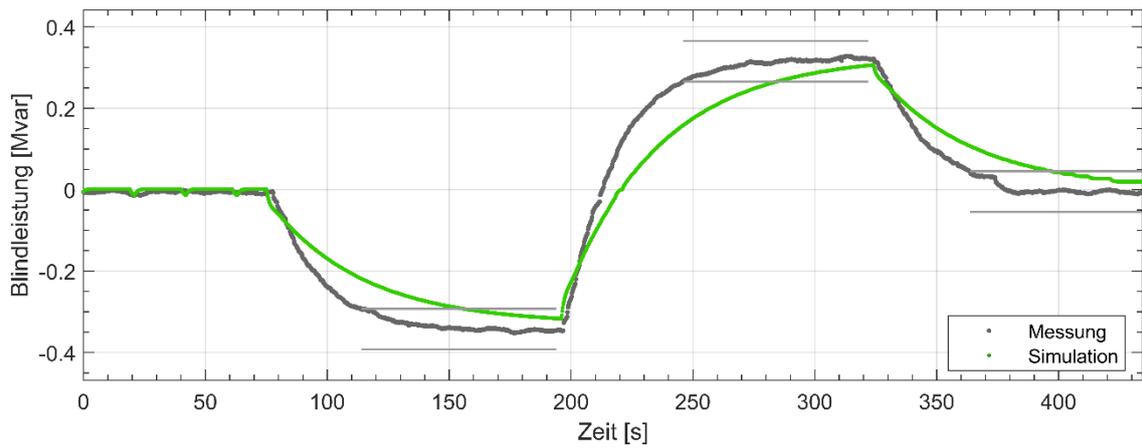
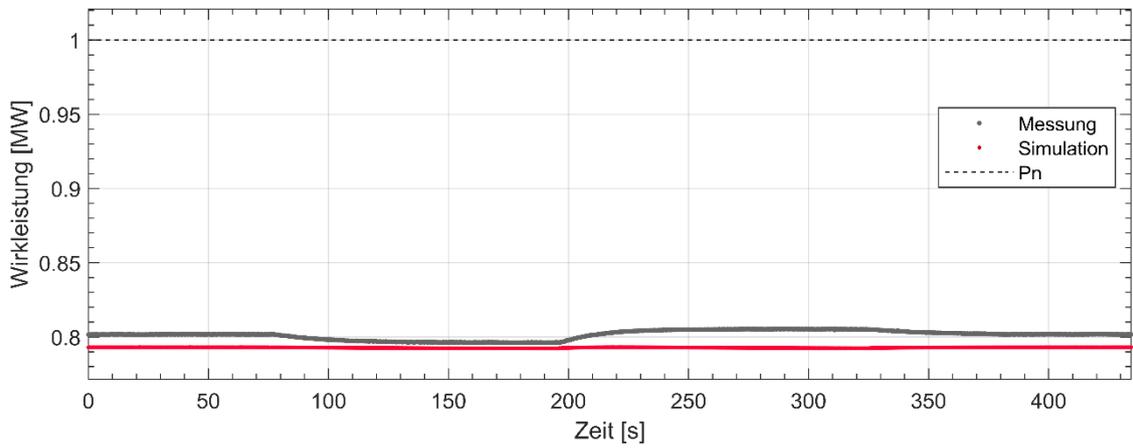
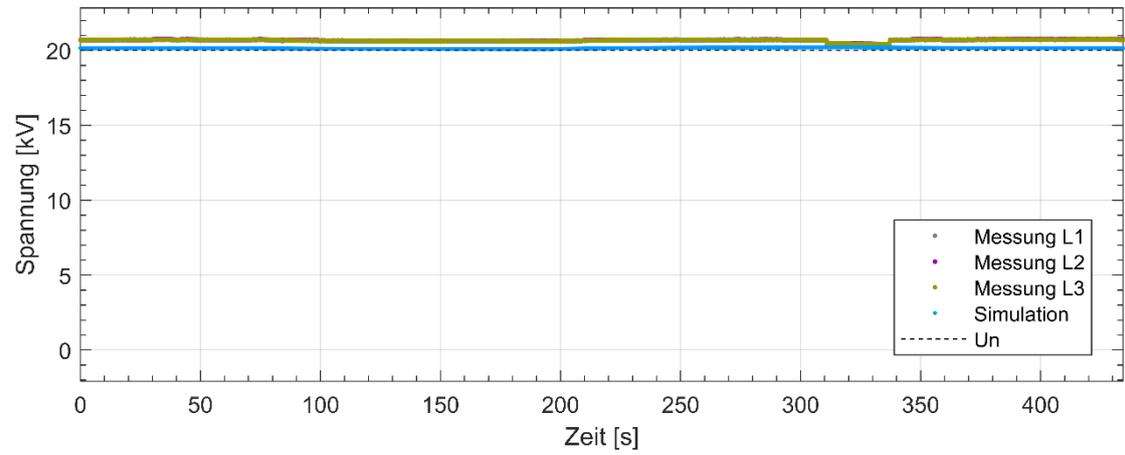


Abbildung 16 Einschwingzeit, Blindleistungs-Spannungskennlinie Q(U) (60 