

# Überwachung, Datenerfassung und Visualisierung der Energieversorgung des Fusionsexperiments

A. Sigalov, N. Arden, H. Eixenberger, L. Giannone, C.-P. Käsemann, M. Schandrul, K.-H. Schuhbeck, G. Sellmair, B. Sieglin, W. Suttrop, M. Rott, W. Treutterer und das ASDEX Upgrade Team Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstraße 2, 85748 Garching, Deutschland

W. Zwick National Instruments, Ganghoferstraße 70b, 80339 München

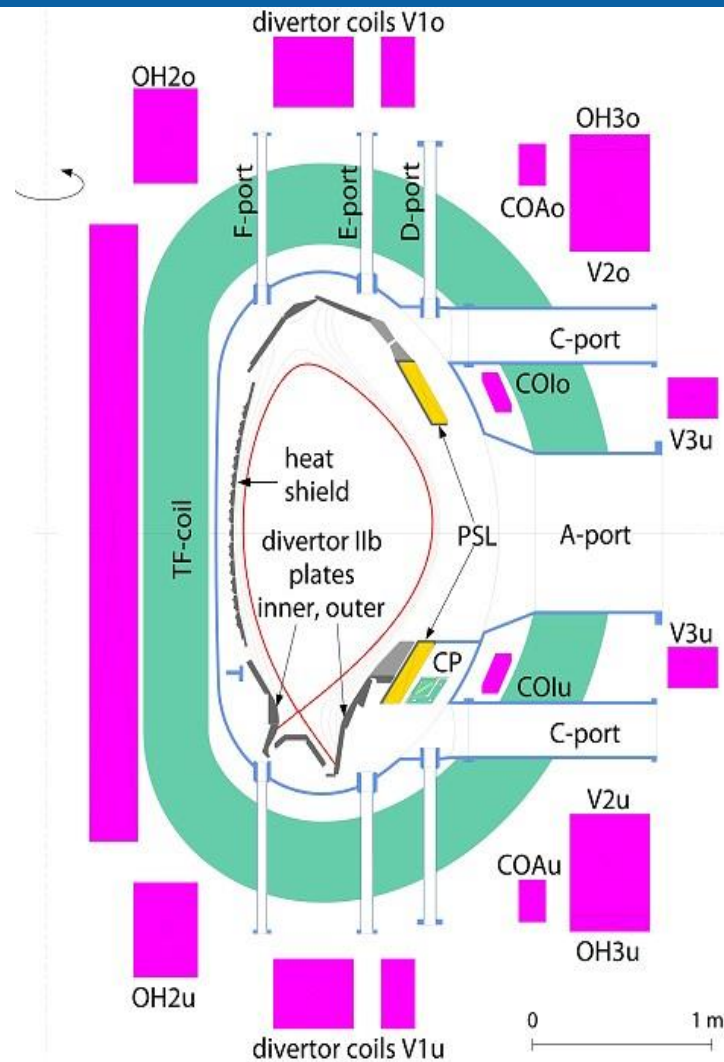


# Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

- 1960 in Garching gegründet.
- 700 Mitarbeiter
- Tokamak ASDEX Upgrade ("Axialsymmetrisches Divertor-Experiment,,) ist seit 1991 in Betrieb
- Kernfragen der Fusionsforschung

# Tokamak ASDEX Upgrade

- Technische Daten:
  - 16 Hauptfeldspulen
  - 17 Zusatzspulen
  - Volumen 13m<sup>3</sup>
  - Magnetfeld 3,2T
  - Plasmastrom 1,6MA
  - Pulsdauer <10s
- Während einer Plasmaentladung ~1TB Daten

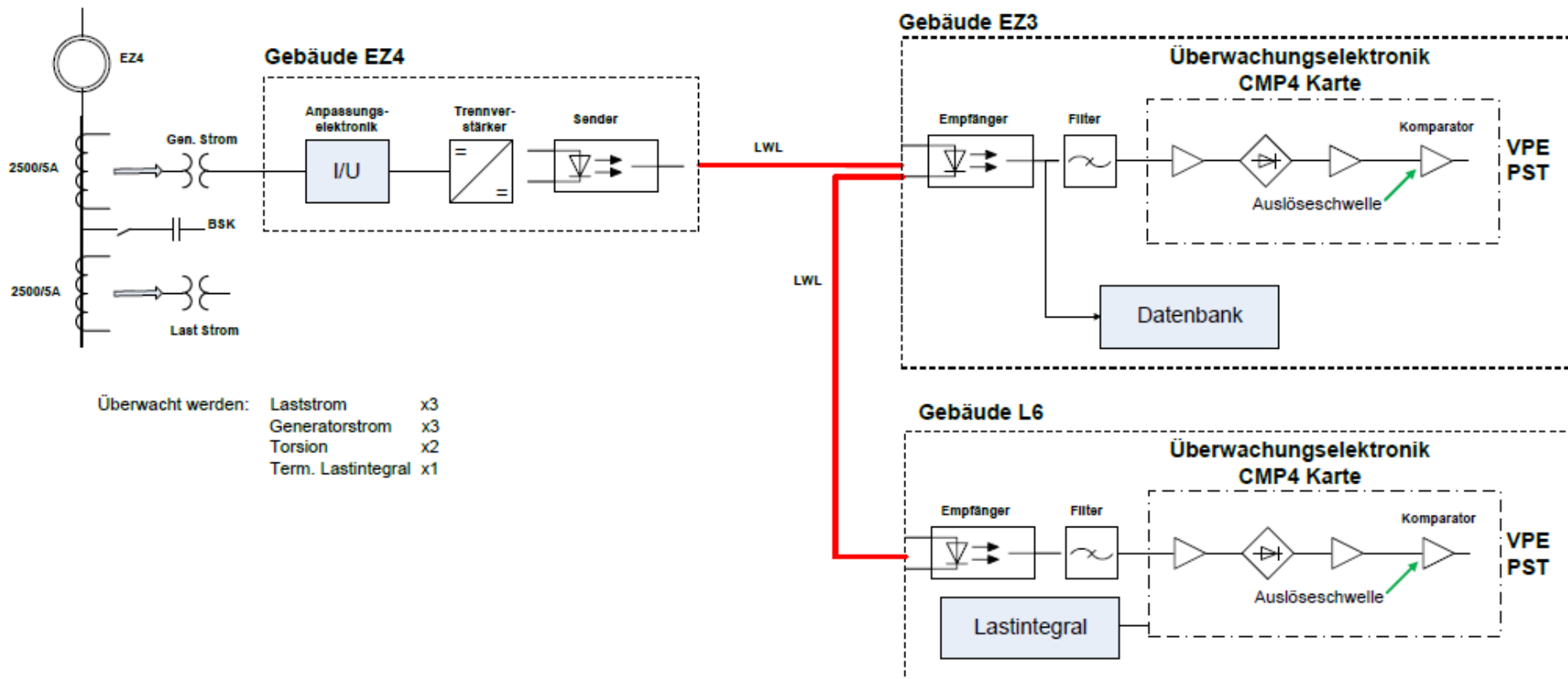


# Experimentelle Stromversorgung

- Gesamte Leistung bis zu 580MVA für 10s
- Drei Schwunggeneratoren EZ2, EZ3, EZ4
- Antriebsleistung bis zu 7,5MW
- Nutzbare Energie 2800MJ
- Schutz der Generatoren und Anlagen

