

BECKHOFF

Messung im Netz mit hochgenauer Zeitsynchronisation

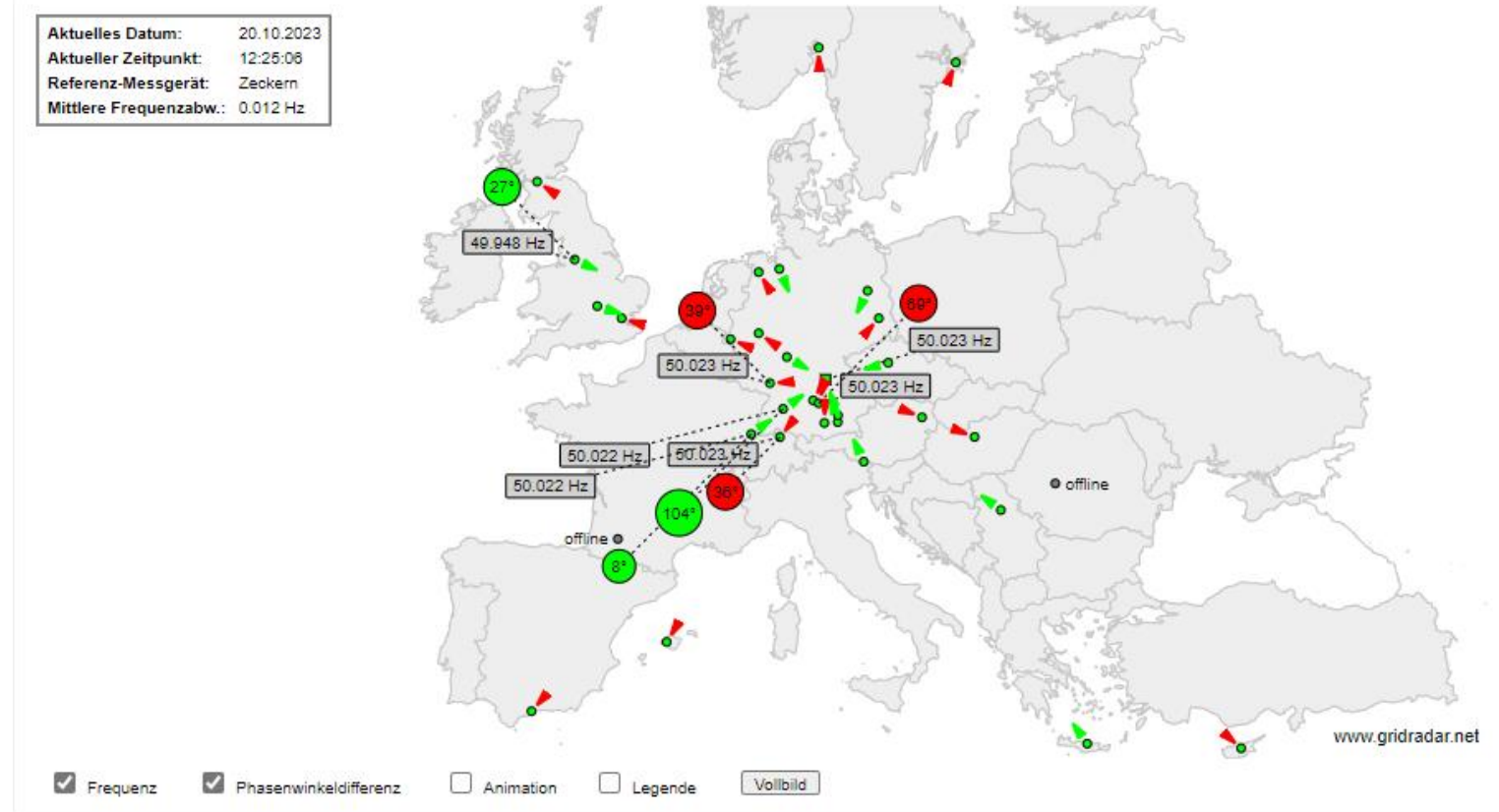
- Karl Stapelfeldt
- Office Lübeck
- k.stapelfeldt@beckhoff.com



- 1. Phasor Measurement Unit (PMU)**
2. Aufbau mit Beckhoff Komponenten
3. Speicherung und Analyse mit Open Source
4. Demonstration Dashboard

- Phasor Measurement Unit (PMU) zur Erfassung des Lastflusses
- Europaweit verteilte PMUs
- Phasenwinkel Theta bezogen auf eine Referenzmessung
- Online [GridRadar](https://www.gridradar.net)

- Projekt Idee:
 - PMU mit Beckhoff Klemmen
 - Verteilt in Beckhoff Büros
 - Reporting Rate 100Hz
 - Rohdaten 20kHz und 50kHz
 - Analyse in der Cloud



