

LICHTWELLENLEITER ZUR STROMMESSUNG IN HOCHSPANNUNGSSYSTEMEN - SCHNELL, SÄTTIGUNGSFREI UND ISOLIERT

Reinhard KLAMBAUER*, Werner SCHÖFFER, Philipp TRAMPITSCH*,
Johannes MANDL*, Jürgen PLESCH****

*Institut für Elektrische Messtechnik und Sensorik – Technische Universität Graz
Arbeitsgruppe Sensor Systems and Sensor Physics

**ARTEMES GmbH

Kontakt: reinhard.klambauer@tugraz.at
werner.schoeffer@artemes.org

Lichtwellenleiter

Motivation

- Lösung der Probleme konventioneller Stromwandler
 - Messung auf Potenzial
 - Gleichzeitige Messung von AC und DC
 - Nachträgliche Installation des Messgeräts,
- Messung bisher unbeobachteter Vorgänge
 - transiente Ereignisse
 - Geomagnetisch induzierte Ströme auf einzelnen Phasen

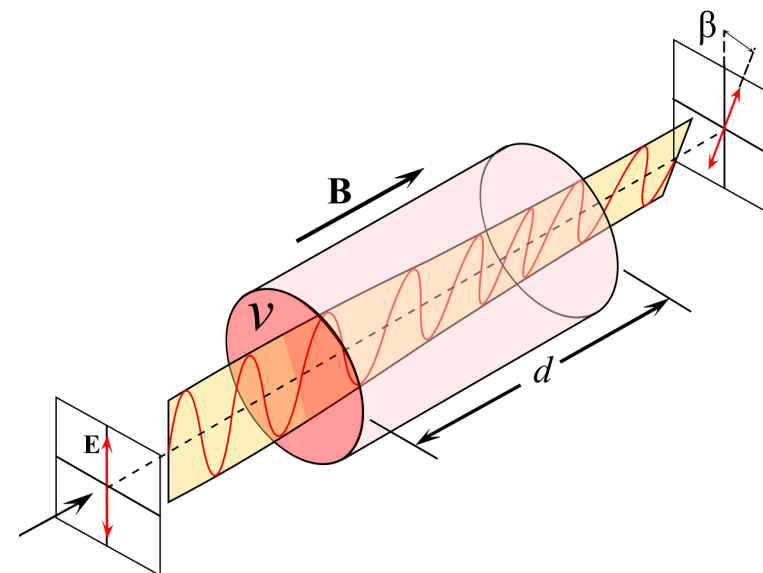
Prinzip: Magneto-optischer Effekt (Faraday Effekt)

- Einfluss des Magnetfeldes auf die Polarisationssebene einer elektromagnetischen Welle

- $\theta = \nu \int_0^L \vec{B} d\vec{l}$

- Detektion

- Polarisationsabhängiger Strahlteiler
 - Interferometrisch, Überlagerung zweier Teilwellen



Auswertungsmöglichkeiten

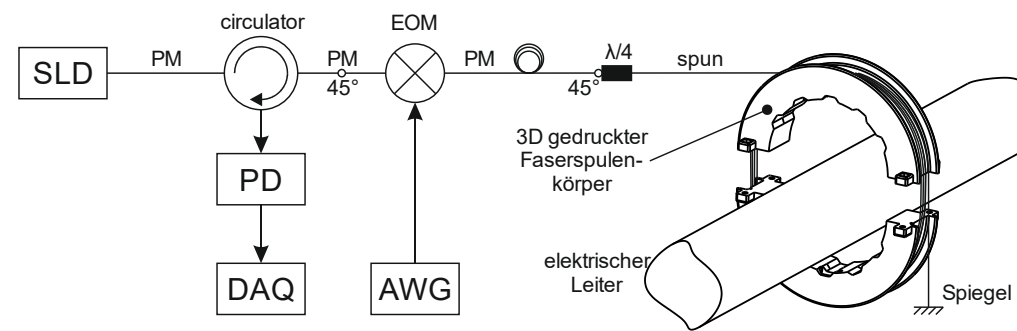
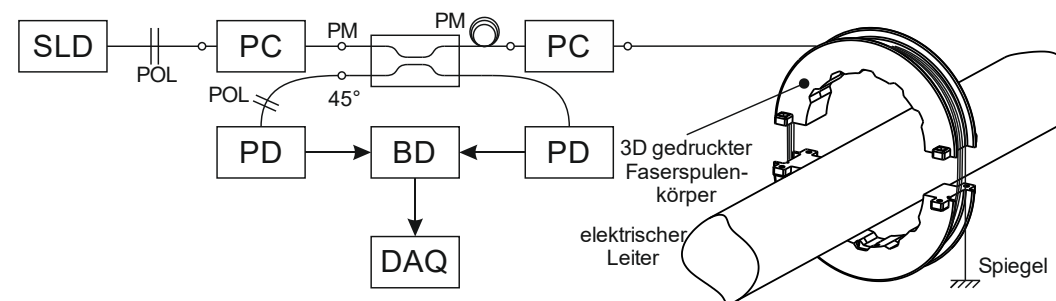
- Polarimeter



- Interferometer („AC“ – Messung)



- Moduliertes Interferometer („DC“ – Messung)