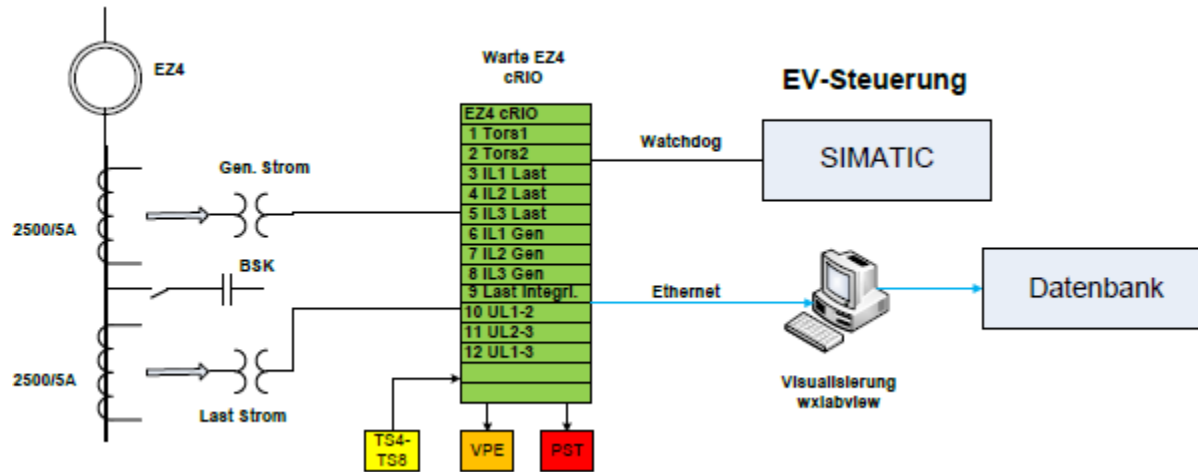


# Ursprüngliche Überwachung und Messdatenerfassung



# Neue Überwachung mit Messdatenerfassung

- Direkte Strom- und Spannungsmessung
- Filterung, Berechnung und Überwachung in FPGA
- Übergeordnete Steuerung kontrolliert über Watchdog die Funktionsfähigkeit
- Daten werden gespeichert und online visualisiert



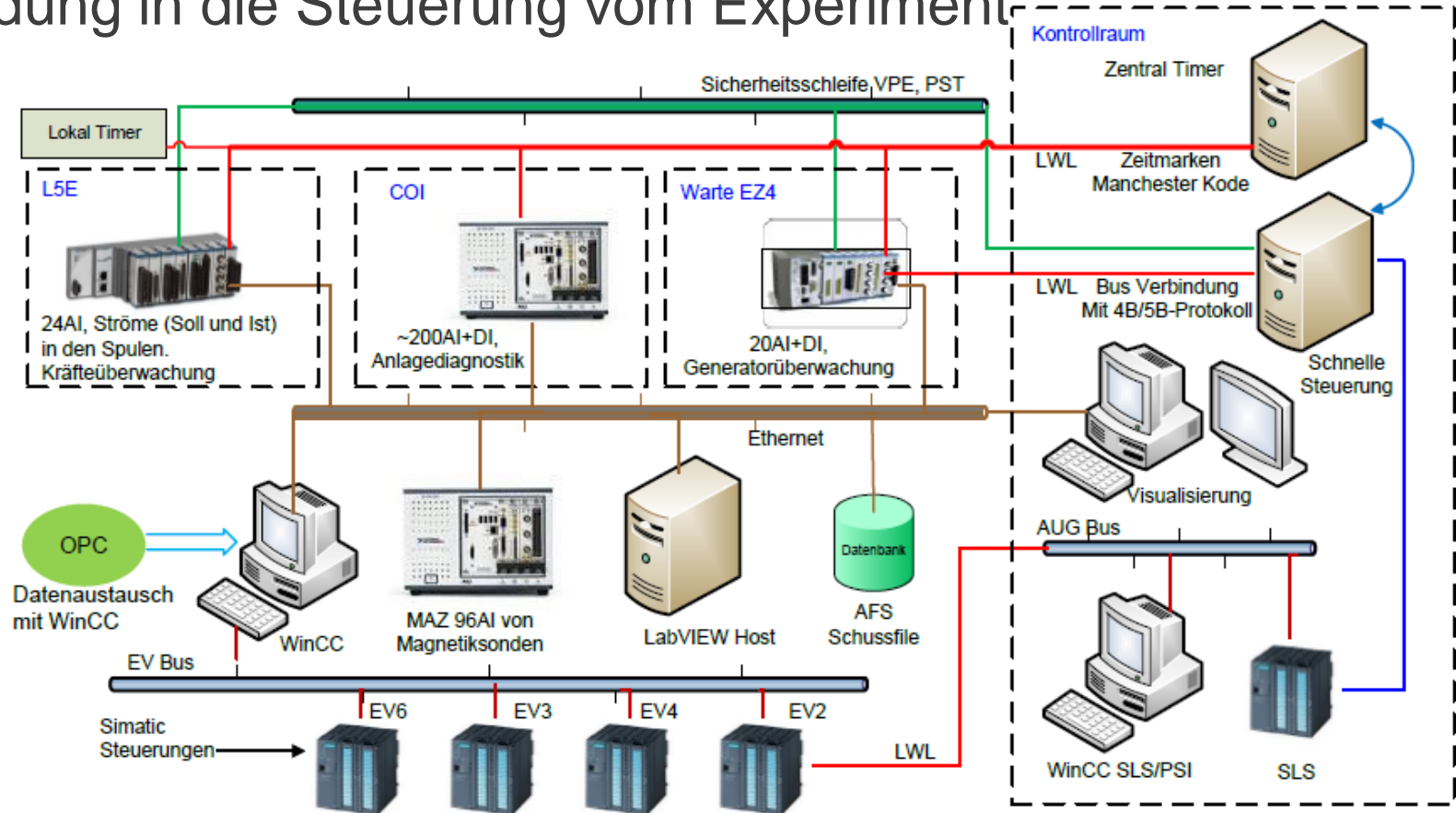
# Neue Überwachung

- Stromgrenze Auslösung





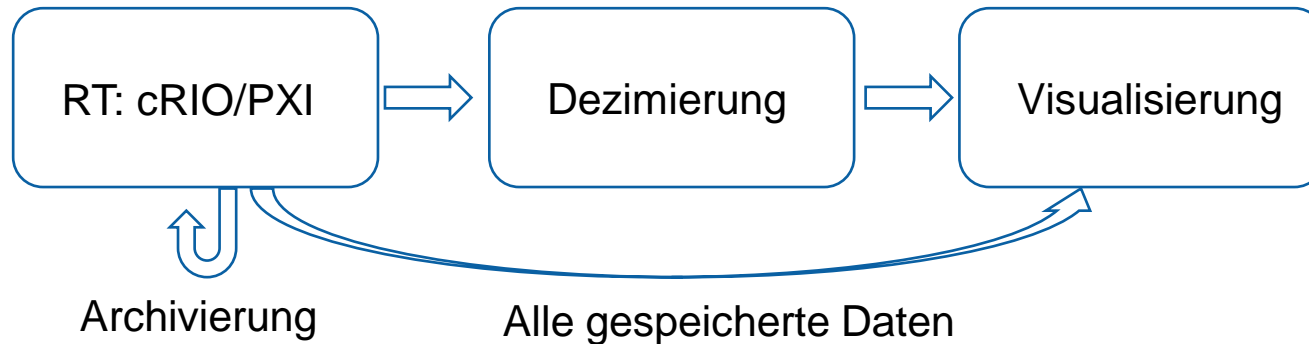
# Einbindung in die Steuerung vom Experiment