- Neueste Fassung: IEEE/IEC 60255-118-1-2018
- Vormals: IEEE C37.118.1

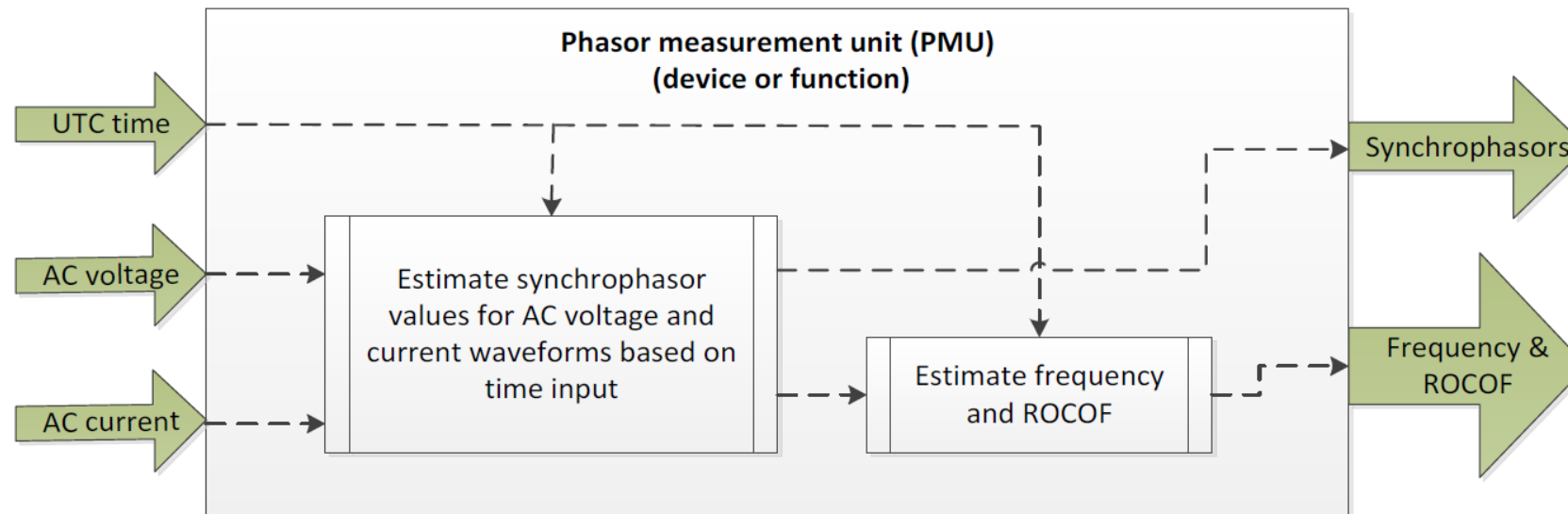


Figure 1 – Input and output quantities

aus IEC-IEEE 60255-118-1_2023

- **60255-118-1-2018 5.1:**

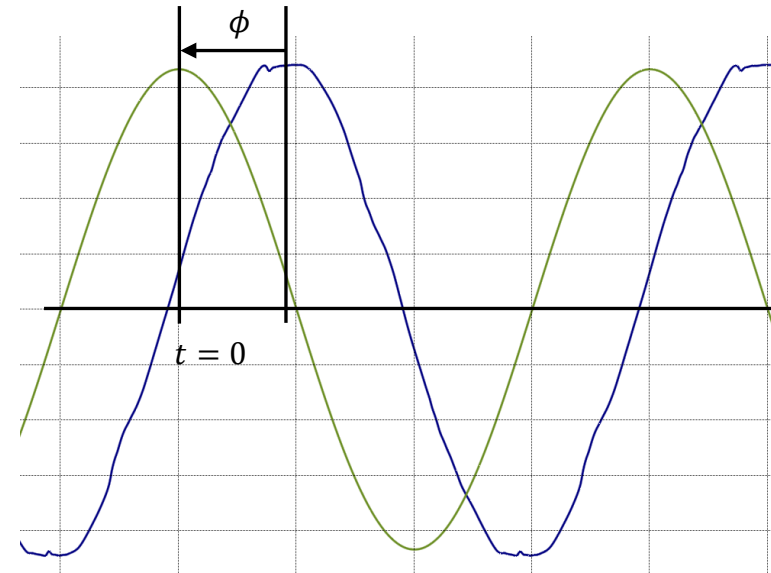
A PMU shall calculate and be capable of reporting **synchrophasor, frequency, and ROCOF** estimates as defined and described in Clause 4. The estimates shall include **single phase or positive sequence synchrophasors, or both.**

- Amplitude und Winkel in Bezug zu **synchroner Referenz**

- $X(t) = \frac{X_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\phi(t)}$

- $\phi(t) = \theta(t) - 2\pi f_0 t$

- Referenz: $\cos(2\pi f_0 t) \rightarrow t$: UTC



- 6.3 Stationäre Anforderungen

- Total Vector Error (TVE)

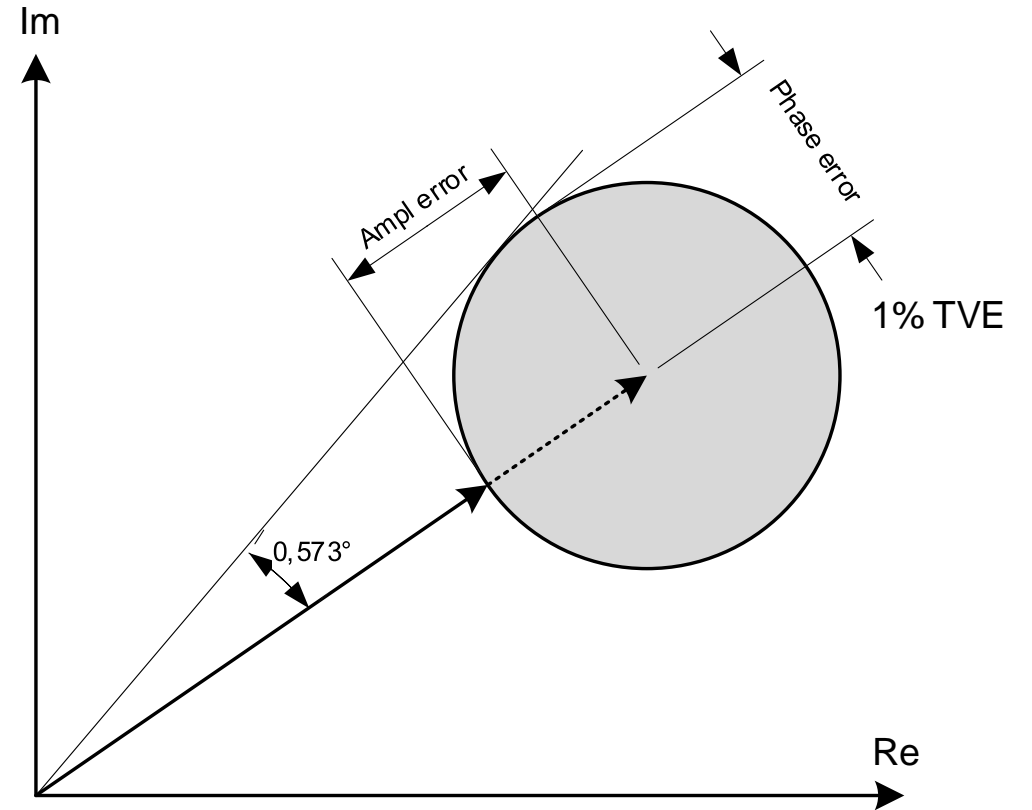
$$TVE(n) = \sqrt{\frac{(\hat{X}_r(n) - X_r(n))^2 + (\hat{X}_i(n) - X_i(n))^2}{(X_r(n) + X_i(n))^2}}$$

- 1% TVE

 - 0.57° → ± 31 μs @50 Hz

- FE: 0,005 Hz

- RFE: 0,4 Hz/s

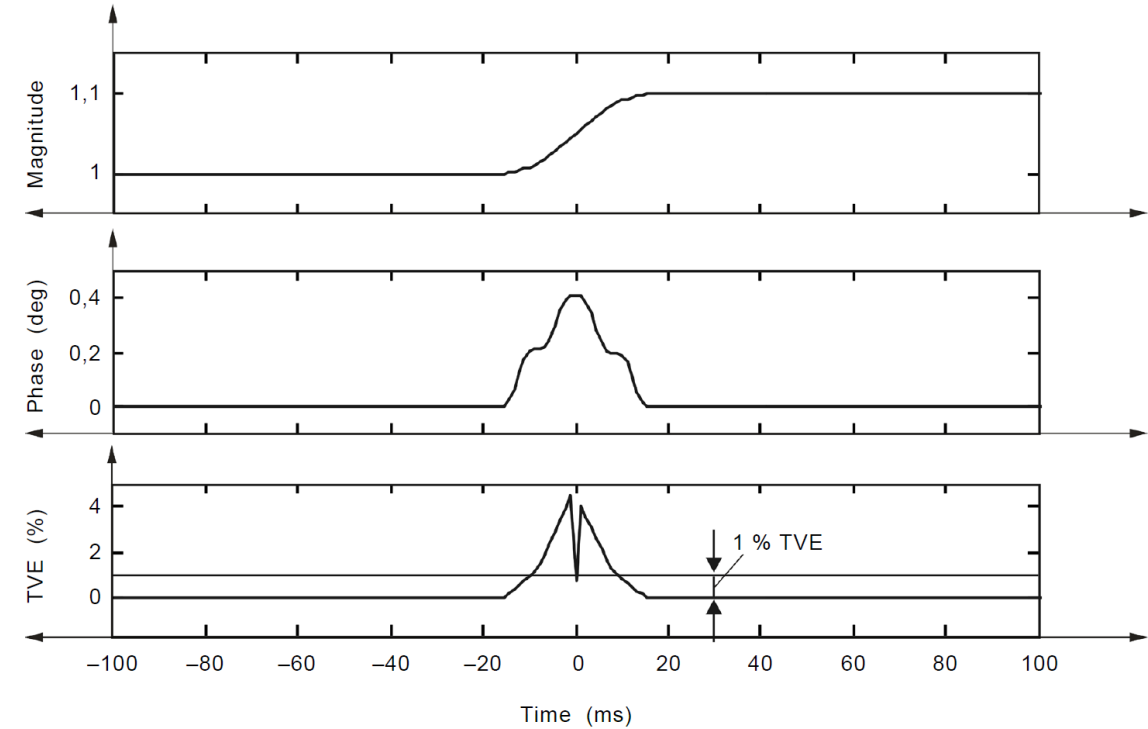


aus IEC-IEEE 60255-118-1_2023

- **6.4 Bandbreite:**
 - Amplitudenmodulation (10%)
 - Phasenmodulation (10%)
 - TVE, FE, RFE