Realisierte Messaufbauten

„AC“ – Messung

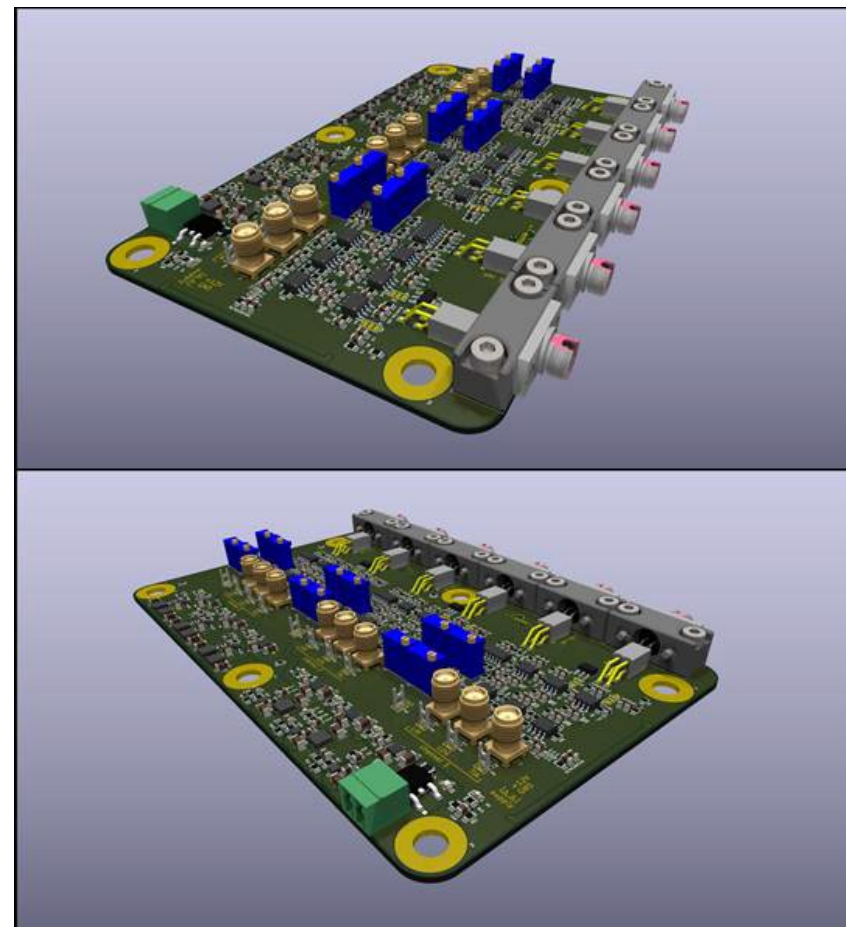
- Fokus: Detektion transienter Ereignisse
- Bandbreite hoch
 - elektronischer Verstärker
 - Oszilloskop
 - Hoher Rauschanteil
- Messkopf – Standard SMF28 Faser
 - Einfache Handhabung
 - Günstig
 - mechanische Querempfindlichkeit
 - Schlechte Arbeitspunktstabilität

„DC“ – Messung

- Fokus: Genaue Messung und gleichzeitige Messung von AC und DC Komponenten
- Bandbreite mittel
 - Modulationsfrequenz
 - FFT Fenster
 - Rauscharm
- Messkopf – Spun Faser
 - Schwierige Handhabung
 - Teuer
 - Wenig mechanische Querempfindlichkeit
 - Hohe Arbeitspunktstabilität

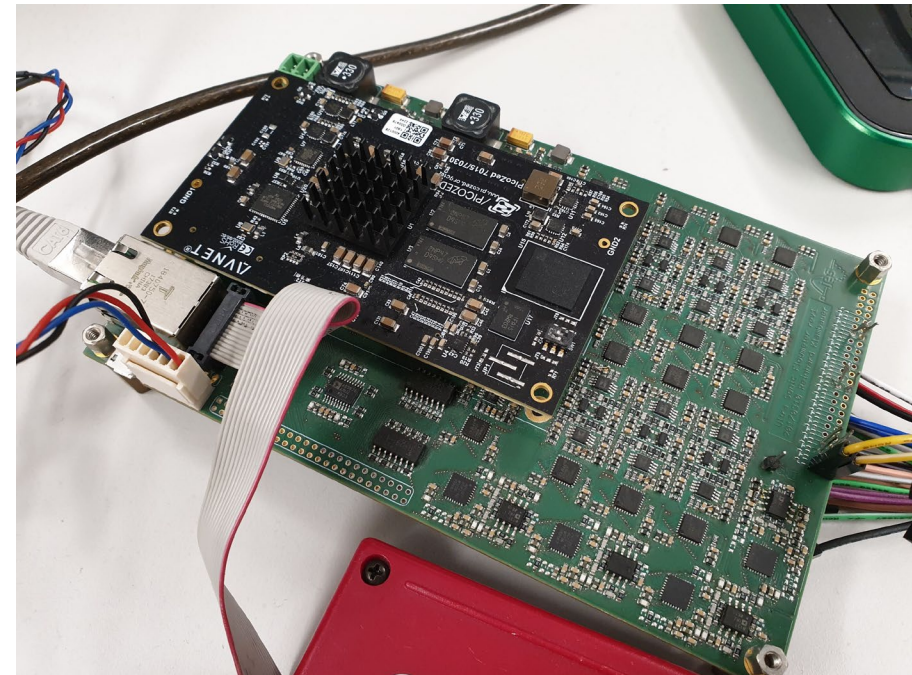
Hardware - Analog Front End

- **Balanced Detection**
 - Rauschunterdrückung der Lichtquelle
 - Für Interferometer
- **Transimpedanzverstärker**
 - Für moduliertes Interferometer



Hardware – FPGA Processing system

- Basierend auf einer Xilinx Zynq Platform
 - FPGA + Arm CPU Core
 - picoZed SOM
 - Eigens angefertigtes carrier board
- DAC Output bis 40 MHz
- ADC Input 40 MHz
- Echtzeit FFT Verarbeitung durch FPGA
- Echtzeit FPGA-basierter Lock In Verstärker
 - Verbesserung der zeitlichen Auflösung



Schnell

Messungen bei Kurzschlussversuchen UW Ternitz (APG)