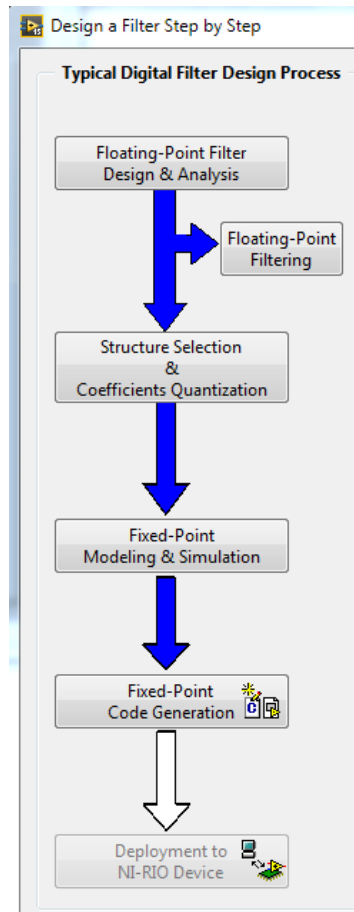
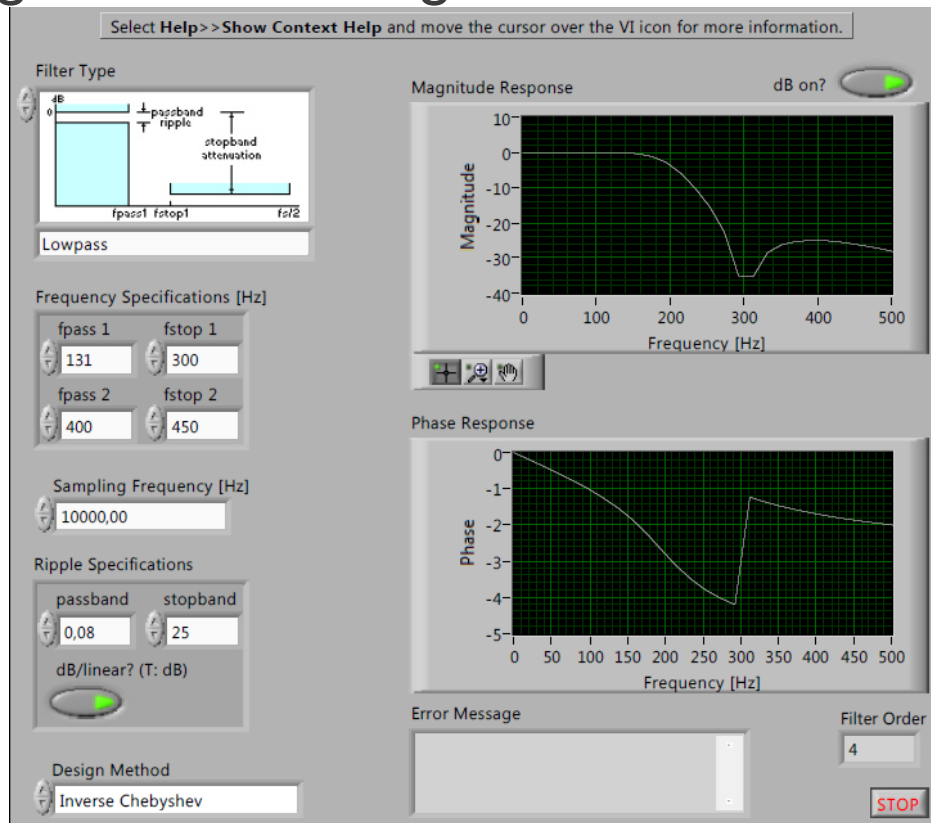


# Aufgabenverteilung in der Hardware

- FPGA: Datenerfassung, Filter, Berechnungen, Überwachung, Steuerfunktion, Übertragungsprotokolle
- RT: Schnittstelle zwischen FPGA und UI, Verbindung zu anderen RT und WIN, Datenarchivierung
- WIN: Visualisierung der Messung, Zustandskontrolle, UI



# Digital Filter Design in FPGA



# Berechnung in FPGA

- Stromeffektivwerte
- Wirk- und Blindleistungen in Generator und Last
- Thermische Belastung des Generators
- Kinetische und elektrische (verbrauchte) Energie

$$P = 1/3 * [I_1(U_{1-2} - U_{3-1}) + I_2(U_{2-3} - U_{1-2}) + I_3(U_{3-1} - U_{2-3})]$$

$$Q = 1/\sqrt{3} * [I_1 U_{2-3} + I_2 U_{3-1} + I_3 U_{1-2}]$$

$$E_L = \int_{t_0}^t P_L(t') dt$$

$$E_G = \int_{t_0}^t P_G(t') dt$$

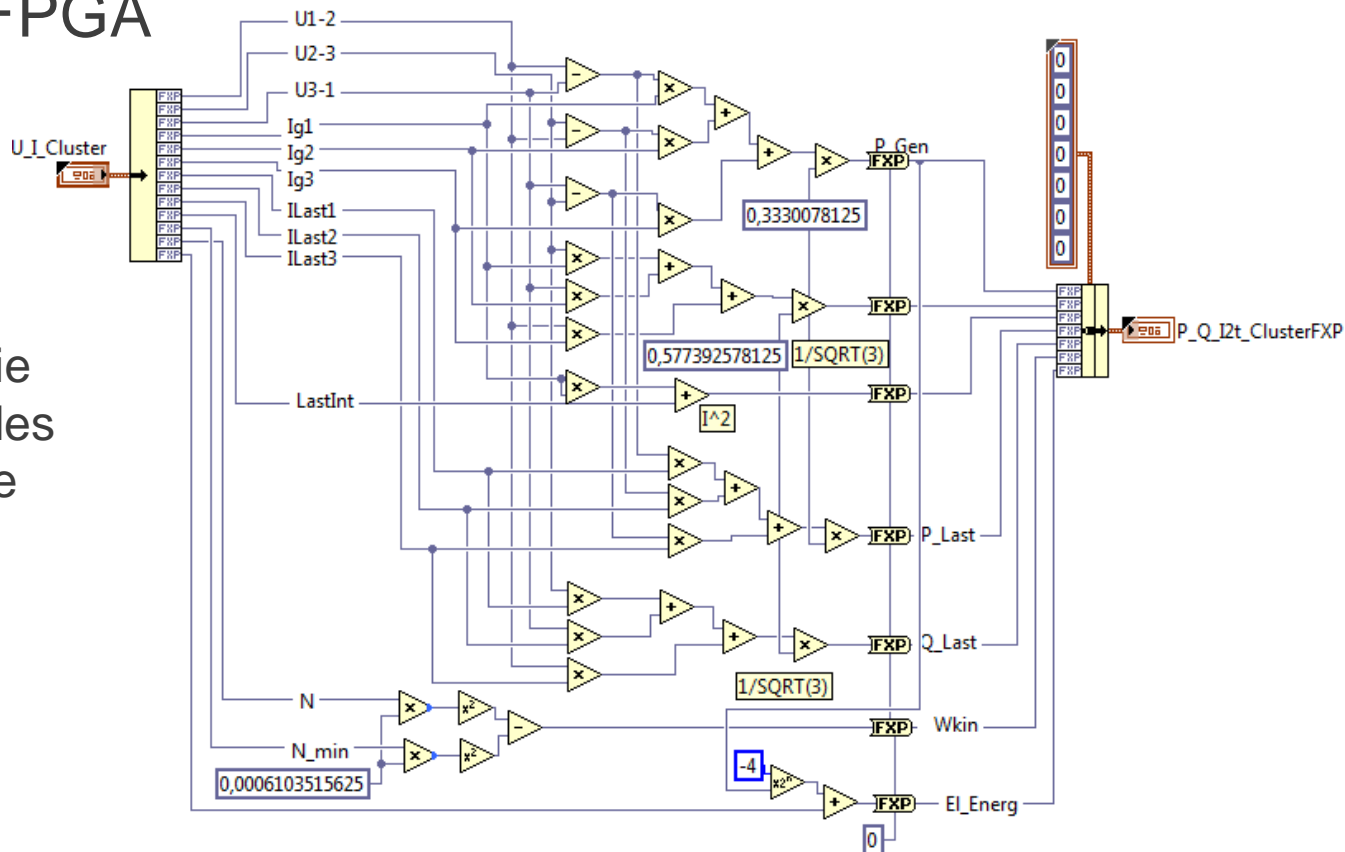
$$I^2 t_{L,i} = \int_{t_0}^t I^2 t_{i,L}(t') dt$$