- **6.5 Frequenzrampe (1 Hz/s)**
 - TVE, FE, RFE

- **6.6 Step Changes:**
 - Amplitudensprung ($\pm 10\%$)
 - Phasensprung ($\pm 10^\circ$)
 - Response Time, Delay Time, Over-/Undershoot

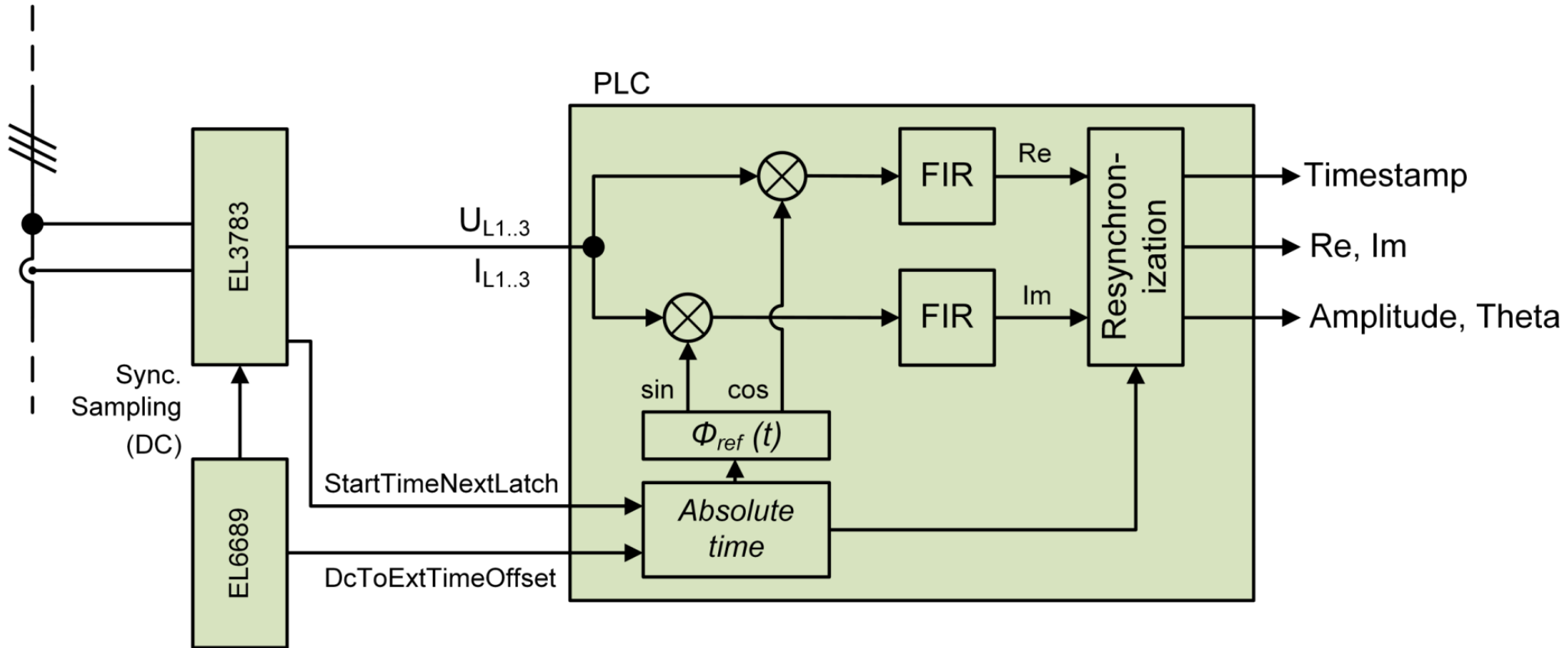


NOTE 10 % step, P class algorithm.

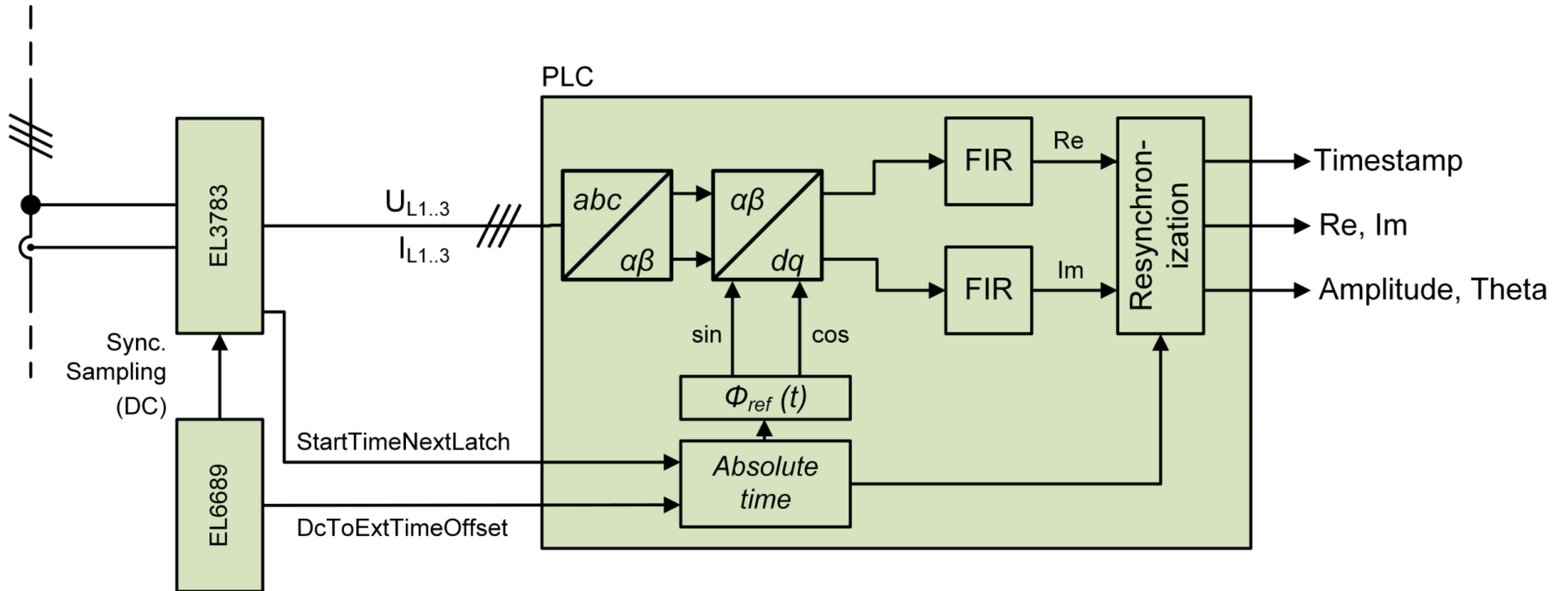
Figure A.4 – Magnitude step test example

aus IEC-IEEE 60255-118-1_2023

- Referenzimplementierung Phasor (single phase)