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.4.1-TR3-6-1-4-5

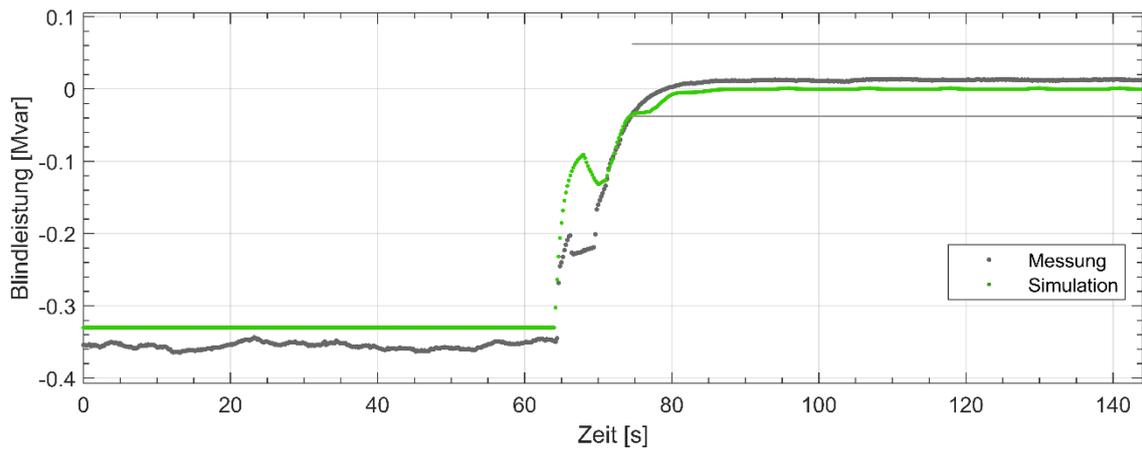
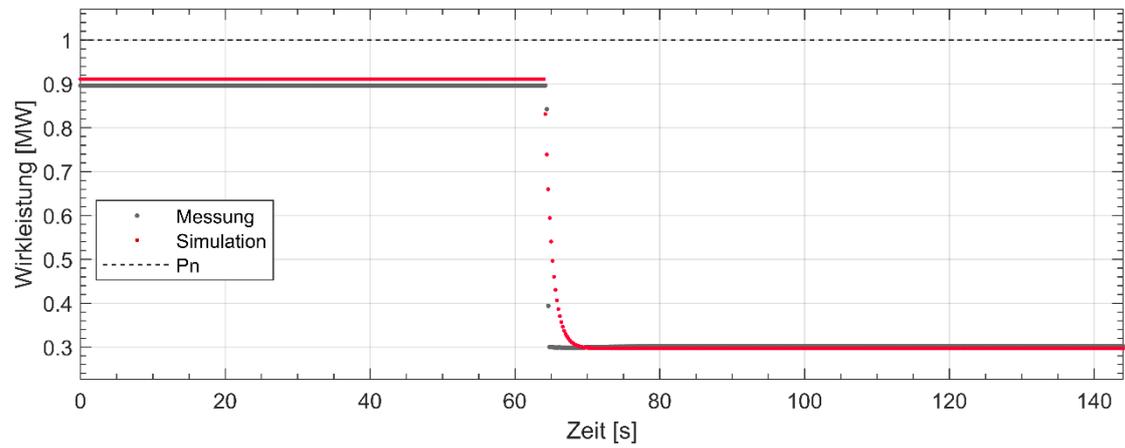
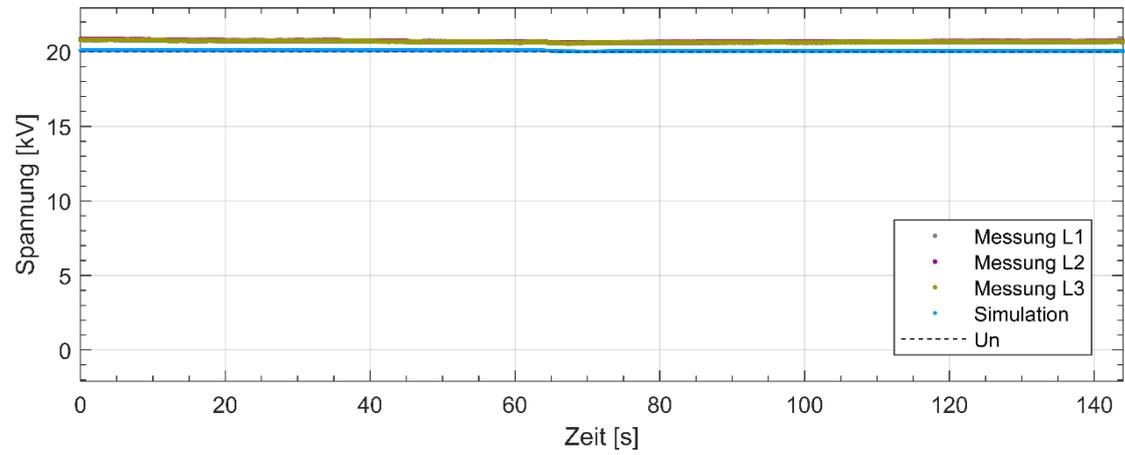