$$I^2 t_{G,i} = \int_{t_0}^t I^2 t_{i,G}(t') dt;$$

$$W_{\text{kin}} = 1/2 \theta_{\text{tot}} \omega^2 = 1/2 \theta_{\text{tot}} (2\pi f_g / 4)^2 \quad \theta_{\text{tot}} = 109820 \text{ kg m}^2$$

# Berechnung in FPGA

- IP Builder
- Performance und die Geräteauslastung des Algorithmus VI ohne Kompilierung



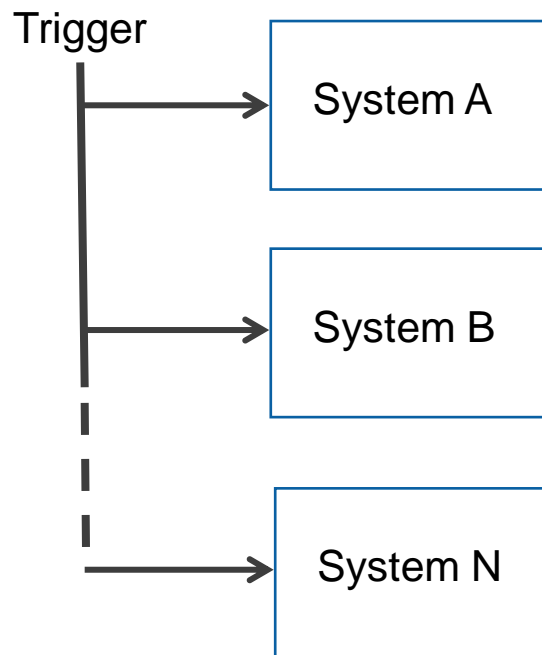
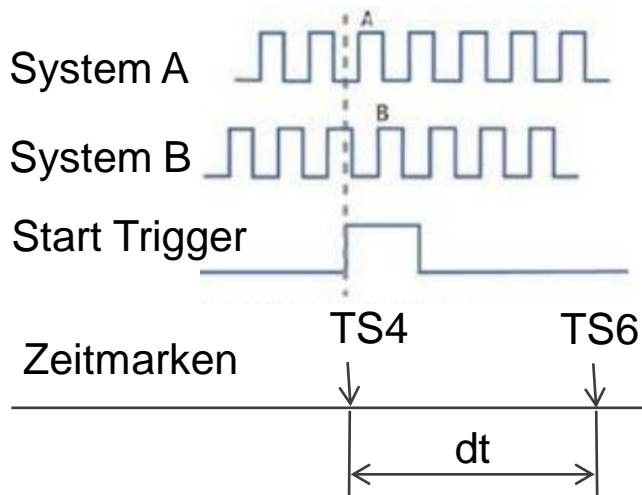
# Übertragungsprotokolle in FPGA

- Direkter Anschluss von LWL zu C-Modul (OPIF bis 20 MHz Fa. IRS)
- 4B/5B Kodierung mit der Synchronisation zwischen Sender und Empfänger (analoge Daten)
- Manchester Kode für Zeitmarken



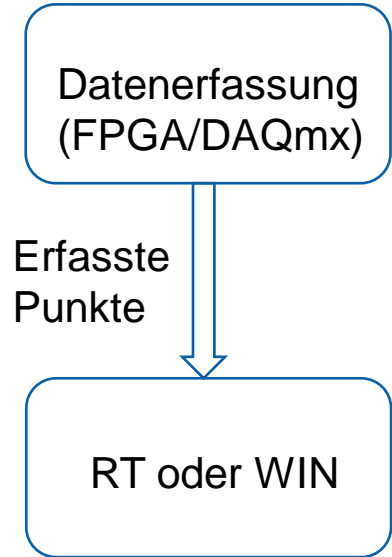
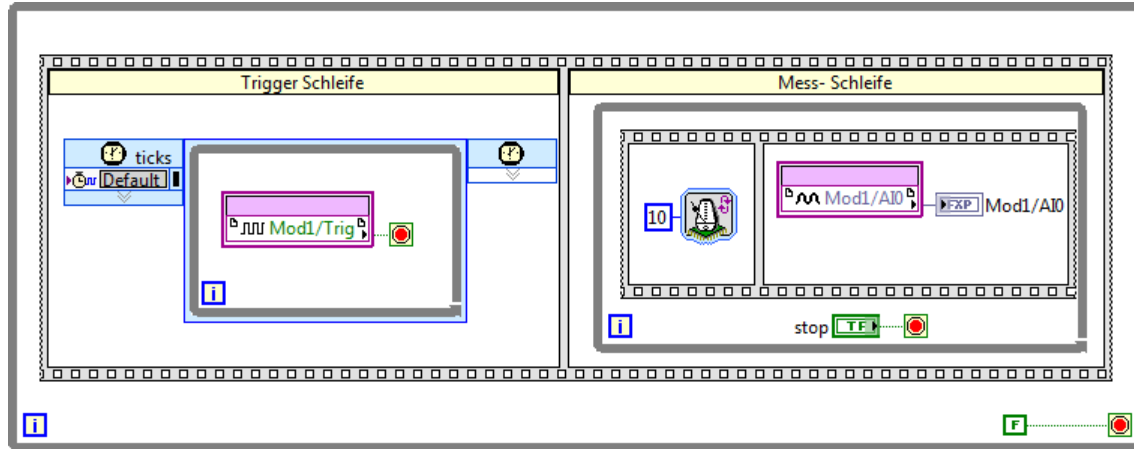
# Synchronisation der Messung in verteilten Systemen