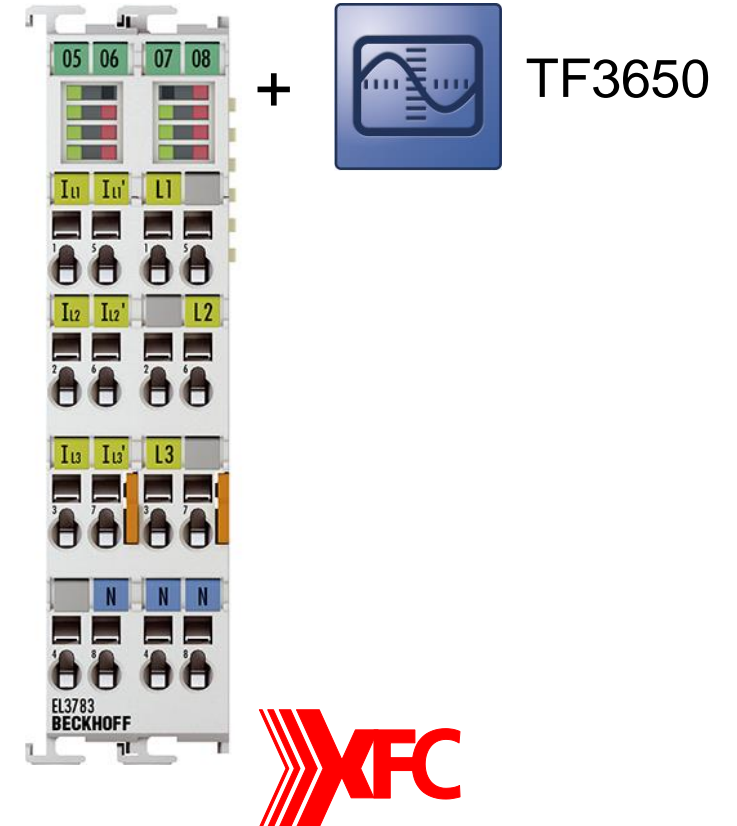


- Angepasste 3-phasige Referenzimplementierung Positive Sequence



1. Phasor Measurement Unit (PMU)
2. **Aufbau mit Beckhoff Komponenten**
3. Speicherung und Analyse mit Open Source
4. Demonstration Dashboard

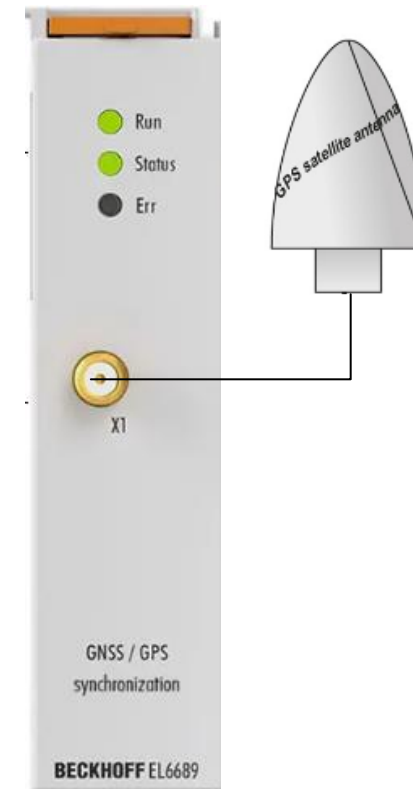
- Gleichzeitige Messung von U/I 3-Phasen nach dem Over-Sampling-Prinzip mit einer zeitlichen Auflösung von 50 μ s
- 400/690 Veff und bis zu 1 A/5 Aeff
- Erweiterter Bereich 130 % für U/I
- Einstellbare auch automatische Umschaltung des Strommessbereichs 1A/5A
- Klemme liefert synchronisierten Zeitstempel pro Messwert
- TF3650 | TC3 Power Monitoring Bibliothek zur PQ Analyse
- www.beckhoff.de/EL3783



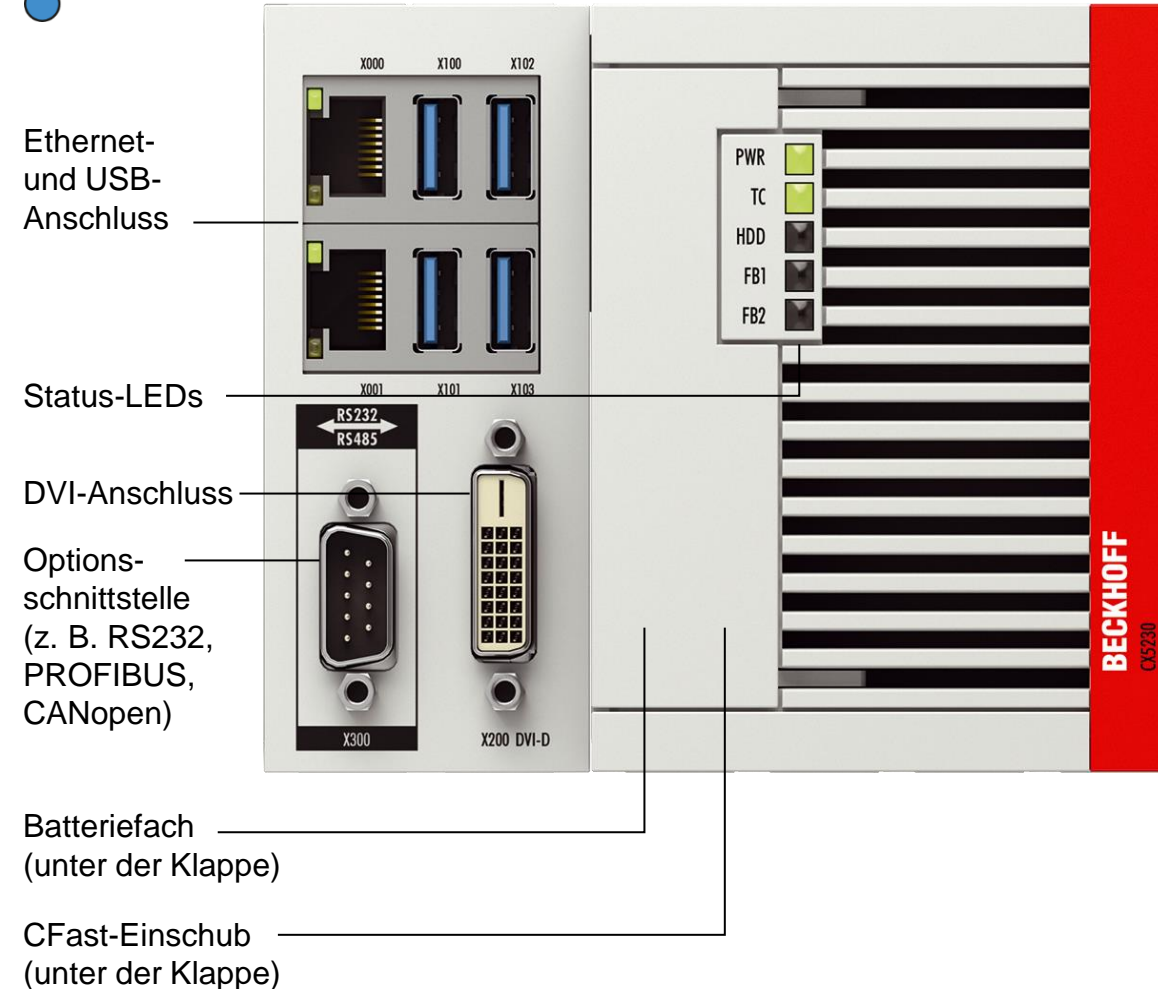
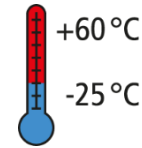
- Anbindung an das Global Navigation Satellite System (GNSS).
- Unterstützte Satelliten: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou.
- in TwinCAT als Referenzuhr nutzbar.
- Synchronisiert Distributed Clock (DC) mit 100ns.
- Liefert DC-Offset, UTC-Zeit und GPS-Daten.
- Klemme noch im Beta Status.