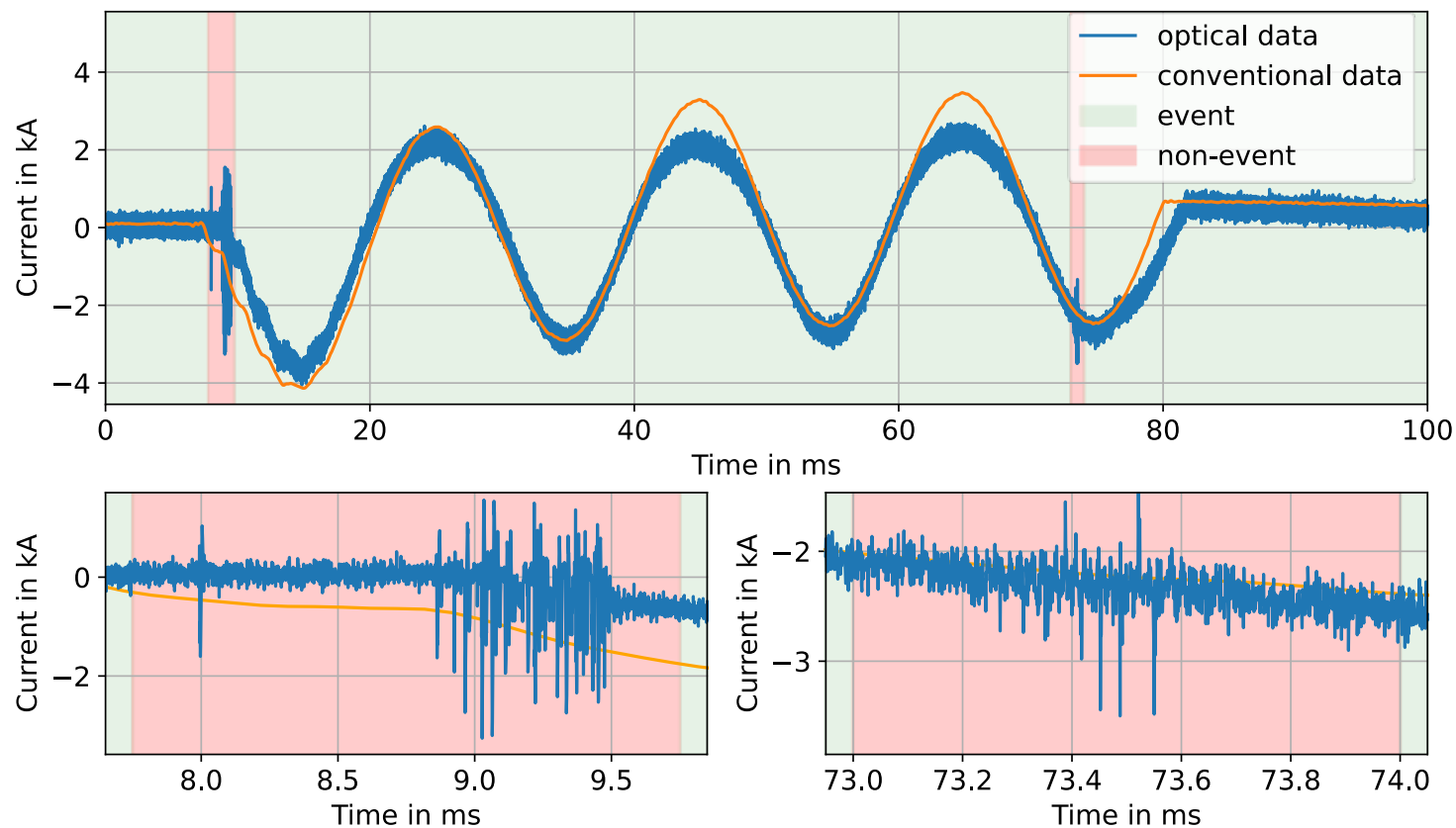
„AC“ – Messung auf L1, L2, L3

„DC“ – Messung auf L3

Ergebnisse „AC“ – Messung

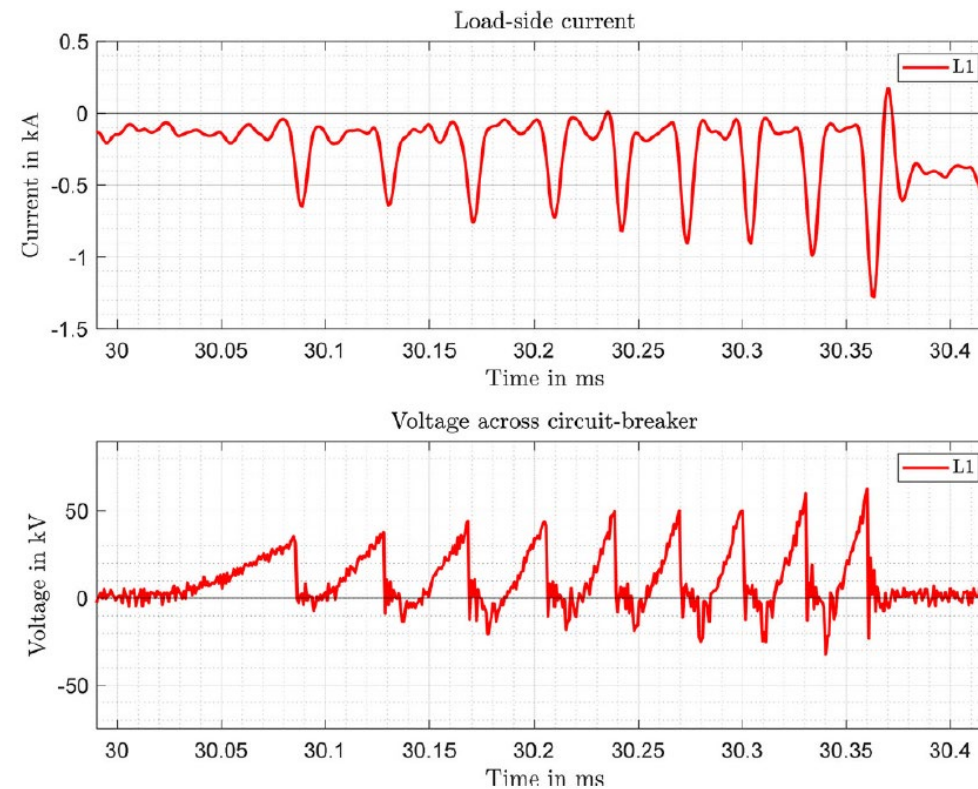
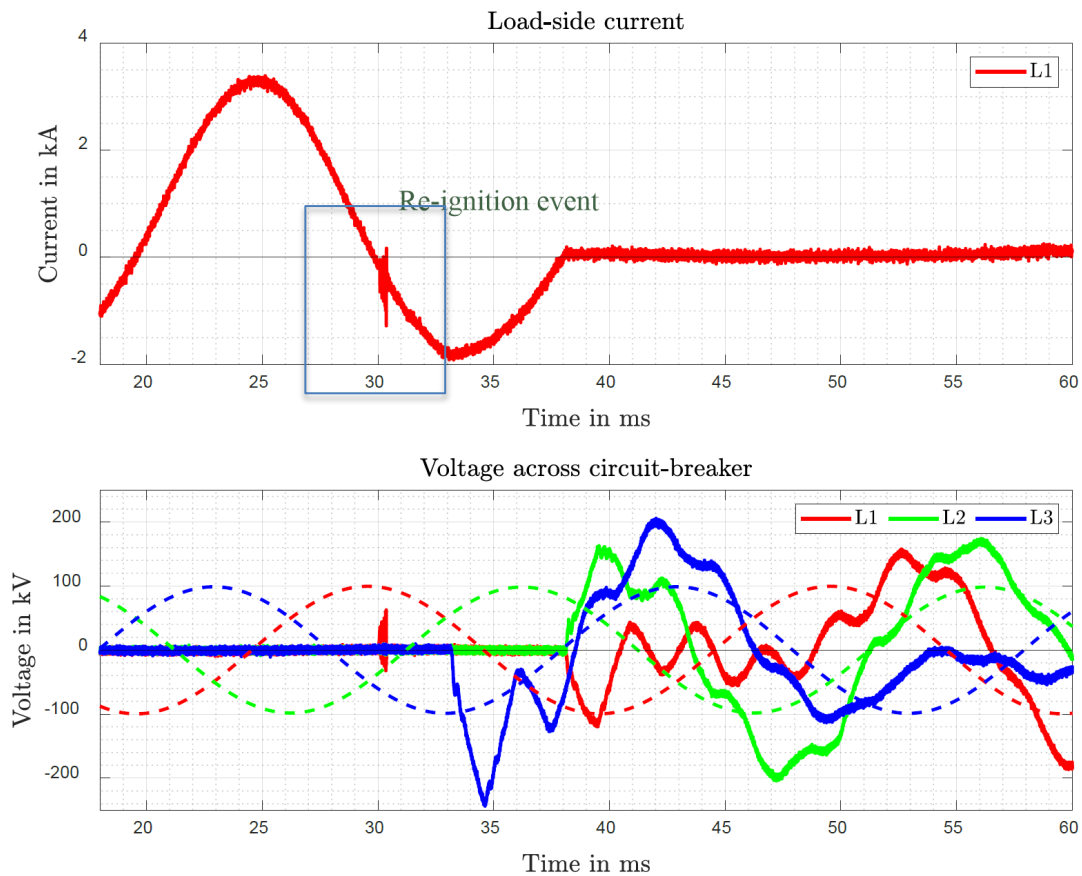