- Gemeinsamer Start Trigger
- Eigene Taktfrequenzen
- Gleiche Abtastrate 10 kHz



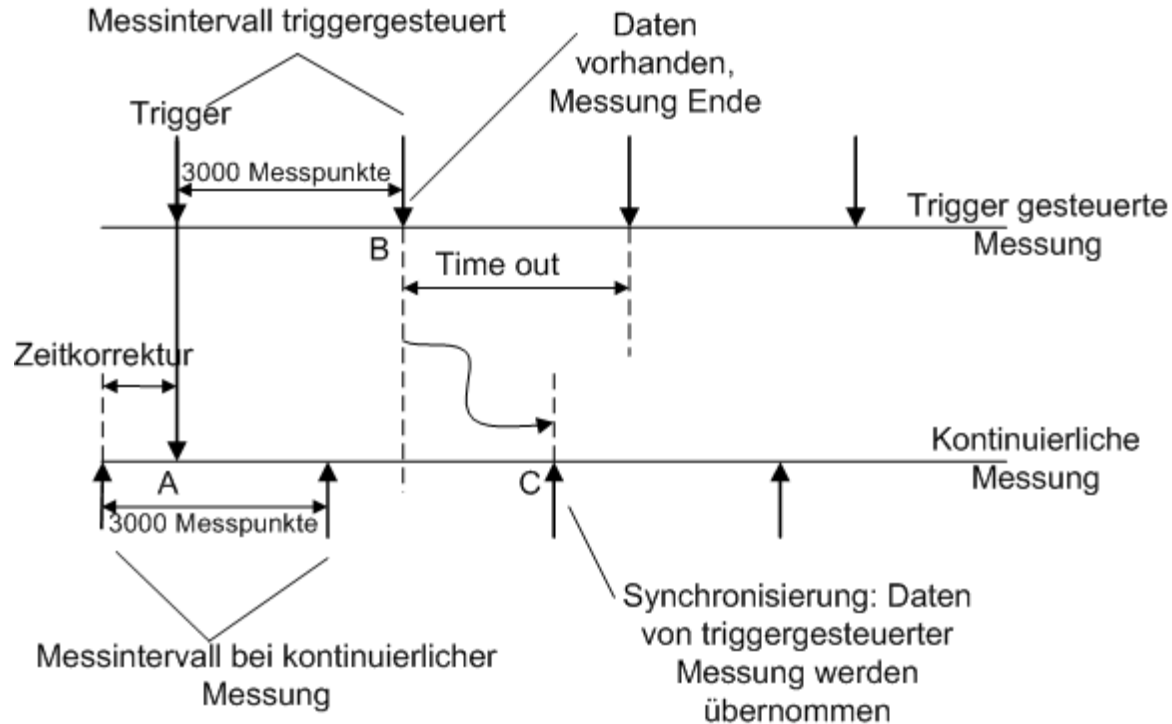
# Synchronisation der Messung in verteilten Systemen

- Trigger gesteuerte Messung
- Kontinuierliche Messung (DAQmx)
- Übertragung der Messung in RT oder Lesen der Daten in DAQmx