- Mit dieser Klemme lassen sich für beliebig viele, räumlich voneinander getrennte, EtherCAT-Systeme eine einheitliche hochgenaue Zeitbasis schaffen.

- Anwendungsbeispiele:
 - verteilte Messtechnik.
 - Turbinen eines Windparks ohne EtherCAT.
 - PMU zur Erfassung des Lastflusses im europaweiten Netz.



- **CX5230:** Intel-Atom®-CPU, 1,3 GHz, 2 Cores, 4 GB DDR4-RAM
- **CX5240:** Intel-Atom®-CPU, 1,6 GHz, 4 Cores, 8 GB DDR4-RAM
- Einschub für CFast-Karte und MicroSD-Karte
- 1-Sekunden-USV integriert (1 MB auf CFast-Karte)
- 2 x RJ45 10/100/1000 MBit/s, 1 x DVI-D, 4 x USB 3.0, 1 x Optionsschnittstelle
- Diagnose-LEDs: 1 x Power, 1 x TC-Status, 1 x Flash-Zugriff, 2 x Bus-Status



Controller:

- Devices: CX52x0, CX56x0,...
- OS: TwinCAT/BSD, Windows 10 IoT Enterprise 2021

EL3783:

- U/I Rohwerte 20kHz, 0.2%, DC-Latch (100ns)

EL6689:

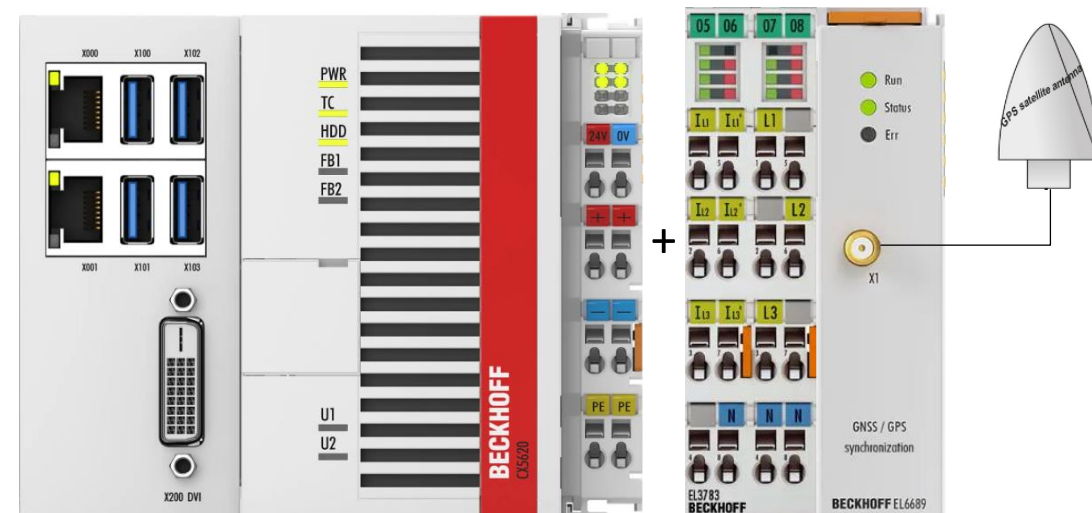
- Synchronisiert EtherCAT Distributed Time auf 100ns
- DC-Offset, UTC-Time, Leap-Seconds, GPS-Koordinaten

Kommunikation:

- ADS, MQTT, HTTP/REST, Modbus TCP, ...
- IEC60870, IEC61850

Storage:

- Local Storage mit JSON, HTTP/REST, InfluxDB V1
- Cloud Storage mit MQTT, InfluxDB V2



Funktionalität:

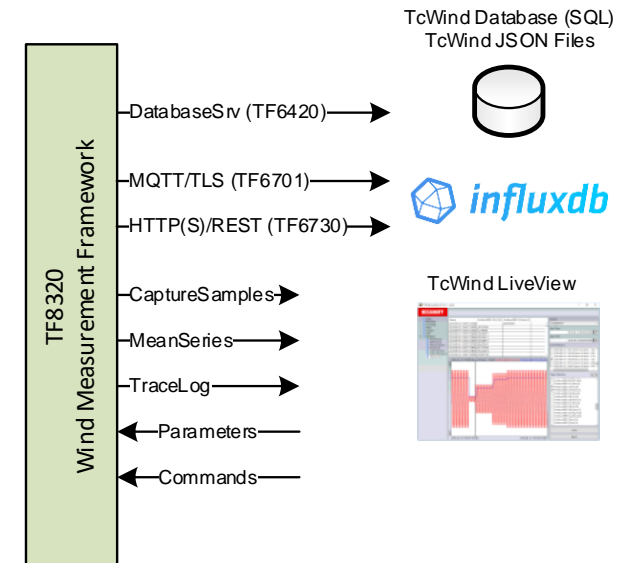
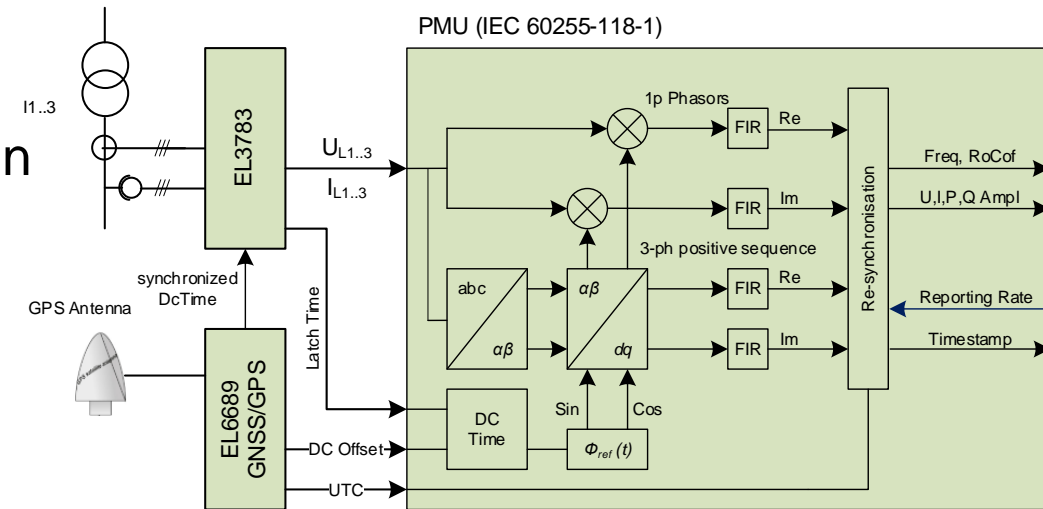
- PMU nach IEC 60255-118-1
- Zeitsynchronisation mit 100ns, UTC-Zeit und GPS-Daten
- Zeitlich synchronisierter Netzwinkel
- Aufnahme Strom und Spannung 3-ph mit 20 kHz, 0.2%
- Reporting Rate 100Hz