Time: 13:05 4b - Short circuit 3 poles with earth contact

Time domain



[1]

Rückzündungen bei Schalteröffnung

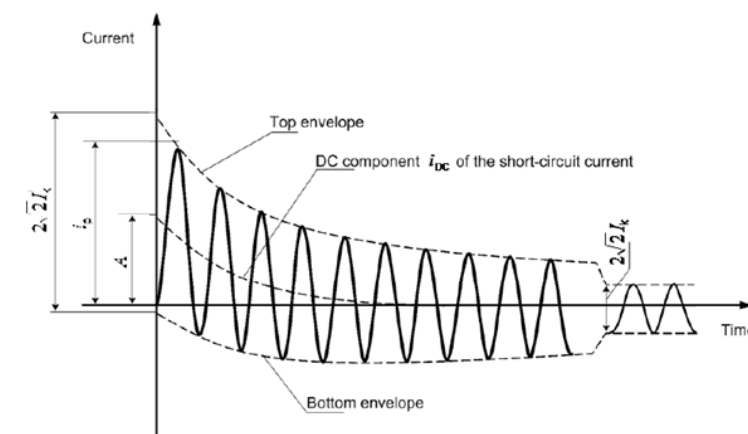
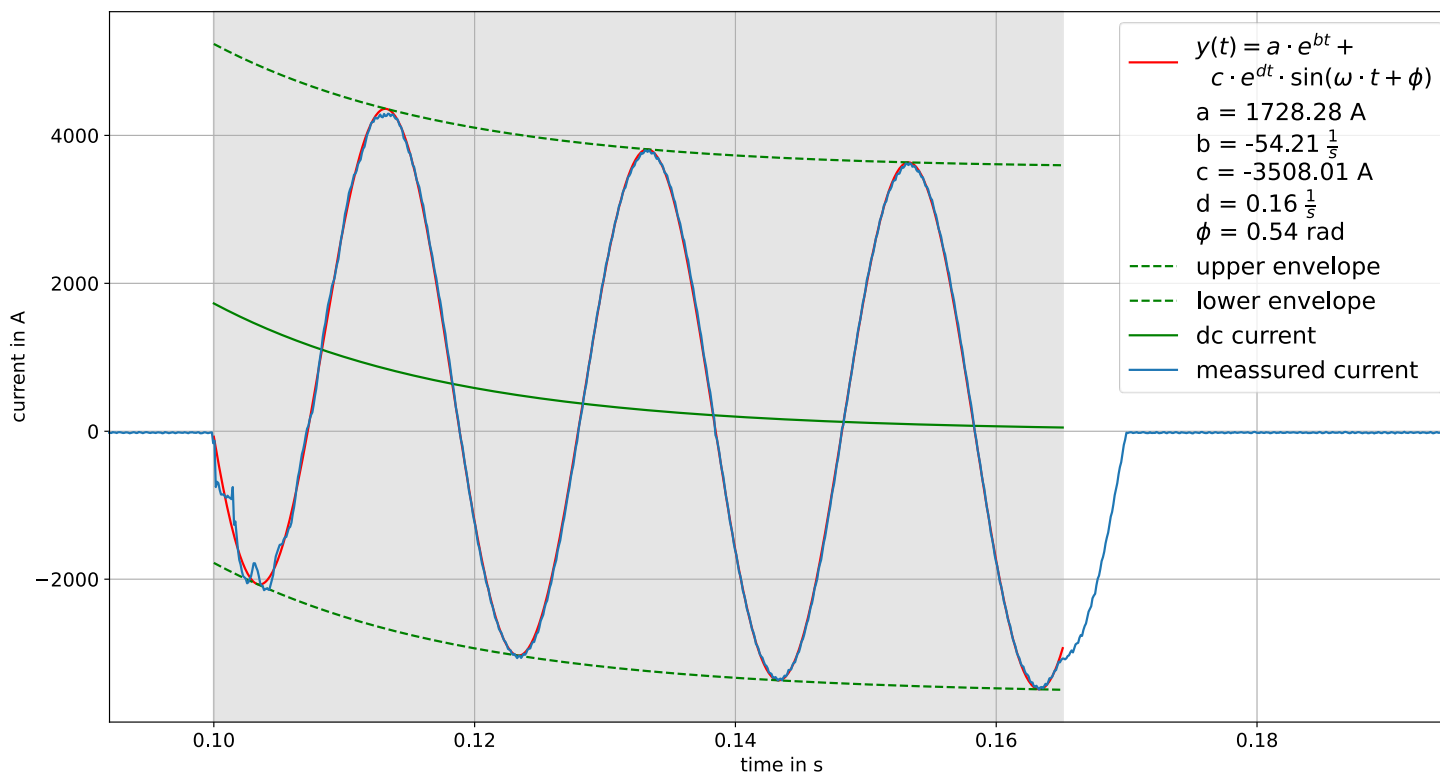


[2]

Sättigungsfrei

Ergebnisse „DC“ – Messung: Bestimmung quasi DC-Anteil

Time: 15:23 4e - 3 polig mit Zünddraht ohne AWE

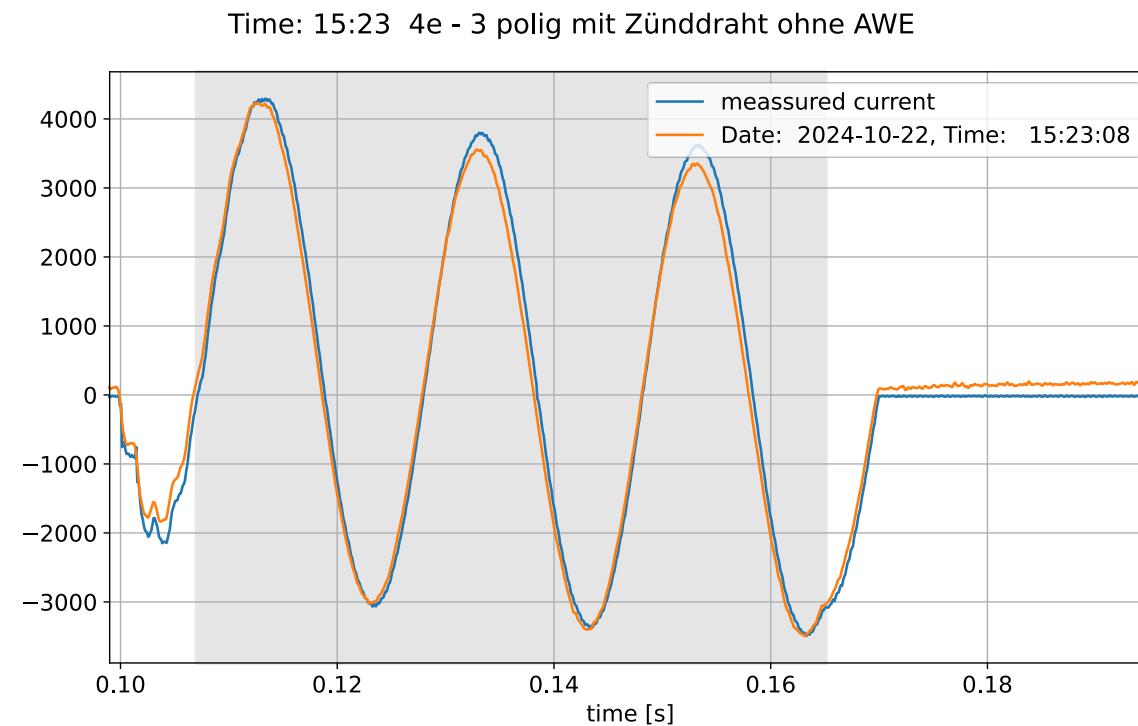
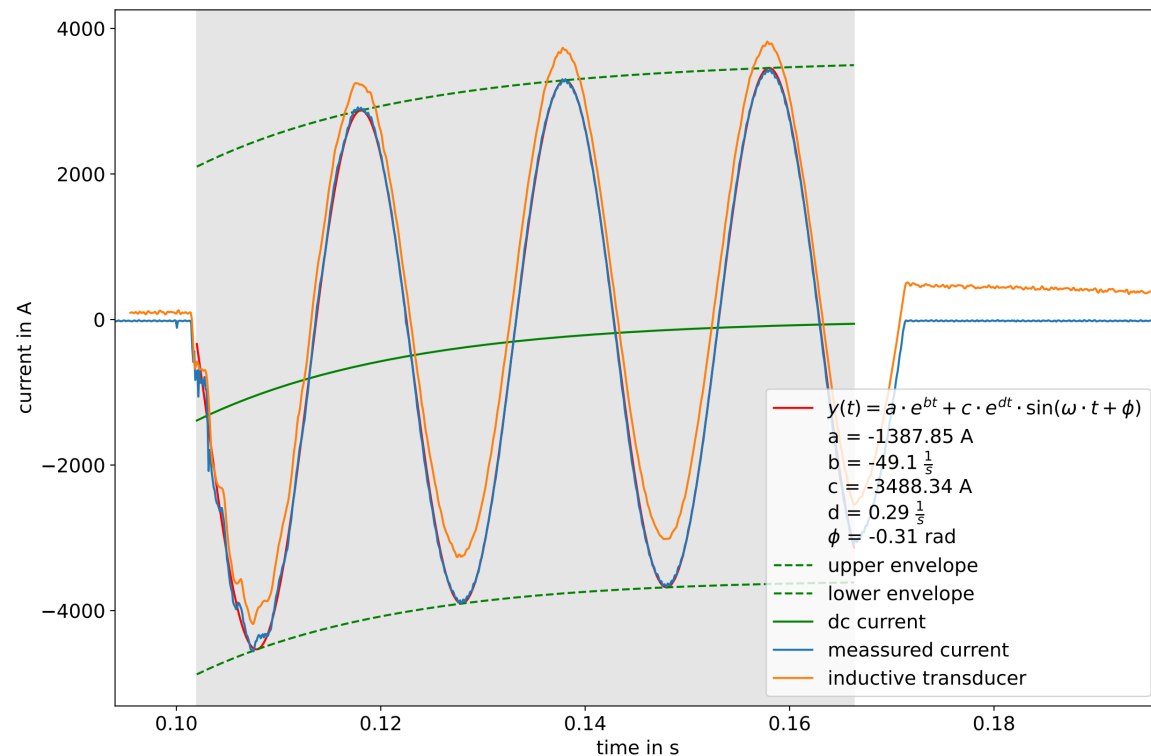


Key

- I_k^m initial symmetrical short-circuit current
- i_p peak short-circuit current
- I_k steady-state short-circuit current
- i_{DC} DC component of short-circuit current
- A initial value of the DC component i_{DC}

[3]

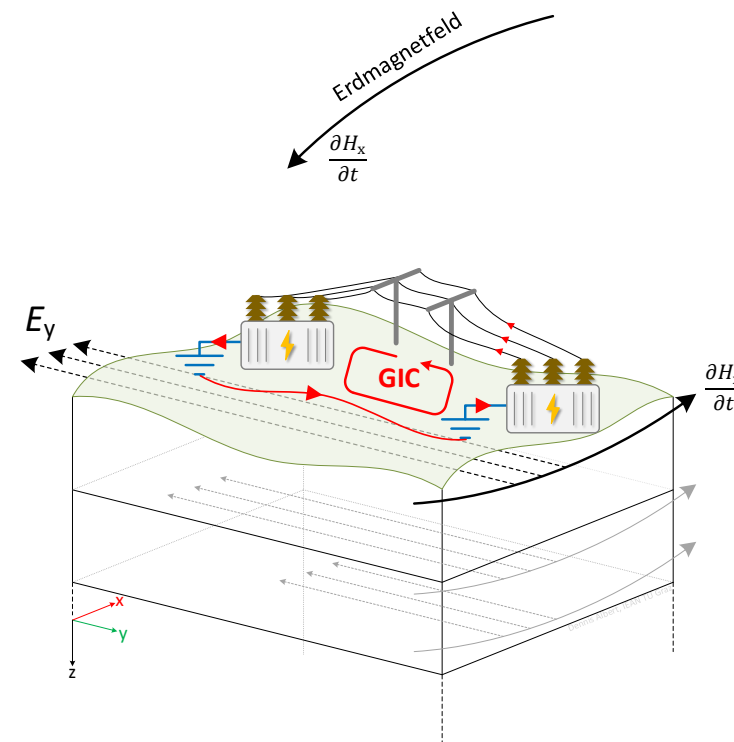
Ergebnisse „DC“ – Messung: Vgl. induktiver Wandler



Isoliert

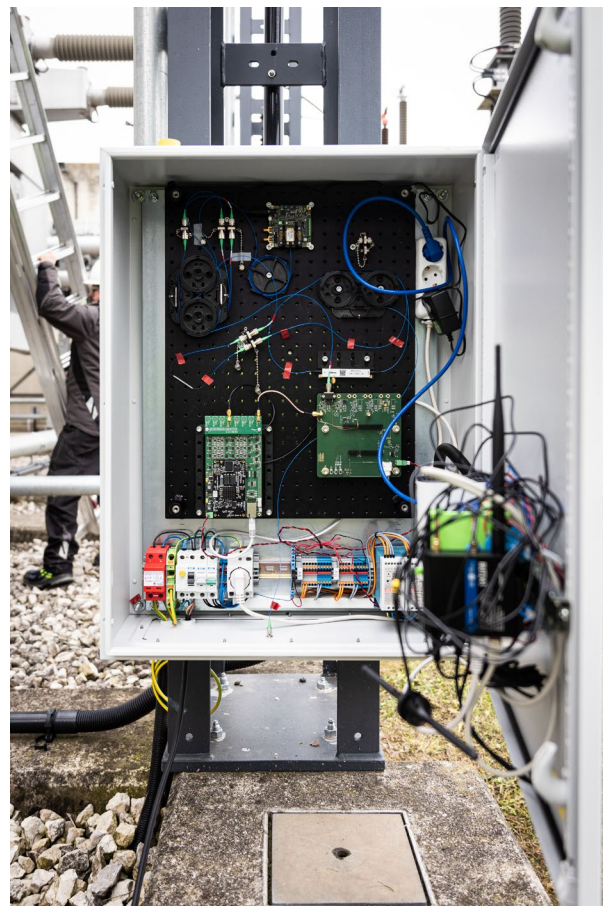
Projekt FORESEEN (Fiber Optical Current Measurement)

- Projektidee
 - Messungen von Gleichströmen auf Hochspannungspotential
 - e.q. geomagnetisch induzierte Ströme
- Entwicklung eines faseroptischen Stromwandlers
 - Sensitivität im mA Bereich
 - Gleichzeitige Messung von AC überlagert mit DC
 - Entwicklung einer eigenen onboard Hardware
- Labortest im Transformator-Versuchsfeld
 - Tauglichkeit für Hochspannung
 - Bestimmung der Sensitivität
- Feldtest seit November 2024

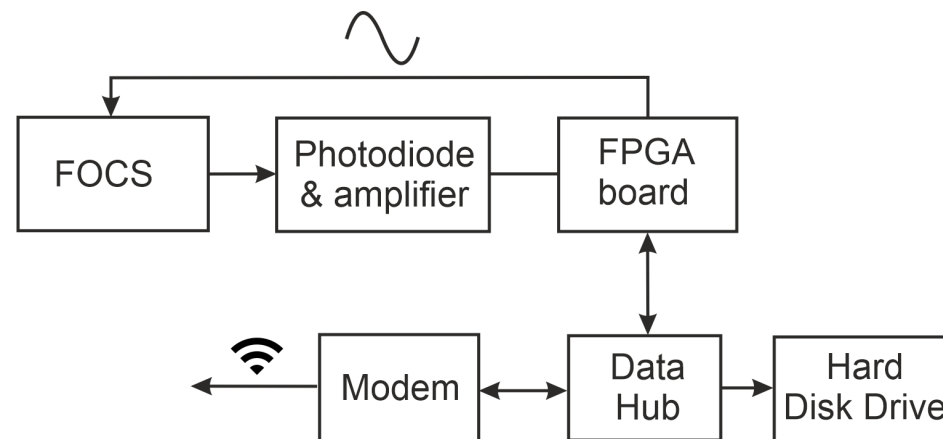


[4]

Installation Umspannwerk Wien-Südost (APG)



Blockdiagramm des Messgeräts

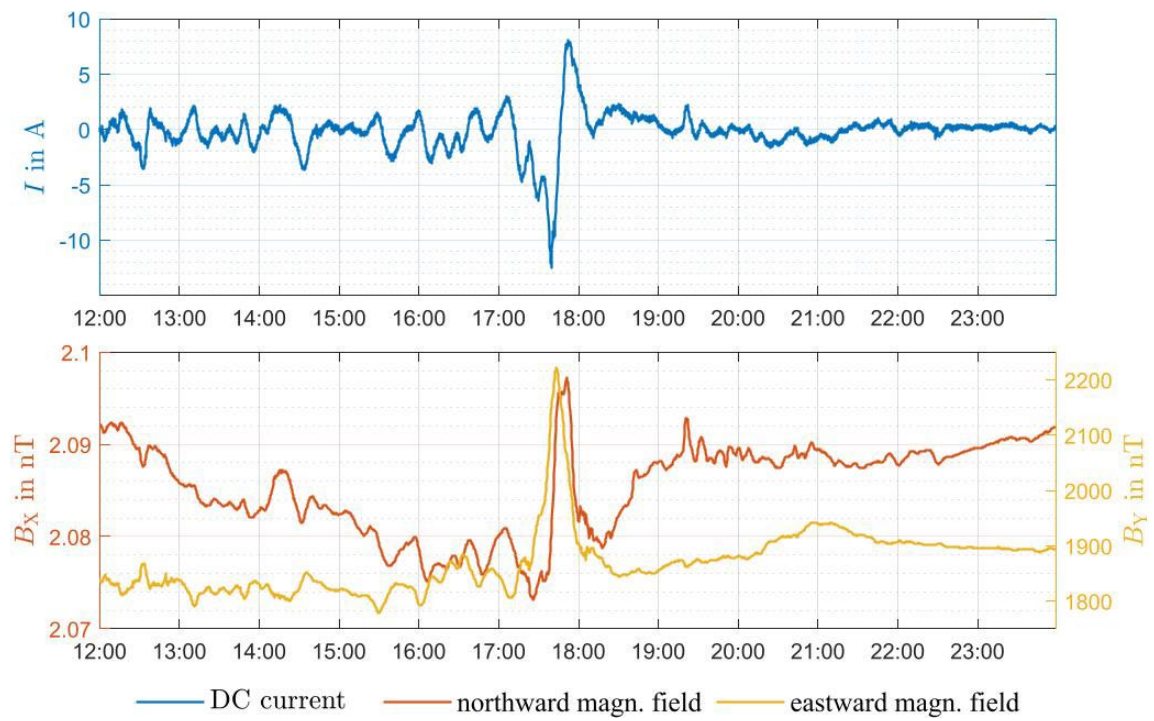


[5]

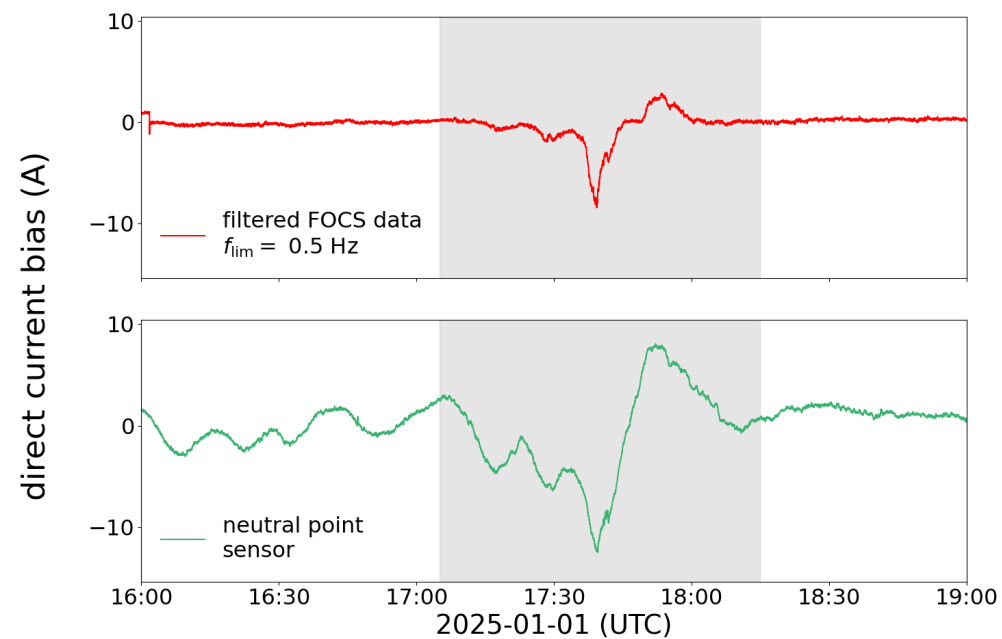
Ergebnisse Feldtest Wien-Südost

Messungen auf LV-Seite

- Geomagnetischer Sturm am 1.1.2025 (Peak um 17:40 UTC)



Quelle: Geosphere Austria



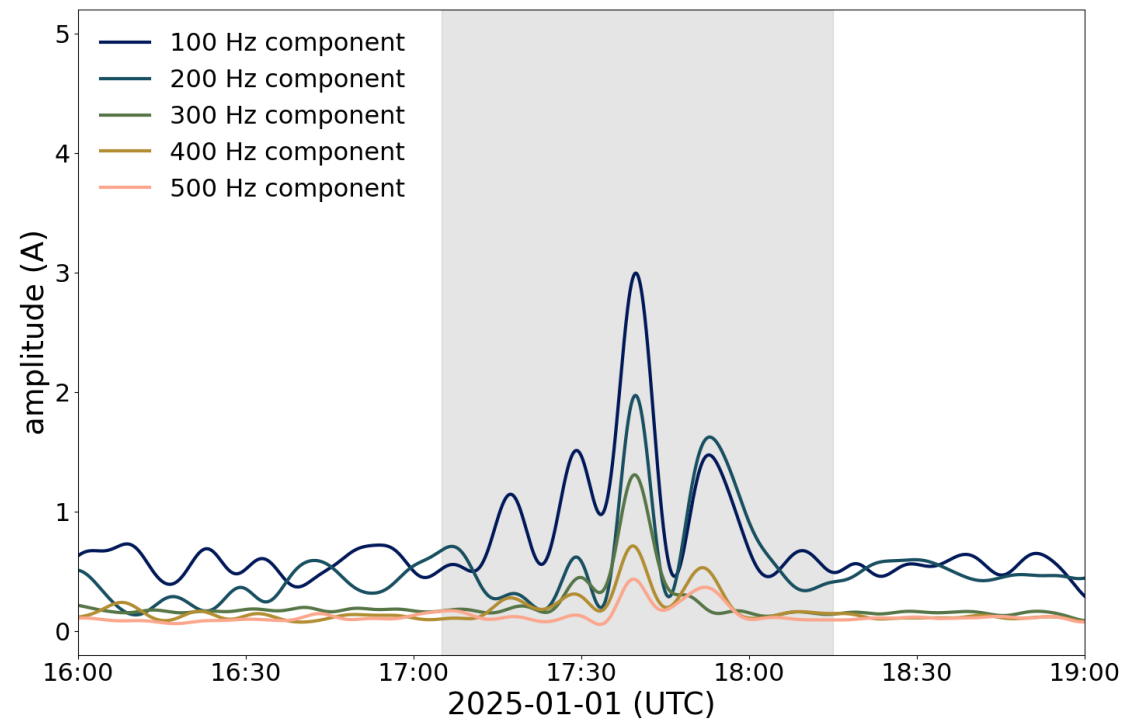
FOCS Daten

[5]

Ergebnisse Feldtest Wien-Südost

Messungen auf LV-Seite

- Anstieg der geraden AC-Harmonischen bei Gleichstrombelastung



[5]

Fazit

Anwendungsbeispiel - Langzeit Monitoring transienter Vorgänge

- Messung in einem Kraftwerk
- Ausführung für 3 Phasen - OPT3I
- Installation von 6 Systemen



Fazit

- Faseroptische Stromsensoren als Antwort auf die wachsenden messtechnischen Anforderungen moderner Hochspannungsnetze
 - Enorme Vorteile der Technologie gegenüber konventionellen Wandlern
- Hochgradig innovative Forschung in einem Bereich der zwischen Grundlagen und Anwendung steht
 - Wissenschaftliche Förderung schwierig aufgrund der Nähe zur Applikation
 - Kommerzielle Verwertung schwierig aufgrund der notwendigen Grundlagenforschung
 - Kooperationen erwünscht! („Spendenaufruf zur Weiterentwicklung“)

Referenzen

- [1] Trampitsch, P. P., Klambauer, R., Mandl, J. M., Plesch, J., Schöffner, W., & Bergmann, A. (2025). Improvements for high bandwidth non-modulated FOCS measurement setups. *Journal of Lightwave Technology*, 2025(1558-2213). Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/JLT.2025.3636740>
- [2] Hackl, P., Schwalt, L., Brestan, M. H., Schuerhuber, R., Belavic, F., Schöffner, W., & Klambauer, R. (2025). First Operational Experience with Vacuum Circuit-Breakers in Austria - Measurements and Tests on the 110 kV Voltage Level. Paper presented at CIGRE Symposium 2025, Trondheim, Norway.
- [3] “Iec 60909-0:2016 short-circuit currents in three-phase a.c. systems - part 0: Calculation of currents,” standard.
- [4] Albert, D. (2023). *Analysis of Power Transformers under DC/GIC Bias*. (Monographic Series TU Graz, Electrical Power Systems; Vol. EPS 2). Verlag der Technischen Universität Graz. <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-912-4>
- [5] Mandl, J. M., Trampitsch, P. P., Fröhlich, A., Klambauer, R., & Bergmann, A. (2026). Detection of geomagnetically induced currents on single phases in power grids using a fiber optic current sensor system. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 15(1). <https://doi.org/10.5194/jsss-15-1-2026>