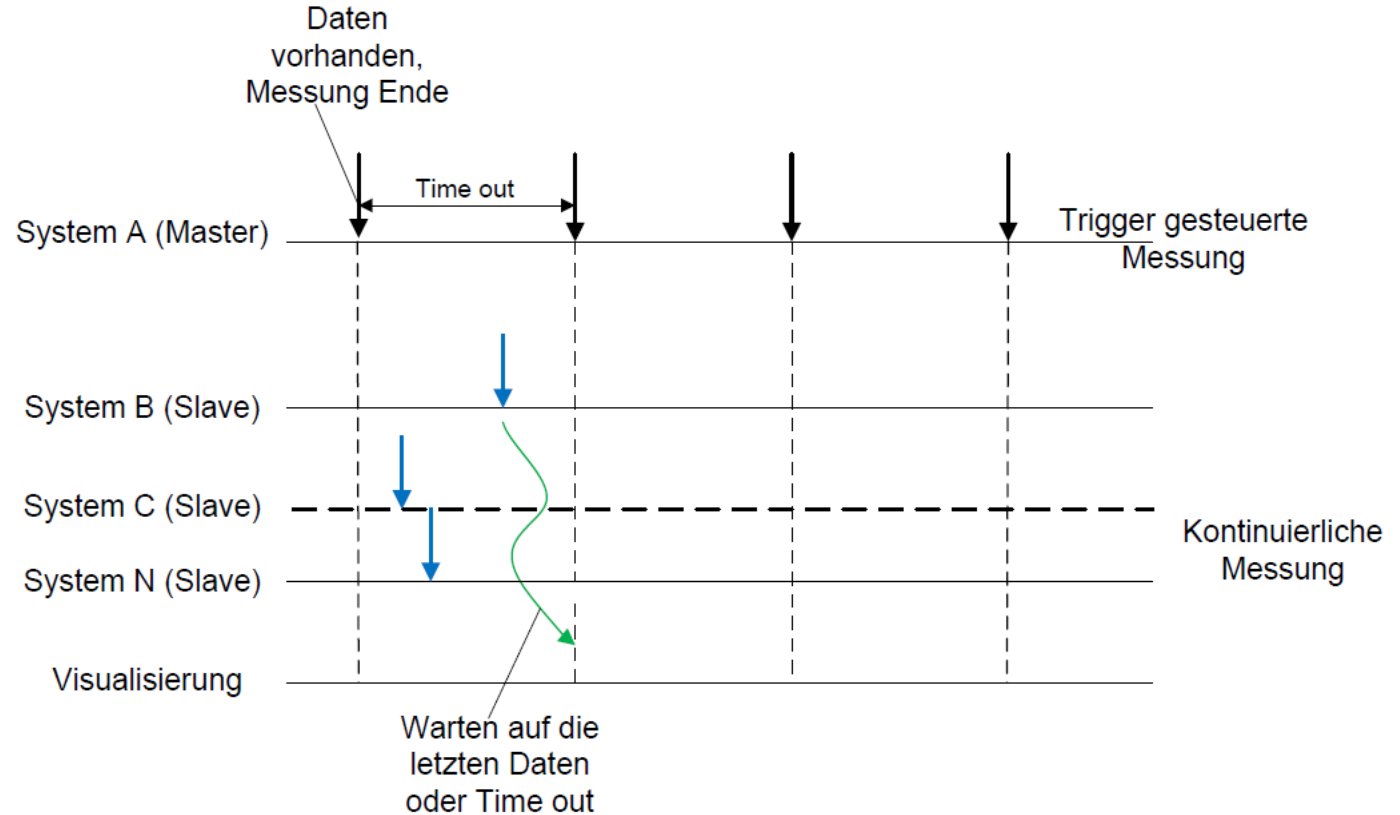




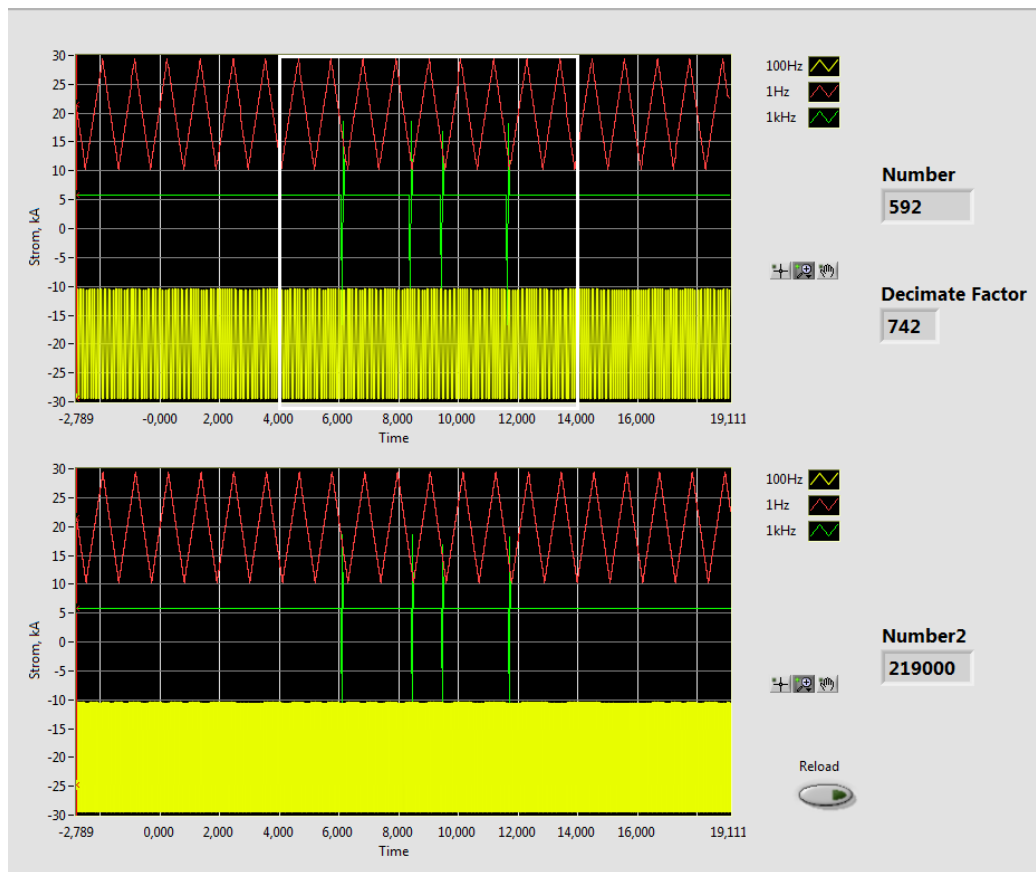
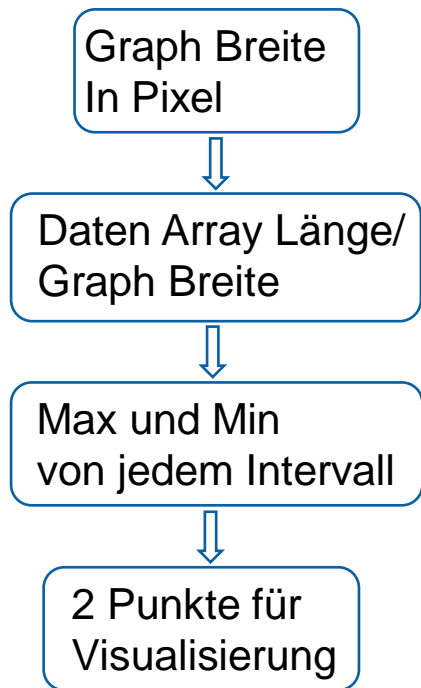
# Synchronisation der Messung in verteilten Systemen



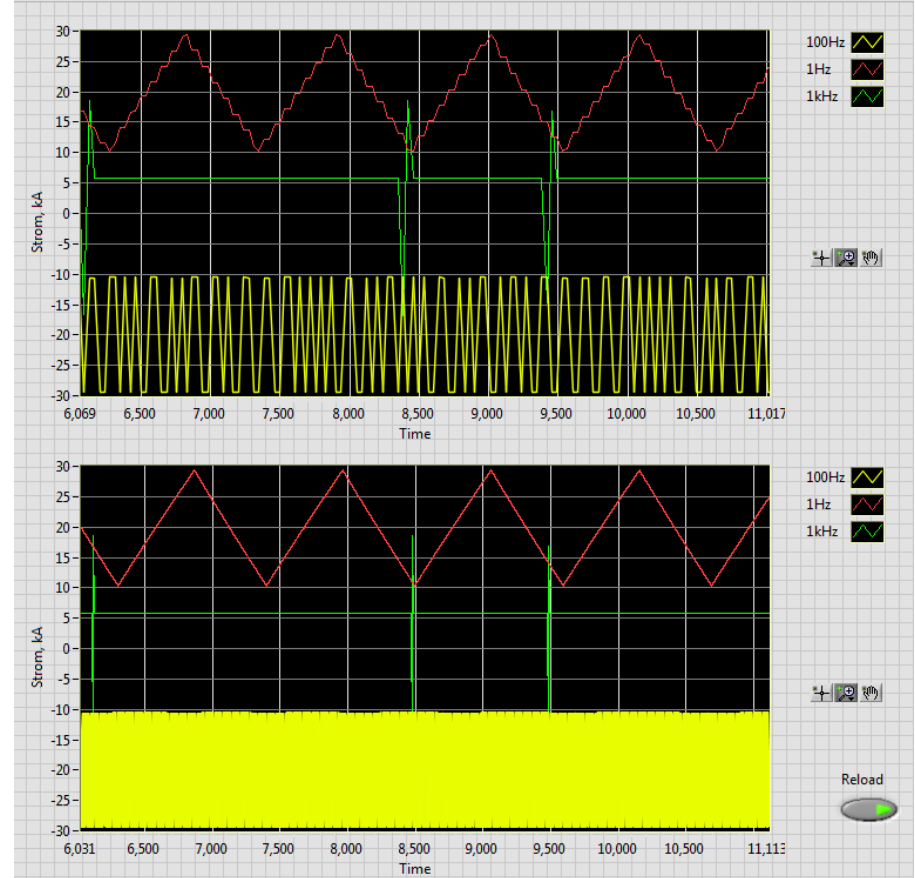
# Synchronisation der Messung in verteilten Systemen