Einsatz von TwinCAT Target für Simulink

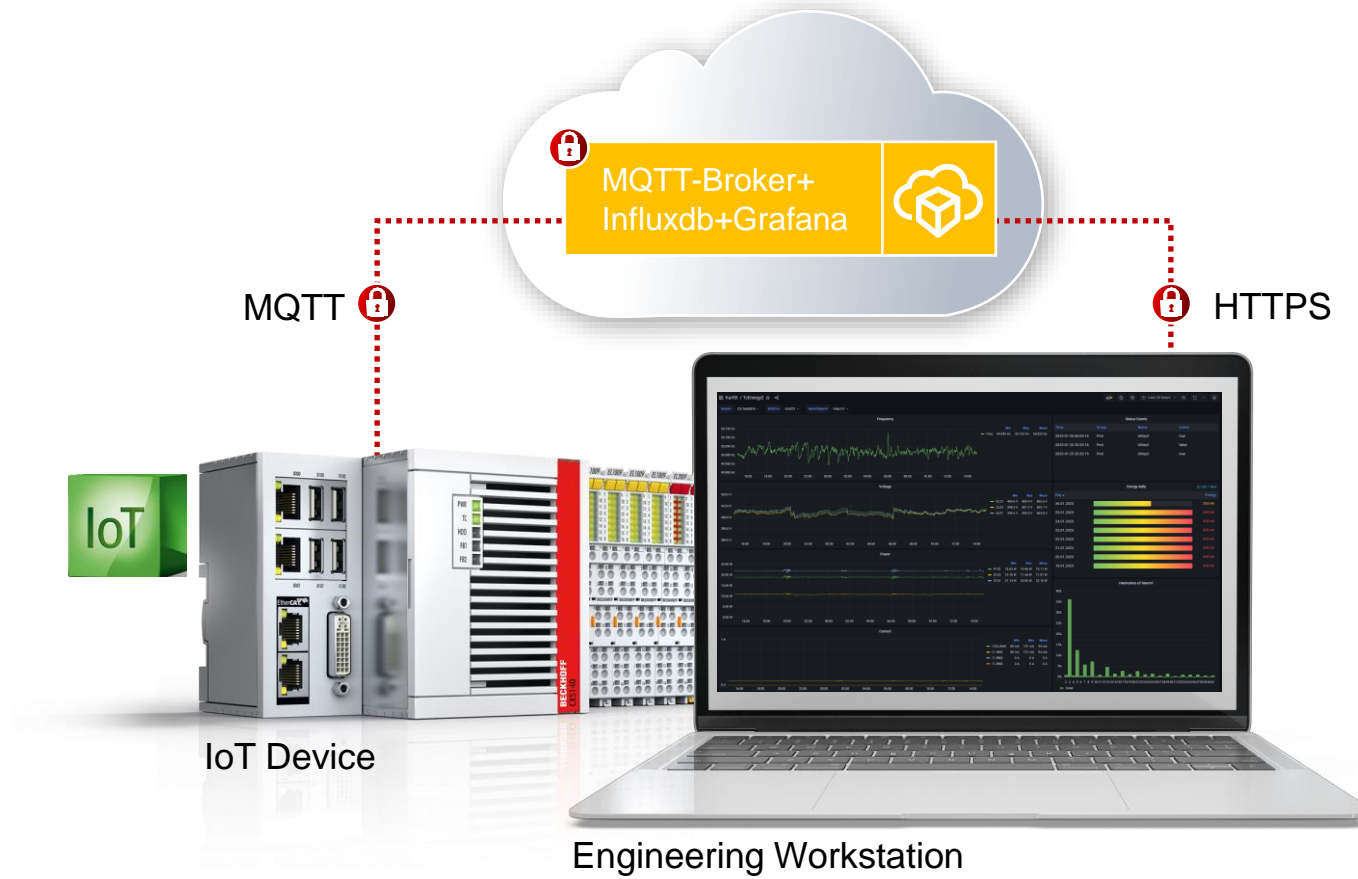
- PMU als TcCom Objekt (C++ Code)
- Automatische Codegenerierung
- In Simulink Simulation von Netzfehlern mit Verbesserung der dynamischen PMU-Eigenschaften.

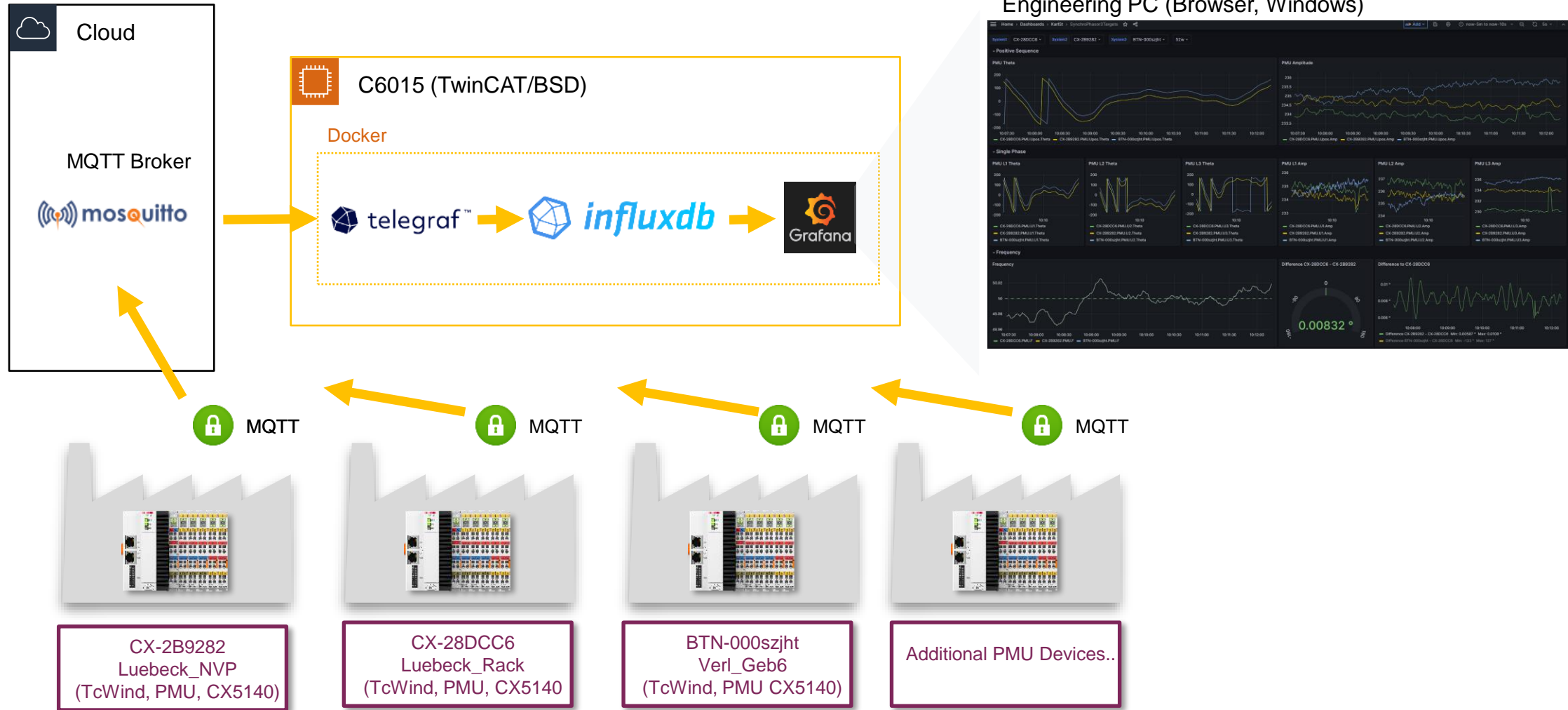
TF8320:

- TF8320 Wind Measurement Framework sendet mit MQTT über Broker zu einer InfluxDB Datenbank