Abbildung 17 Einschwingzeit, Kennlinie Q(P) (6 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.4.2-TR3-6-1-4-5

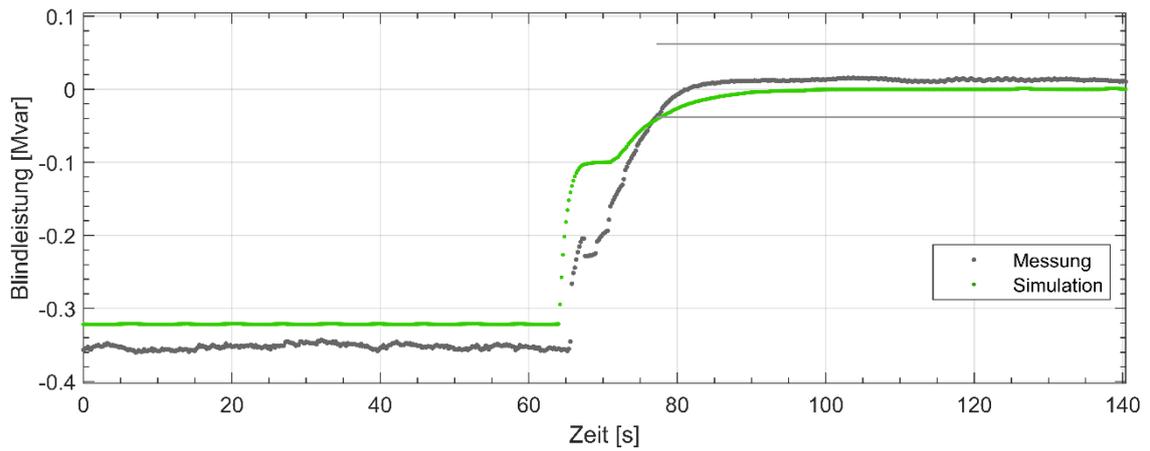
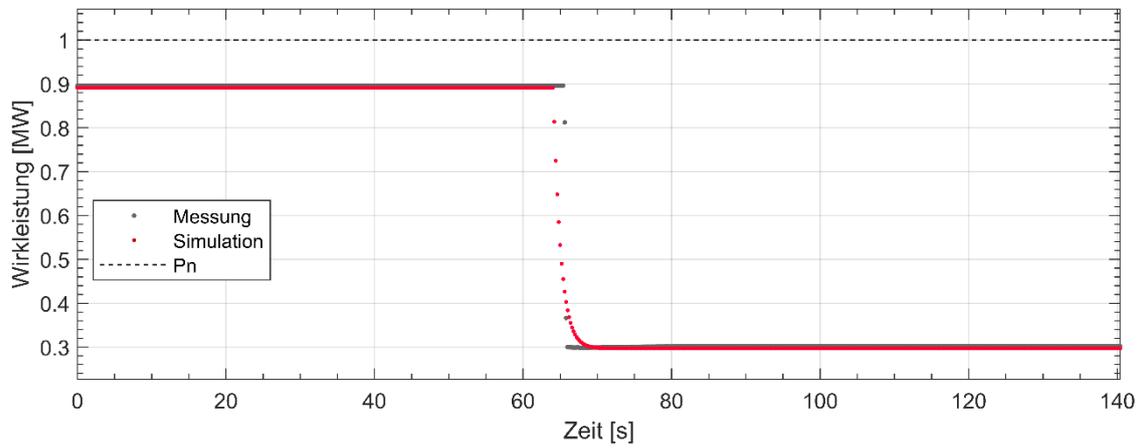