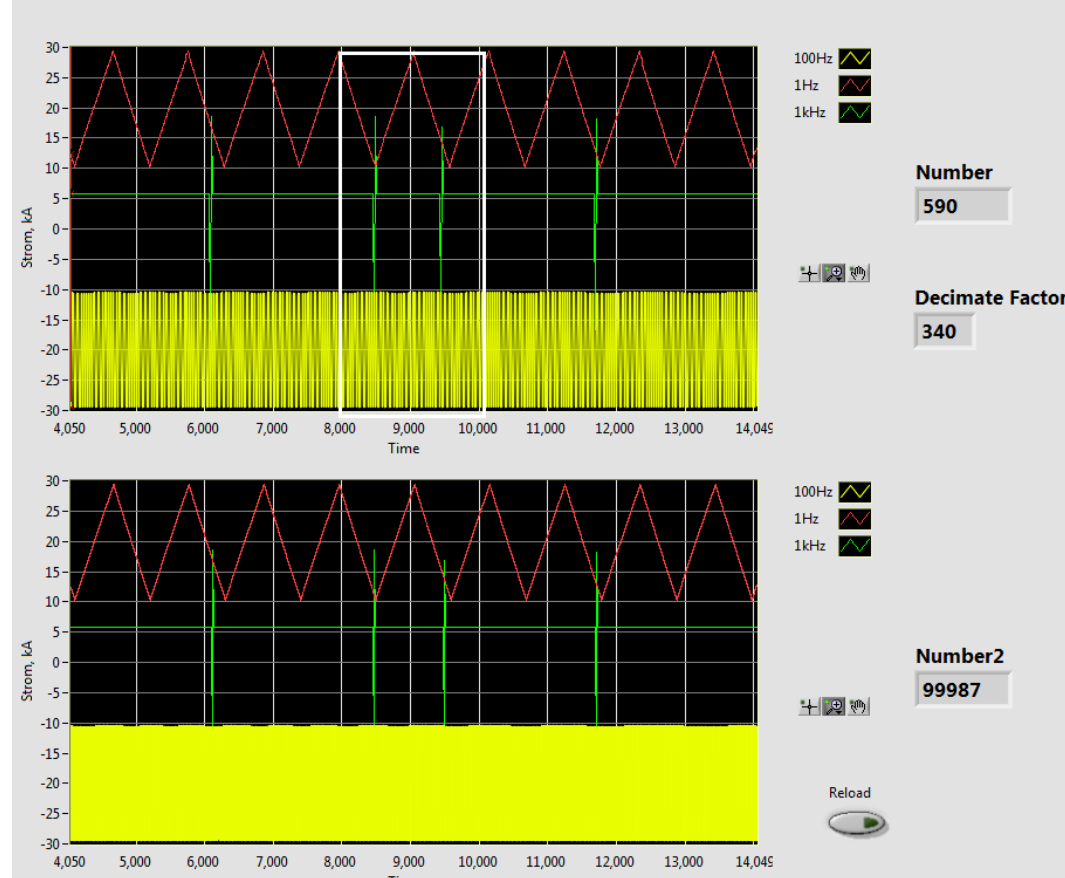
# Max-Min-Dezimation Verfahren



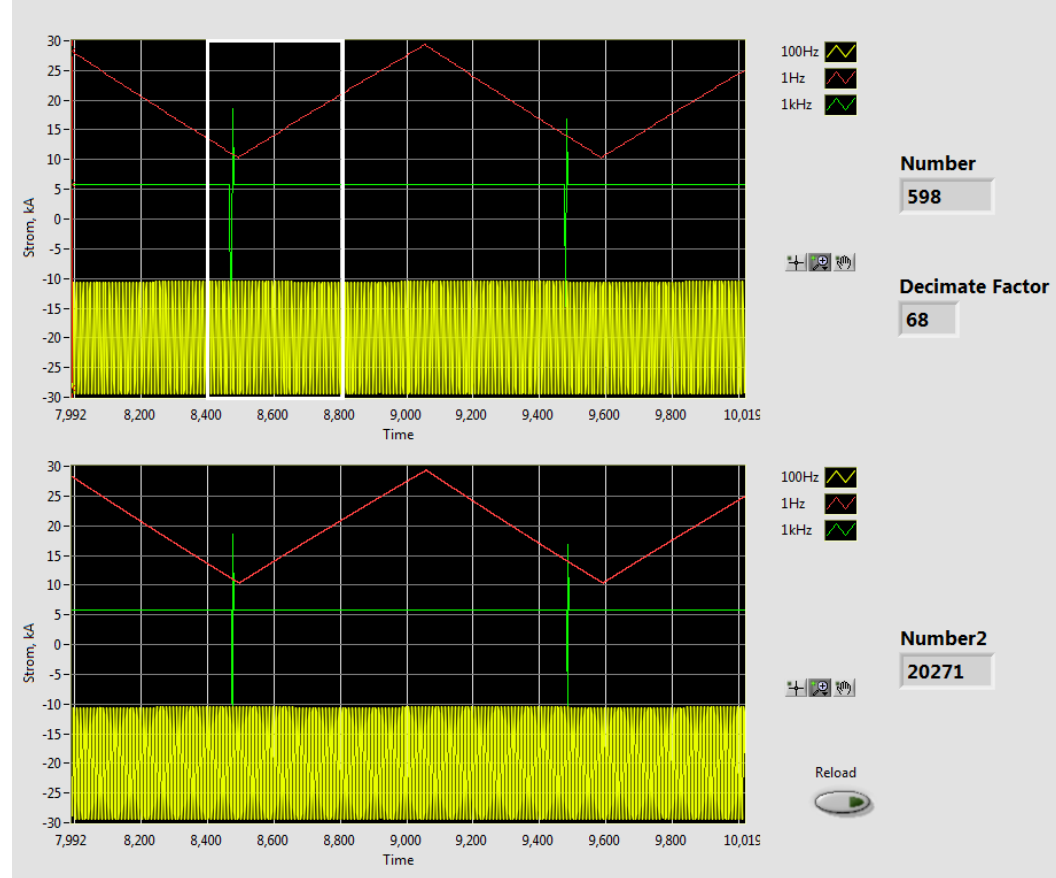
# Max-Min-Dezimation Verfahren



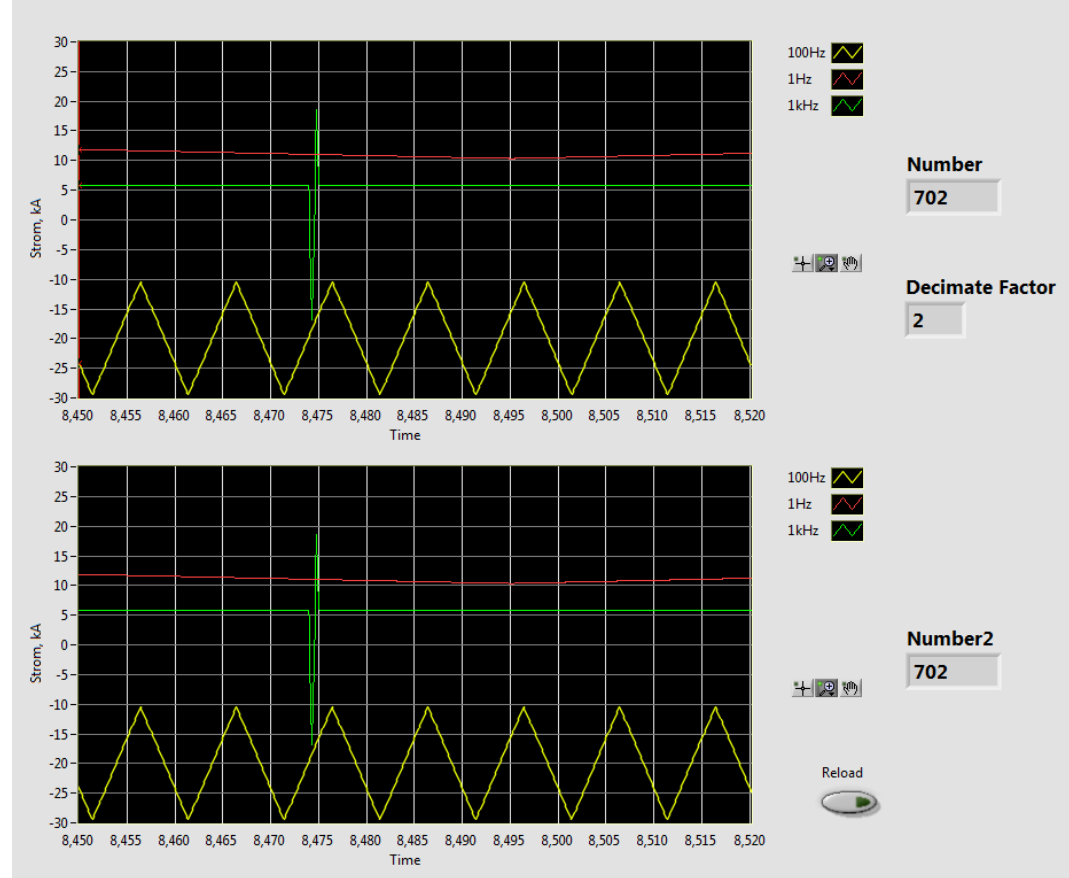
# Max-Min-Dezimation Verfahren



# Max-Min-Dezimation Verfahren



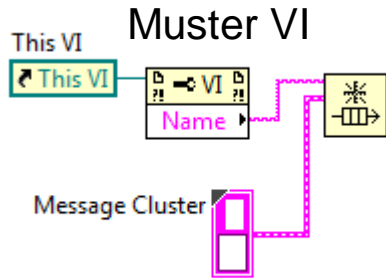
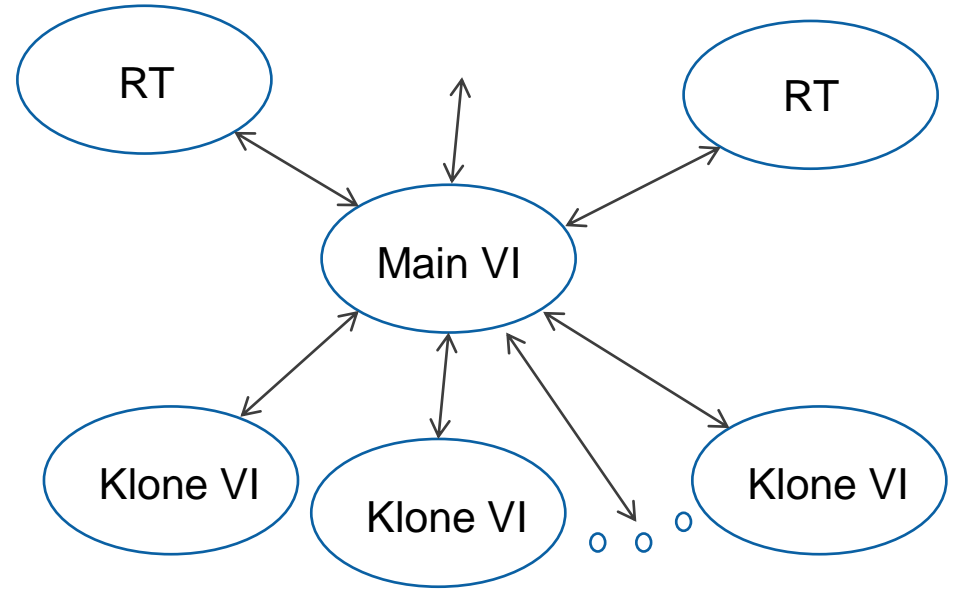
# Max-Min-Dezimation Verfahren



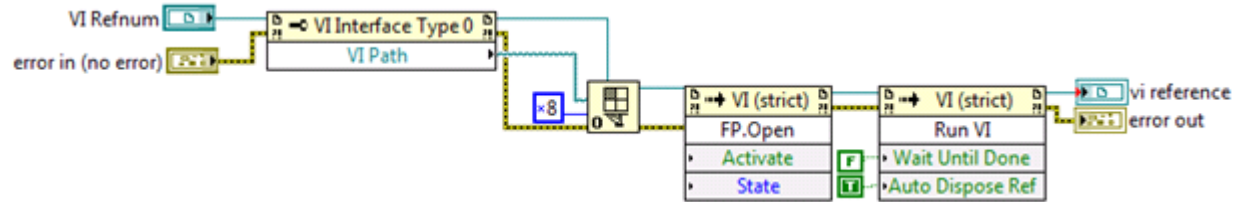


# Visualisierung

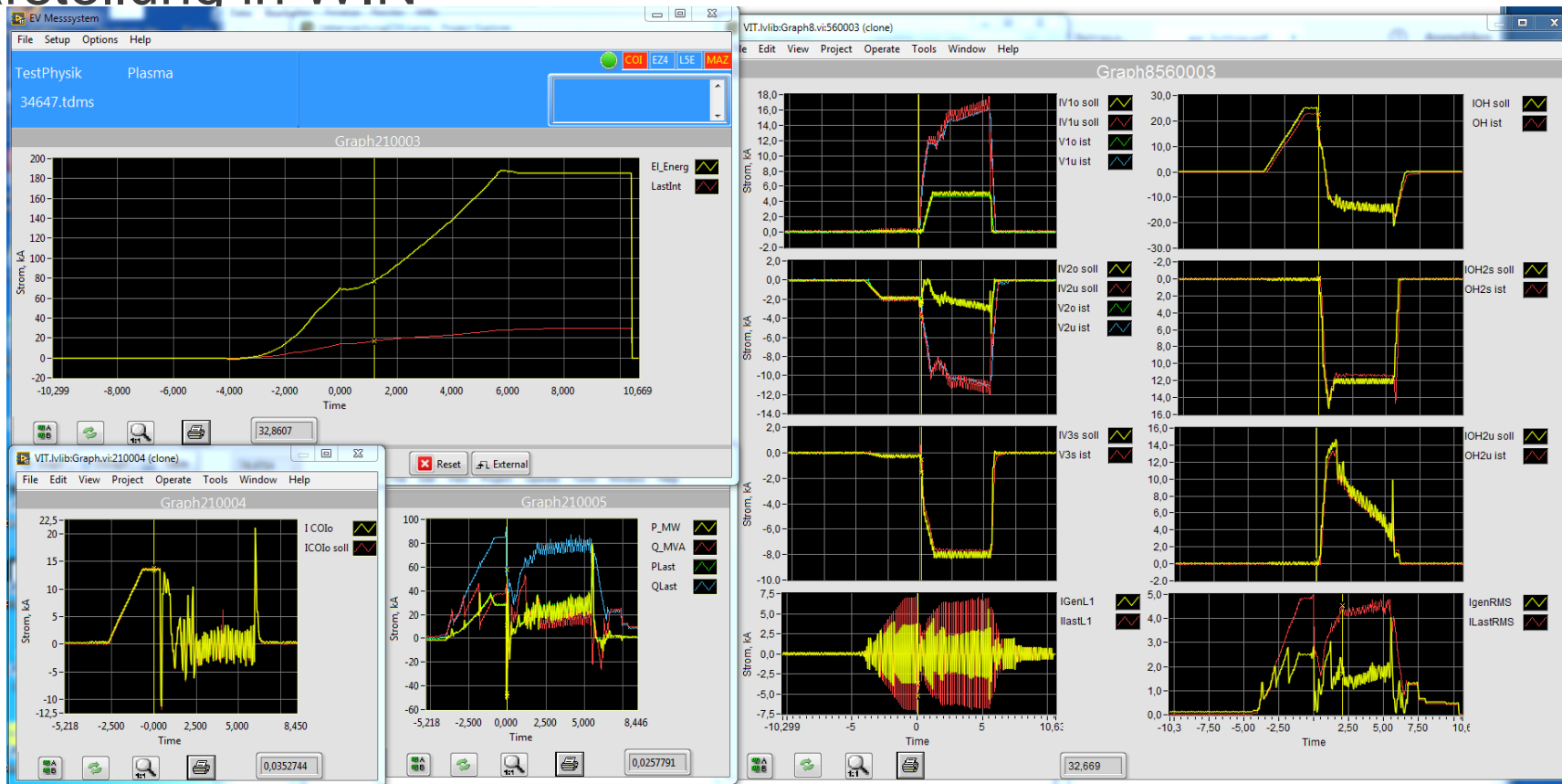
- Diverse Muster VI's
- Dynamische Erzeugung von Queues
- Datenaustausch zwischen VI's



## VI Aufruf



# Darstellung in WIN



# Zusammenfassung

- Verteilte Systemarchitektur erhöht die Genauigkeit der Messung und Zuverlässigkeit der Überwachung und des gesamten Systems
- Die Auswahl der Hardware – auf Grund der zu lösenden Aufgaben
- Gleichzeitige on-line Darstellung von zahlreichen Signalen aus diversen Systemen
- Schneller und einfacher Zugriff auf gespeicherte Daten einer Plasmaentladung
- Skalierbarkeit des gesamten Systems