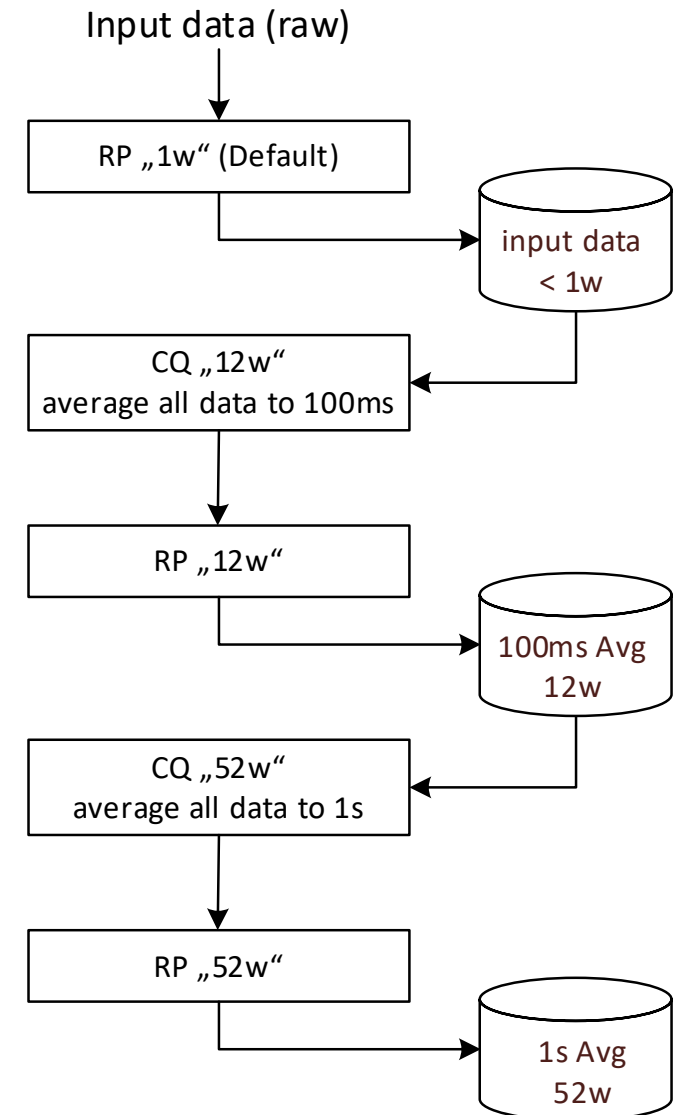
1. Phasor Measurement Unit (PMU)
2. Aufbau mit Beckhoff Komponenten
3. **Speicherung und Analyse mit Open Source**
4. Demonstration Dashboard





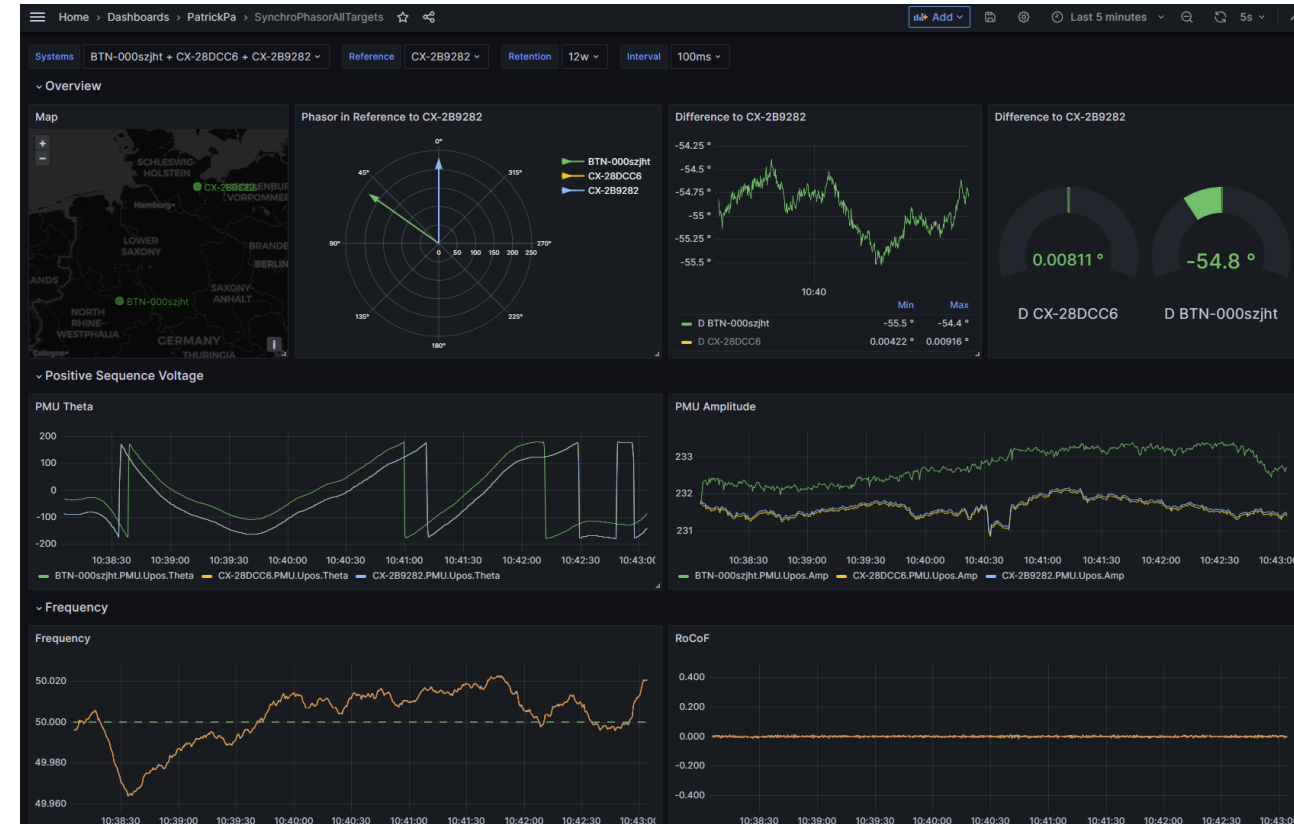
▪ InfluxDB

- Retention Policies (RP):
 - 1w (10ms)
 - 12w (100ms)
 - 52w (1s, 1m, 1h)
- Continuous Queries (CQ):
 - Zyklisches downsampling (Mittelwerte)