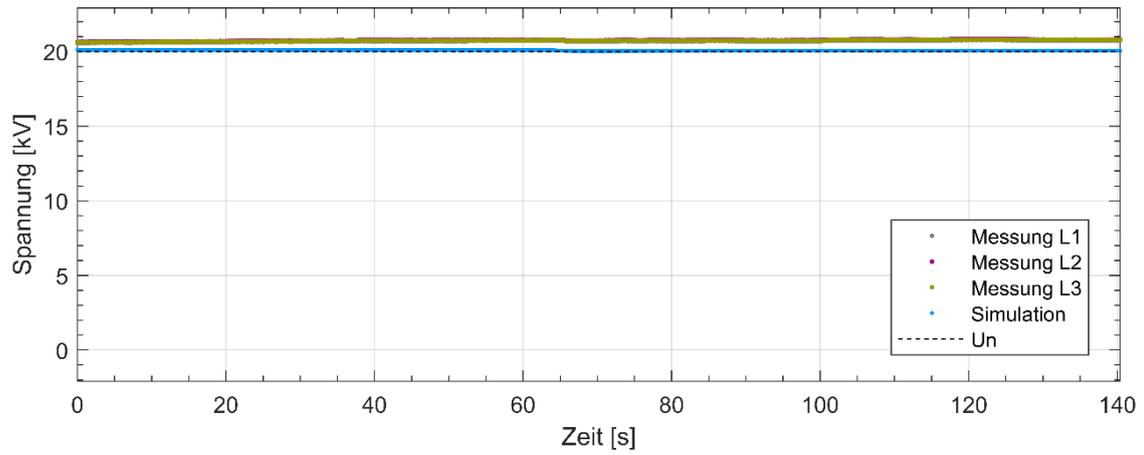


Abbildung 18 Einschwingzeit, Kennlinie Q(P) (10 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.4.3-TR3-6-1-4-5

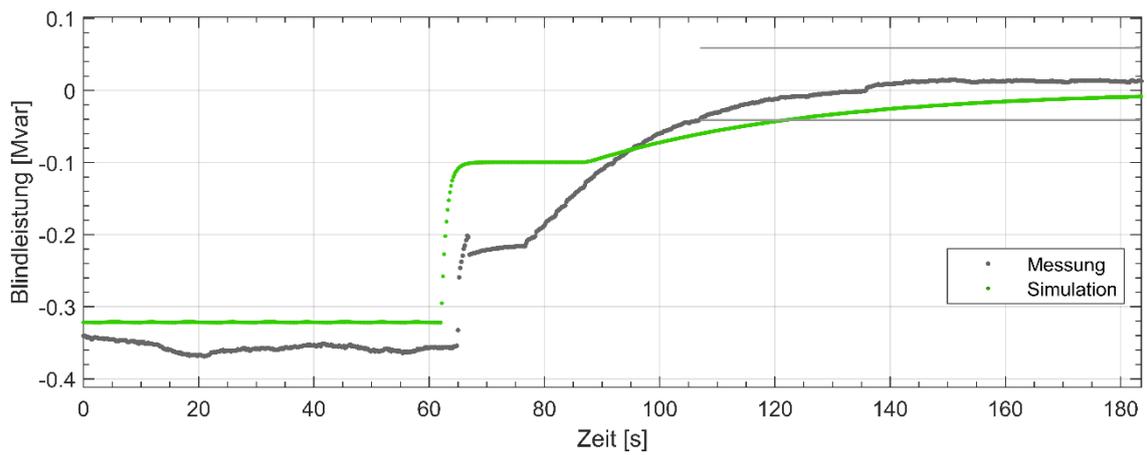
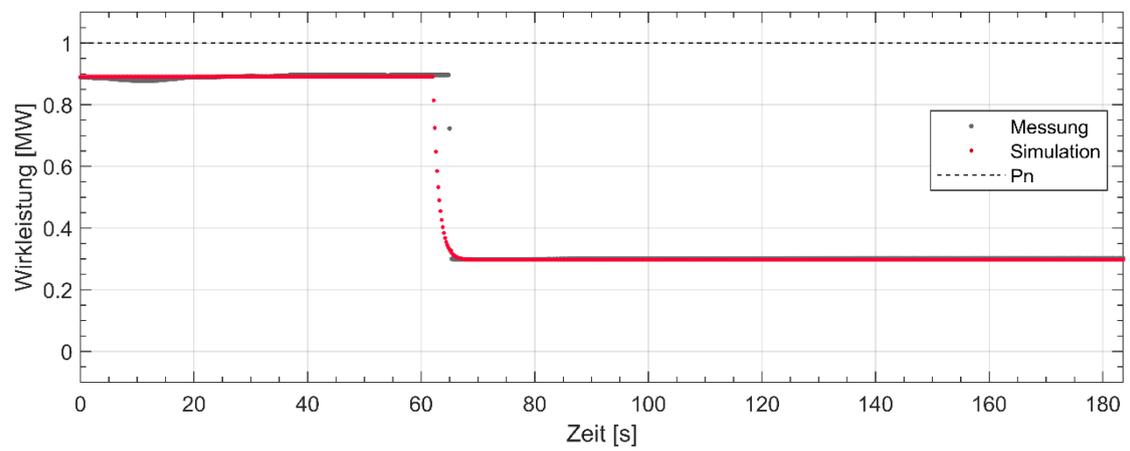
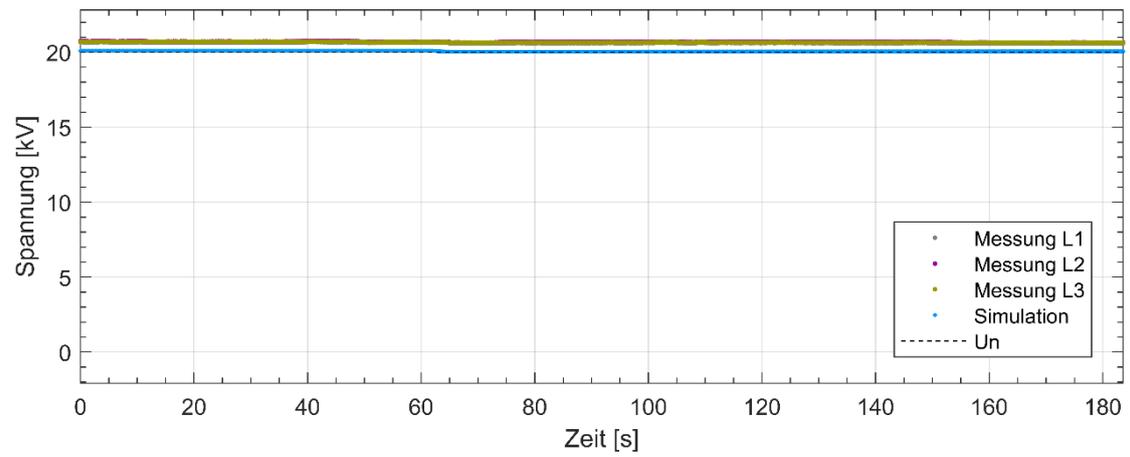


Abbildung 19 Einschwingzeit, Kennlinie Q(P) (60 s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.5.1-TR3-6-1-4-6

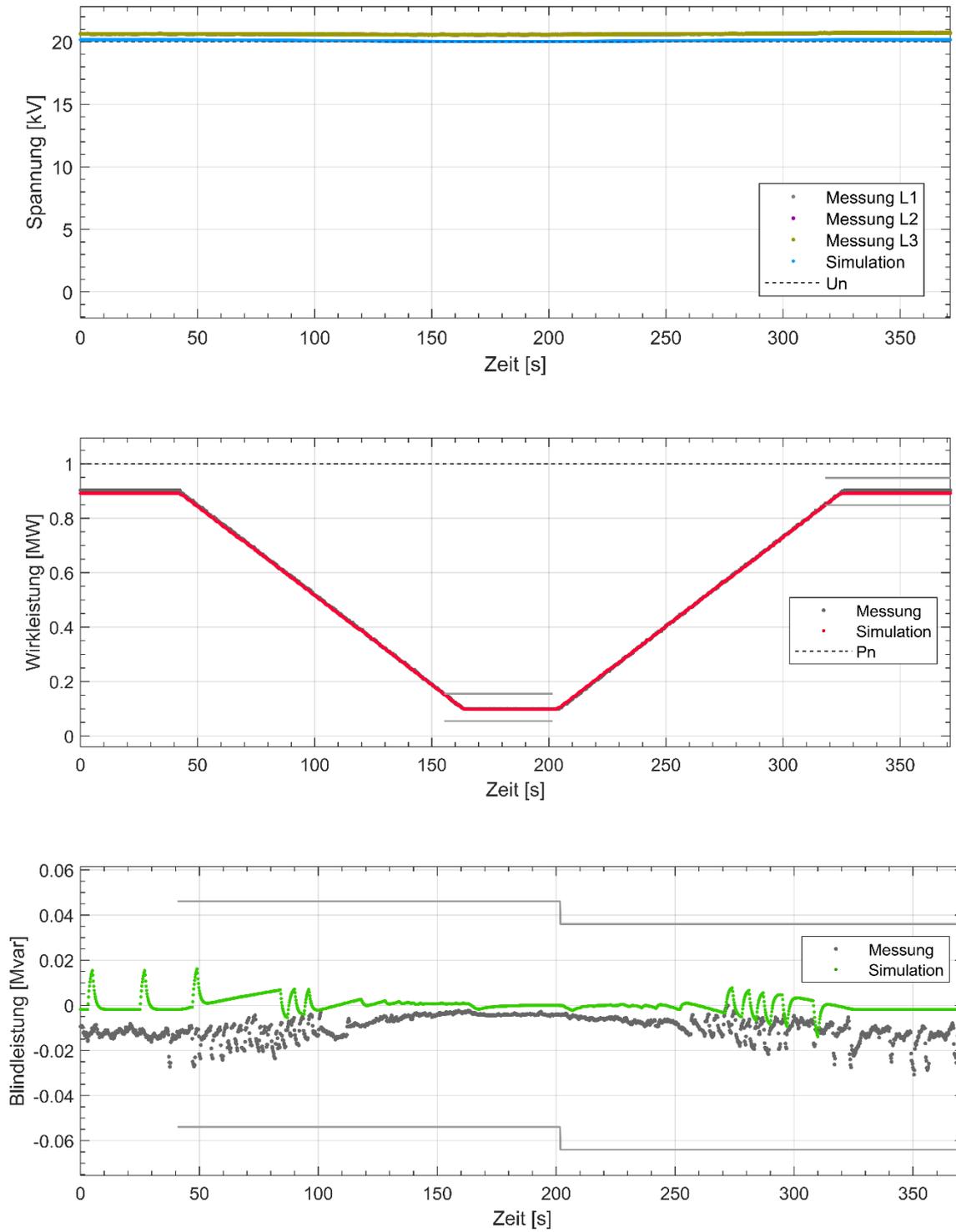


Abbildung 20 Einschwingzeit, Wirkleistungsgradient (0,66 %Pbinst./s)

Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.2.5.2-TR3-6-1-4-6

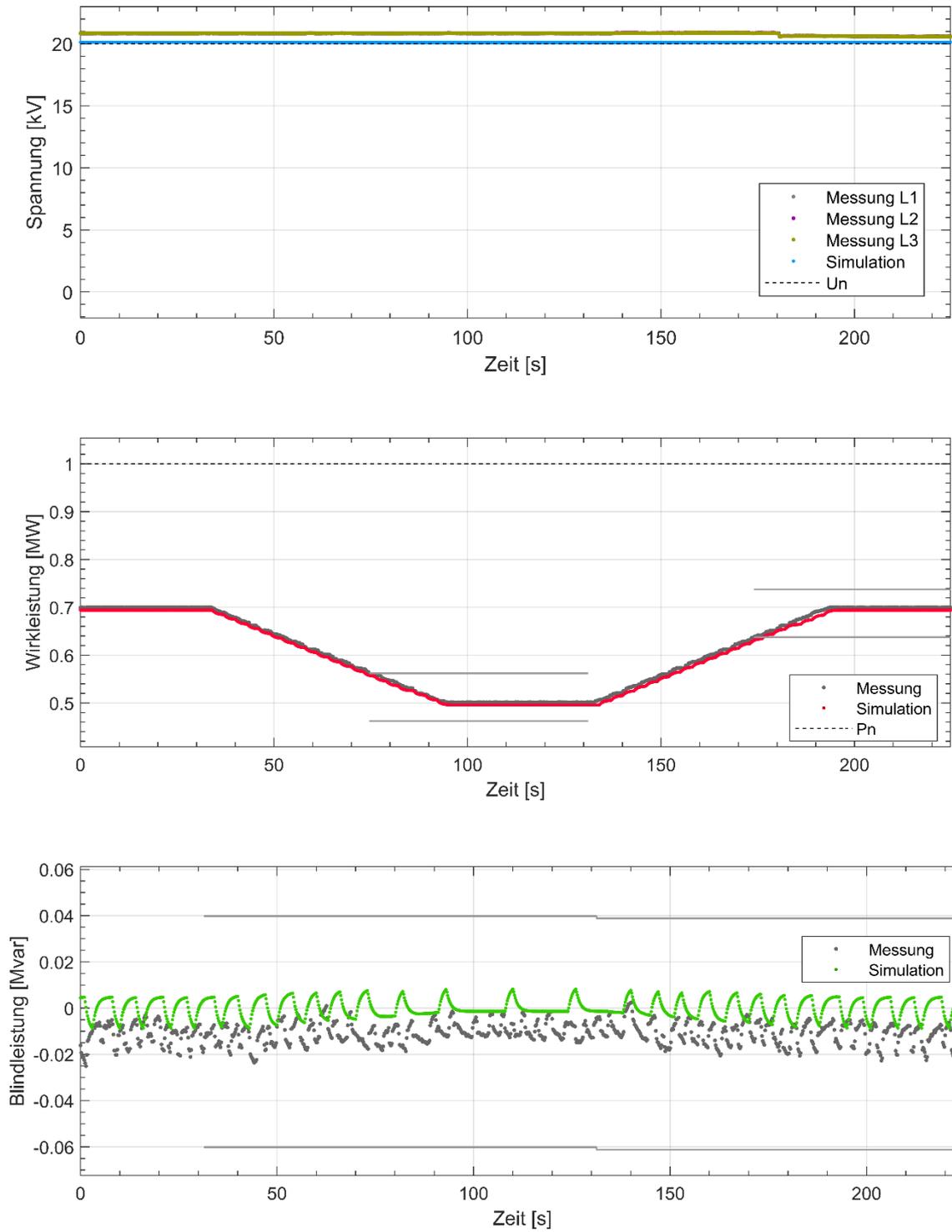
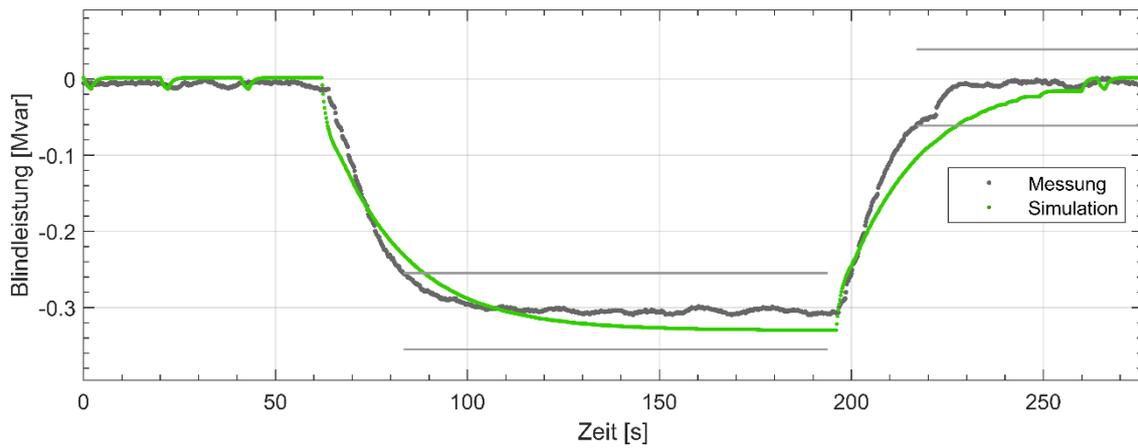
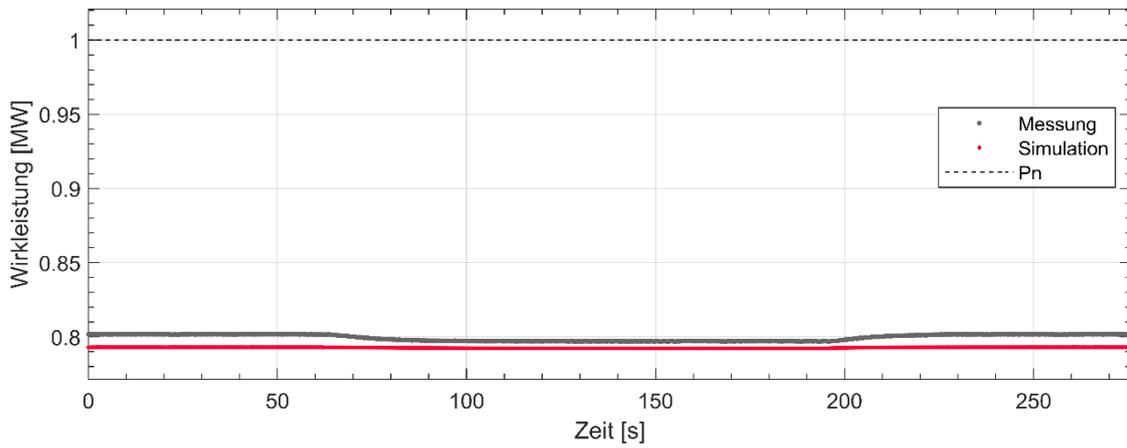
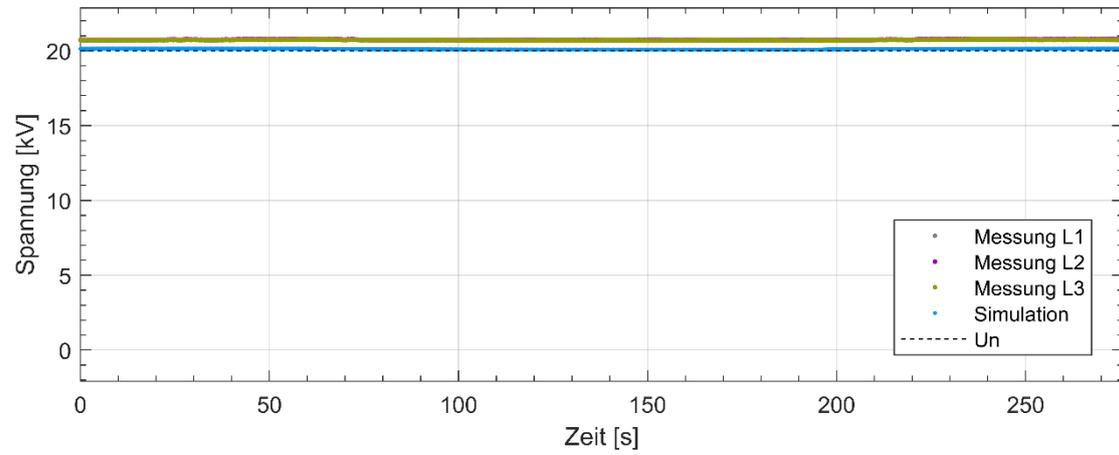


Abbildung 21 Einschwingzeit, Wirkleistungsgradient (0,33 %P<sub>binst</sub>./s)

**Plexlog PL500+ Test-Nr: Messbericht-4.3-TR3-6-1-3-3**



**Abbildung 22** Einschwingzeit, Umschaltverhalten (Q mit Spannungsbegrenzung -> Q(U))