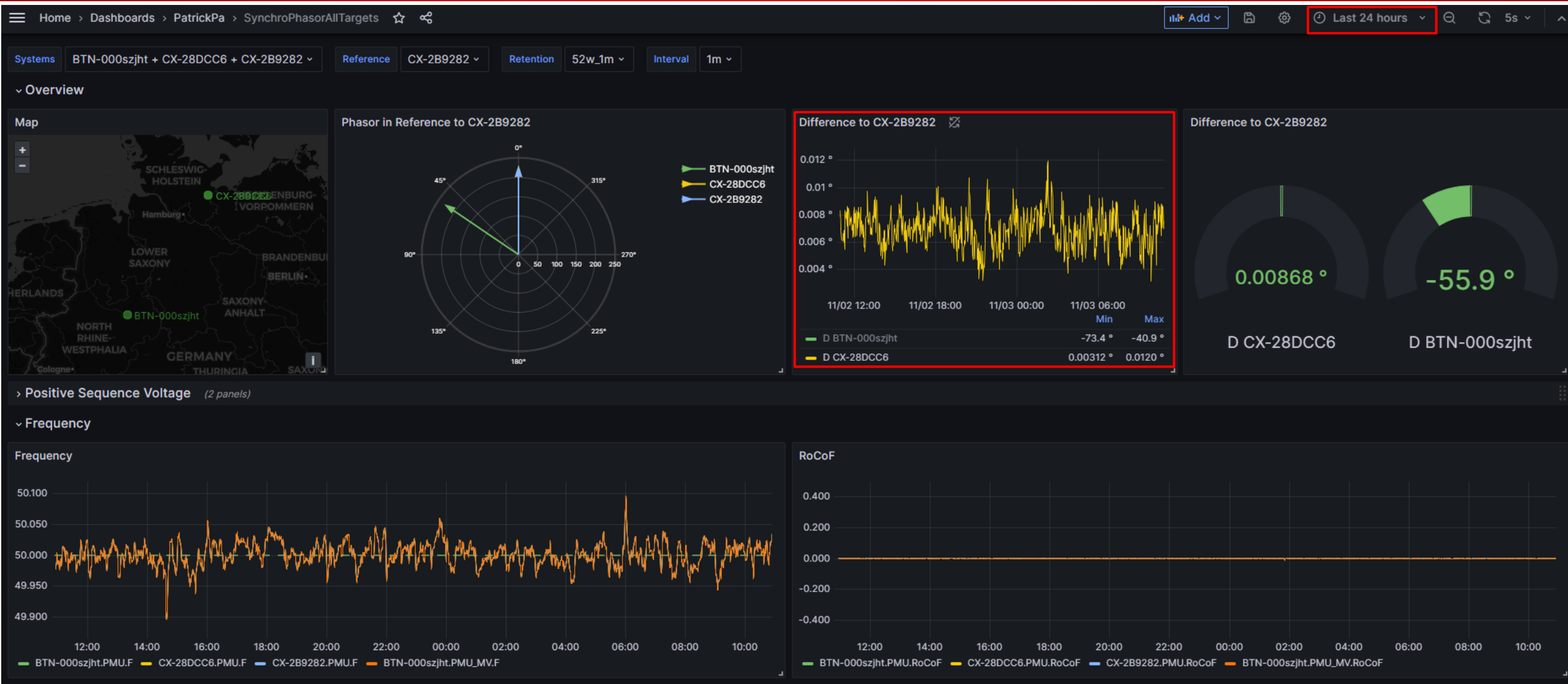
- C6015 TwinCAT/BSD, Standort Büro Lübeck
- System(e) auswählen
- Referenzsystem wählen
- Zeitraum auswählen
- ✓ Auflösung passt sich automatisch an:
10ms, 100ms, 1s, 1m, 1h

■ [Online Dashboard](#)



Phasor Measurement Unit | Grafana Dashboard | Winkeldifferenz

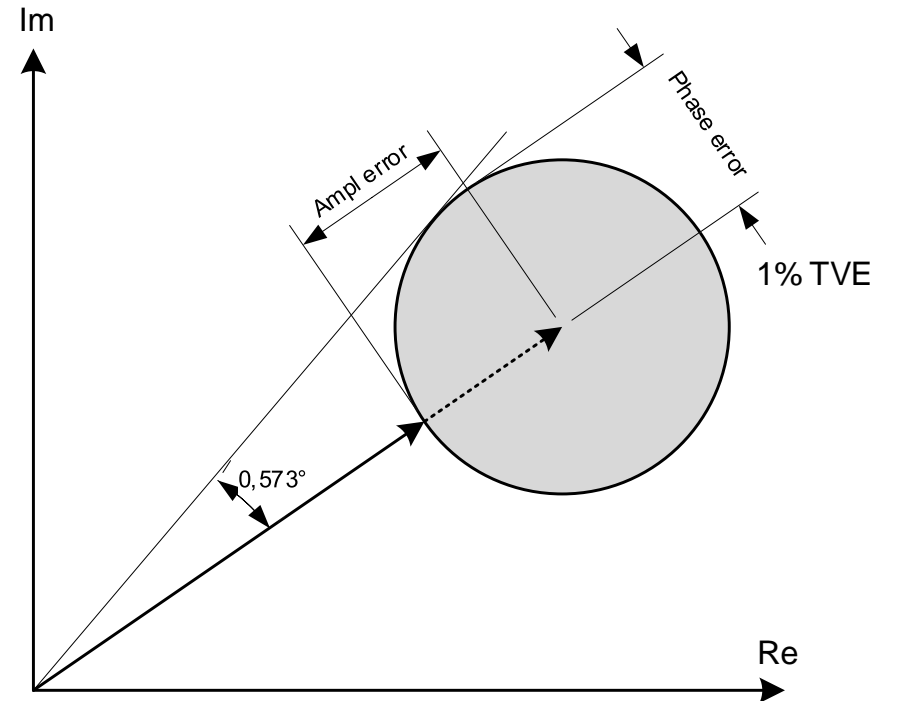
BECKHOFF



- Winkeldifferenz mit 10ms Sample Rate zwischen zwei Systemen in Lübeck 24h



Max 0,012° → 555 ns @50Hz über 24h



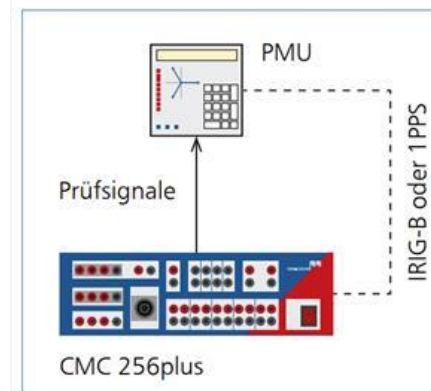
- PMU IEC 60255-118-1-2018 fordert 1% TVE was 0.57° entspricht

- Validierung der PMU mit OMICRON CMC 256 Plus
- Testen der Softwarefunktionen durch gemeinsame Zeitbasis IEEE 1588/PTP (EL6688).
- Testen der Hardware durch unabhängige Zeitbasis für OMICRON (CMGPS 588) und PMU (EL6689).

Prüfen von Phasor Measurement Units

Klassische Schutzgeräte dienen dem Schutz einzelner Betriebsmittel wie Generatoren, Transformatoren, Leitungen oder Sammelschienen. Dafür reichen meist lokale Messwerte aus. Netzleitsysteme mit einer systemweiten Sicht auf die Vorgänge im Netz benötigen dagegen zur Sicherstellung der Netzstabilität dynamische Informationen über Leistungsflüsse und die Phasenlagen der elektrischen Größen an verschiedenen Netzknoten. Diese Messdaten können von Phasor Measurement Units (PMU) geliefert werden und eröffnen der Netzführung unter dem Stichwort Wide Area Monitoring Protection & Control (WAMPC) neue Anwendungsgebiete.

Die Prüfung von PMUs stellt hohe Anforderungen an die Amplituden- und Phasengenauigkeit eines Prüfgeräts, die durch den



Total Vector Error (TVE) beschrieben werden. Eine weitere Voraussetzung ist die Synchronität von Signalquelle und PMU, die durch Zeitsynchronisation über GPS oder IRIG-B erzielt wird. Über GPS- oder IRIG-B-Zusatzgeräte kann beim Prüfen mit einem CMC-Prüfgerät eine Synchronität

mit einer typischen Abweichung von $1 \mu\text{s}$ erreicht werden. Die Prüfsignale sind dabei nicht nur zum Startzeitpunkt einer Prüfung (Trigger) synchron, sondern werden kontinuierlich gegenüber der Zeitreferenz nachgeführt.

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Unternehmenszentrale
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland

Telefon: +49 5246 963-0
E-Mail: info@beckhoff.com
Web: www.beckhoff.com

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Alle Bilder sind urheberrechtlich geschützt. Die Weitergabe und Nutzung durch Dritte ist nicht gestattet.

Beckhoff®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TC/BSD®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® und XPlanar® sind eingetragene und lizenzierte Marken der Beckhoff Automation GmbH. Die Verwendung anderer in dieser Dokumentation enthaltenen Marken oder Kennzeichen durch Dritte kann zu einer Verletzung von Rechten der Inhaber der entsprechenden Kennzeichen führen.

Die Informationen in dieser Präsentation enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden.