

Inbetriebnahme und Betriebserfahrung mit der ersten Schaltanlage ihrer Art, die digitale und treibhausgasfreie Komponenten für die Stromübertragung integriert

Peter Menke, Mark Kuschel (Siemens Energy)
Marcel Engel, Fred Oechsle (Netze BW)

12.6.2024

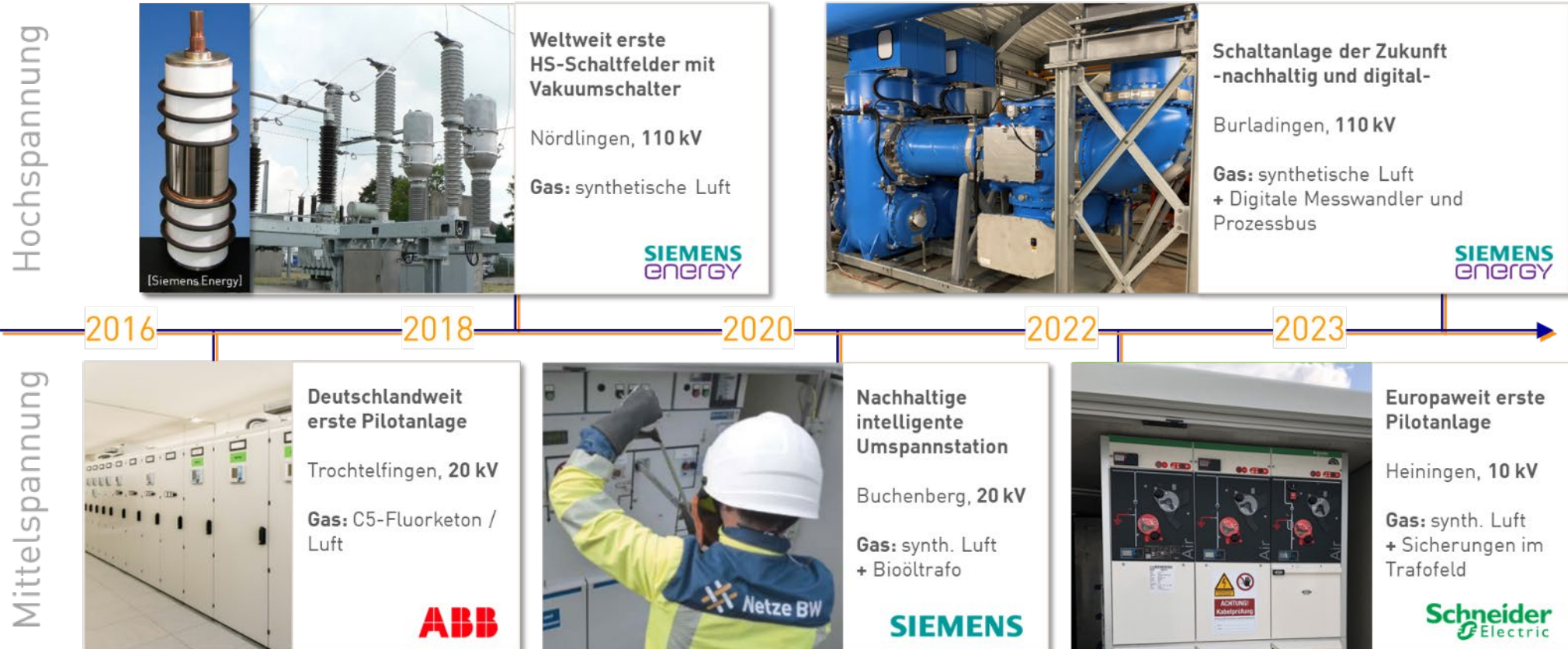


SF₆-freie Technologie bei Netze BW

Gemeinsam mit starken Industriepartnern

Verordnung (EU) Nr. 517/2024:

„Die **Inbetriebnahme** der folgenden **elektrischen Schaltanlagen**, die **fluorierte Treibhausgase** als Isolier- oder Schaltmedien nutzen oder zu ihrem Funktionieren benötigen, ist wie folgt verboten: [MS, HS, HöS + Verbotsdaten]“



Das Umspannwerk Burladingen

110/20-kV-Umspannwerk

- Transformatorleistung von 80 MVA erweiterbar auf 120 MVA
- HS-Betriebsmittel ohne Schwefelhexafluorid (SF_6) stattdessen synthetische Luft (80 % N_2 / 20 % O_2)
 - GIS mit fünf Felder (H-Schaltung)
 - Gebäudedurchführungen
 - zusätzlicher Freiluft-Kombiwandler
- Inbetriebnahme: Oktober 2023



Schaltanlage der Zukunft: SF_6 -frei und digital

- 145 kV Vakuum-Leistungsschalter mit Bemessungskurzschlussstrom 40 kA
- Kombinierte Kleinsignalmesswandler zur Minimierung der Baugröße
- Digitale Schutz- und Leittechnik mit Prozessbus nach IEC 61850-9-2
- Betriebsmittel Online-Monitoring

Zu berücksichtigende Aspekte



Umwelt



Gesundheit & Sicherheit



Regulierungen



Kosten



**Technische
Leistungsfähigkeit**

Clean Air Isolation & Vakuum-Schalttechnik

Zero Treibhausgase, GWP = 0

Zero Zersetzungsprodukte im Betrieb
Zero Toxizität, Zero PFAS-F-Gase*

Zero Risiken Vorschriften (Kosten, Verbote)

Zero Wartung (für Hauptkomponenten)
Niedrigste Lebenszykluskosten

**Höchste Gasstabilität,
Tieftemperaturanwendungen,
Höchste Schaltperformance**



80 % N₂ + 20 % O₂



Vakuum

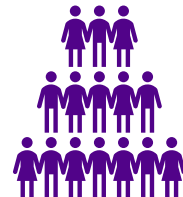


**Maximale
Stakeholder-
Akzeptanz**

Aktionäre

Mitarbeiter

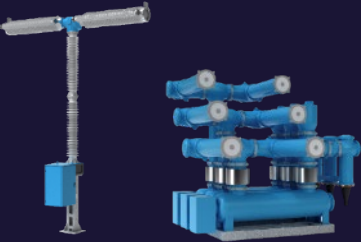
Gesellschaft



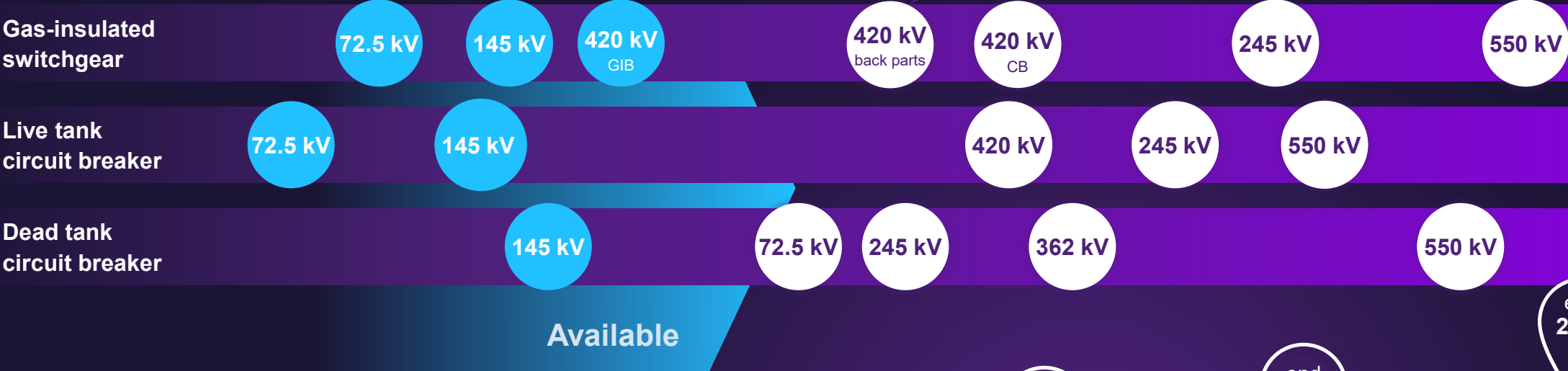
**Per- und Polyfluorierte Substanzen inklusive SF₆-Alternative C₄FN Fluornitril & C₅FK Fluorketon -> www.bmu.de/faqs/per-und-polyfluorierte-chemikalien-pfas

Roadmap from Zero to Zero: Offering a fully F-gas-free, net zero Blue portfolio by 2030

Current focus
420 kV

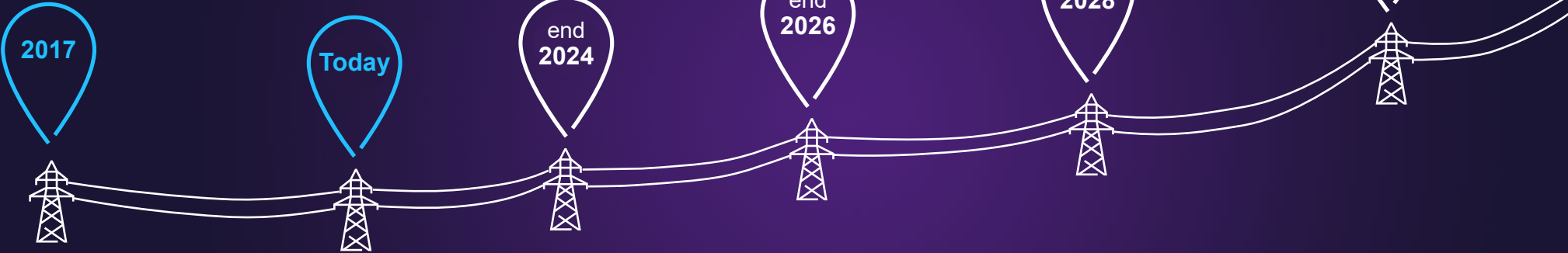


Incl. LPIT



GIB = Gas-insulated busducts |
Back parts = Disconnecter, earthing switch, voltage transformer, busbar ... |
CB = Circuit breaker

All dates/milestones shown as production readiness
Status: August 2022



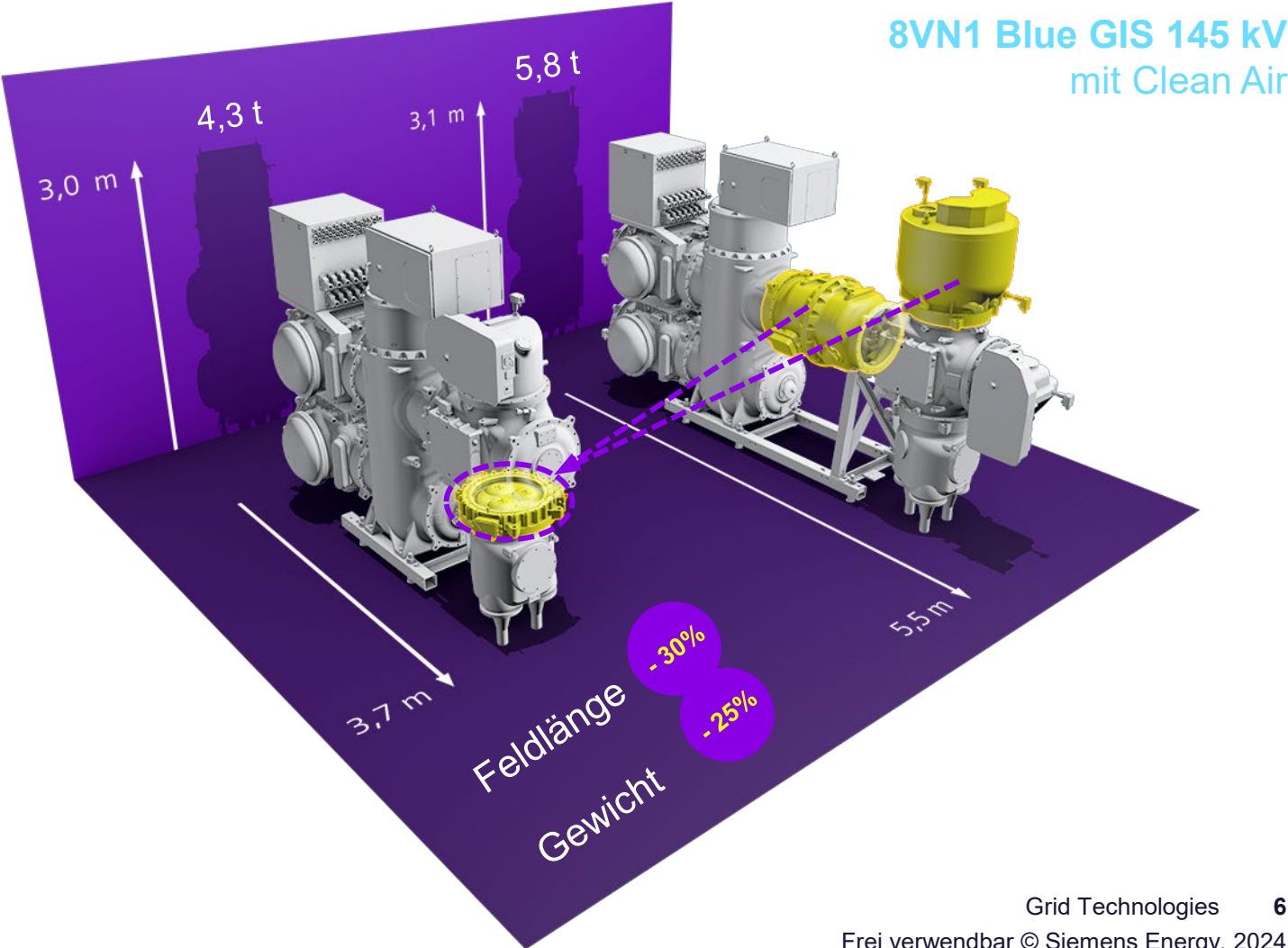
Größenvergleich

8DN8 145 kV

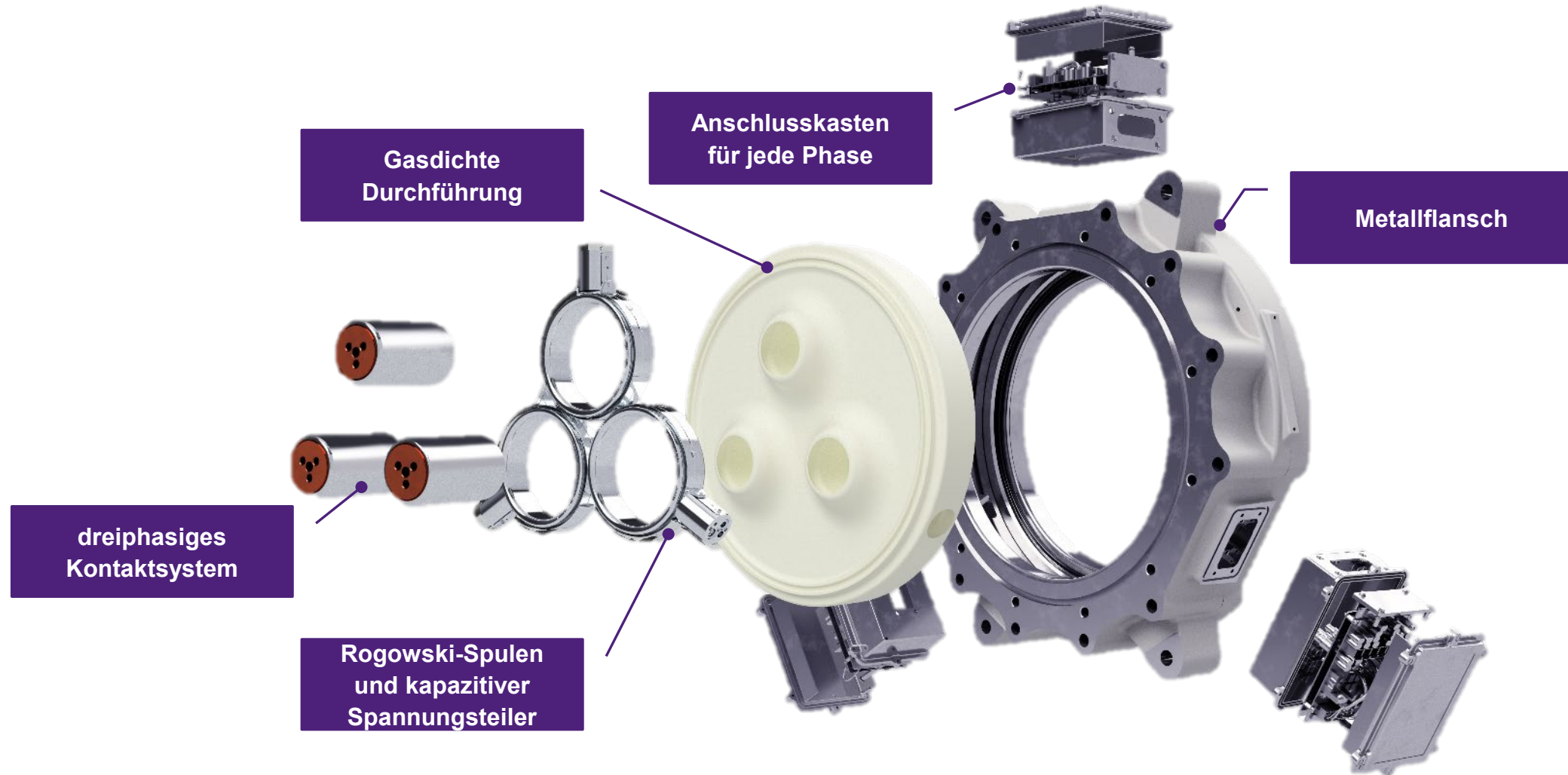
	konventioneller CT / VT	mit LPIT	
Feldlänge	4,1 m	3,5 m	- 15%
Gewicht	4 t	3,2 t	- 20%
SF ₆	90 kg	70 kg	- 20%

8DN8 170 kV

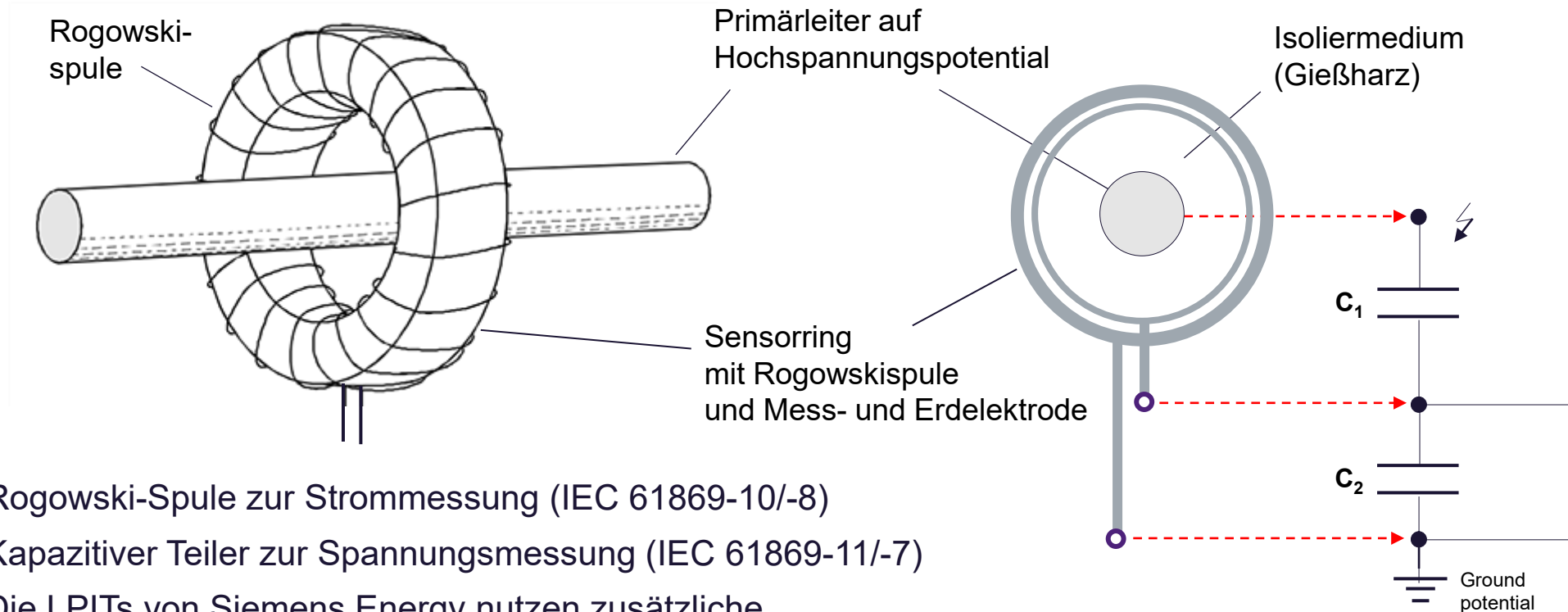
	konventioneller CT / VT	mit LPIT	
Feldlänge	5,6 m	4,3 m	- 25%
Gewicht	5,4 t	4 t	- 25%
SF ₆	145 kg	110 kg	- 25%



Das LPIT Innenleben



Die LPIT Sensoren: Rogowskispule and kapazitiver Teiler



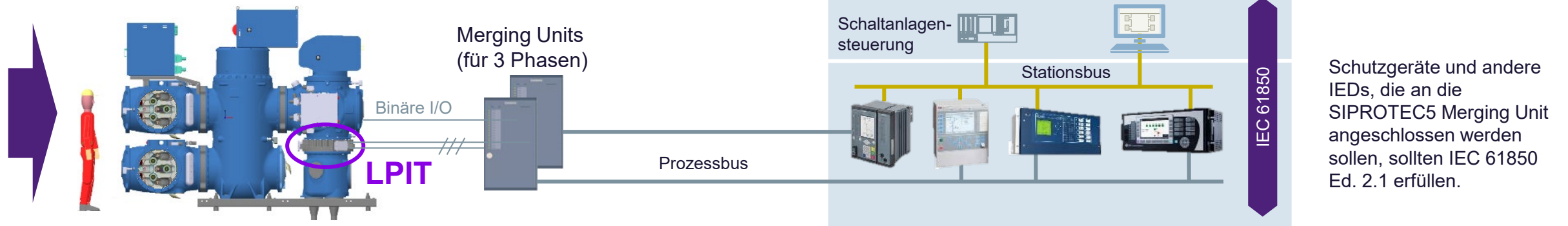
- Rogowski-Spule zur Strommessung (IEC 61869-10/-8)
- Kapazitiver Teiler zur Spannungsmessung (IEC 61869-11/-7)
- Die LPITs von Siemens Energy nutzen zusätzliche Korrekturmechanismen für Übersprechen und Temperaturabhängigkeit, die derzeit in den neuen IEC 61869-7 und -8 genormt werden.

Typische Übersetzungsverhältnisse

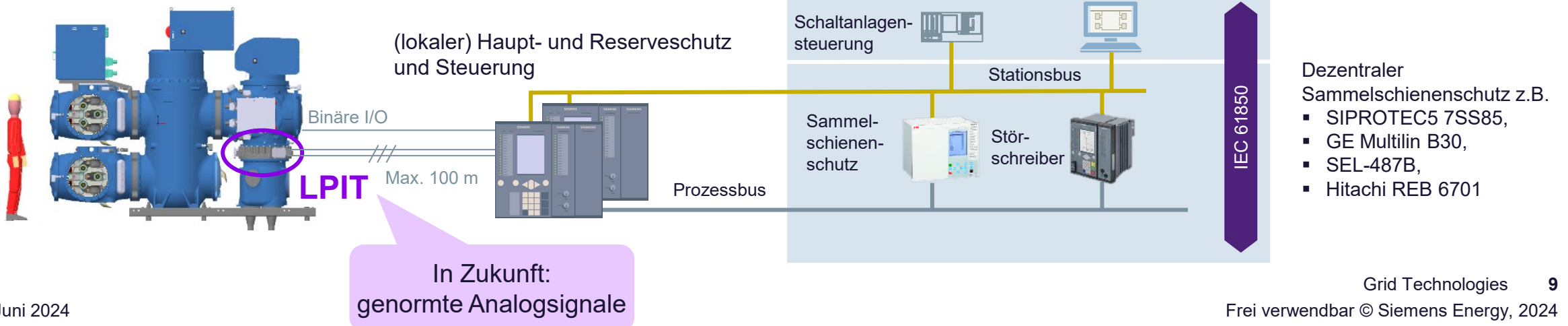
LPCT	LPVT (Teiler-Betrieb)	LPVT (Verschiebungsstrommessung)
130 bis 200 mV / kA	10.000:1 oder 100.000:1	10µA/kV oder 1µA/kV

 **Ziel ist eine vollständig
interoperable analoge Schnittstelle**

Über eine Merging Unit

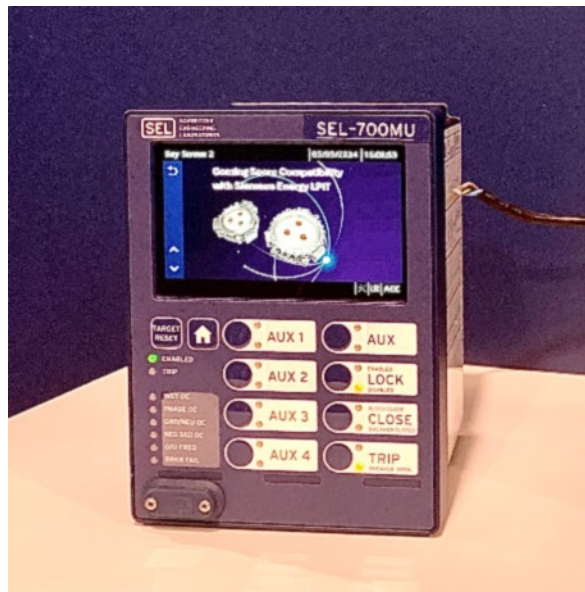


Direkt zu einem Schutz/Feldleitgerät



Weitere kompatible Merging Units werden verfügbar

SEL-700MU Merging Unit

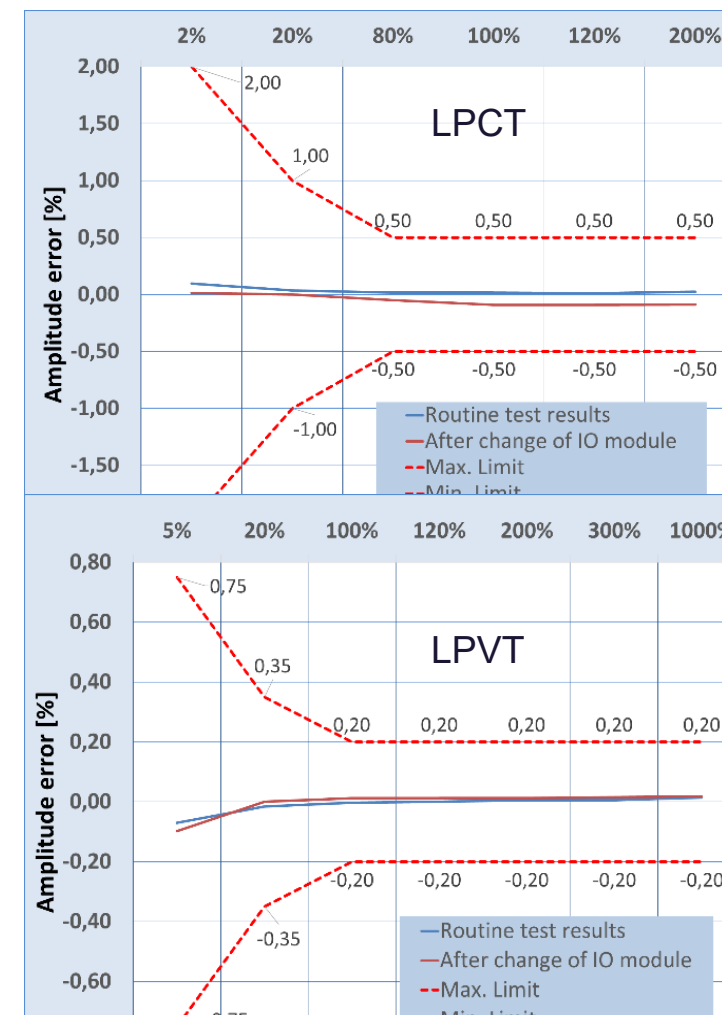


Wandlerprüfungen im Herstellerlabor

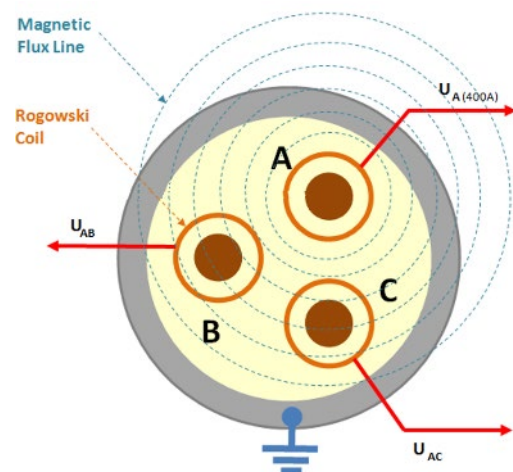
Überprüfung der Bemessungsgenauigkeiten und Baugruppentausch



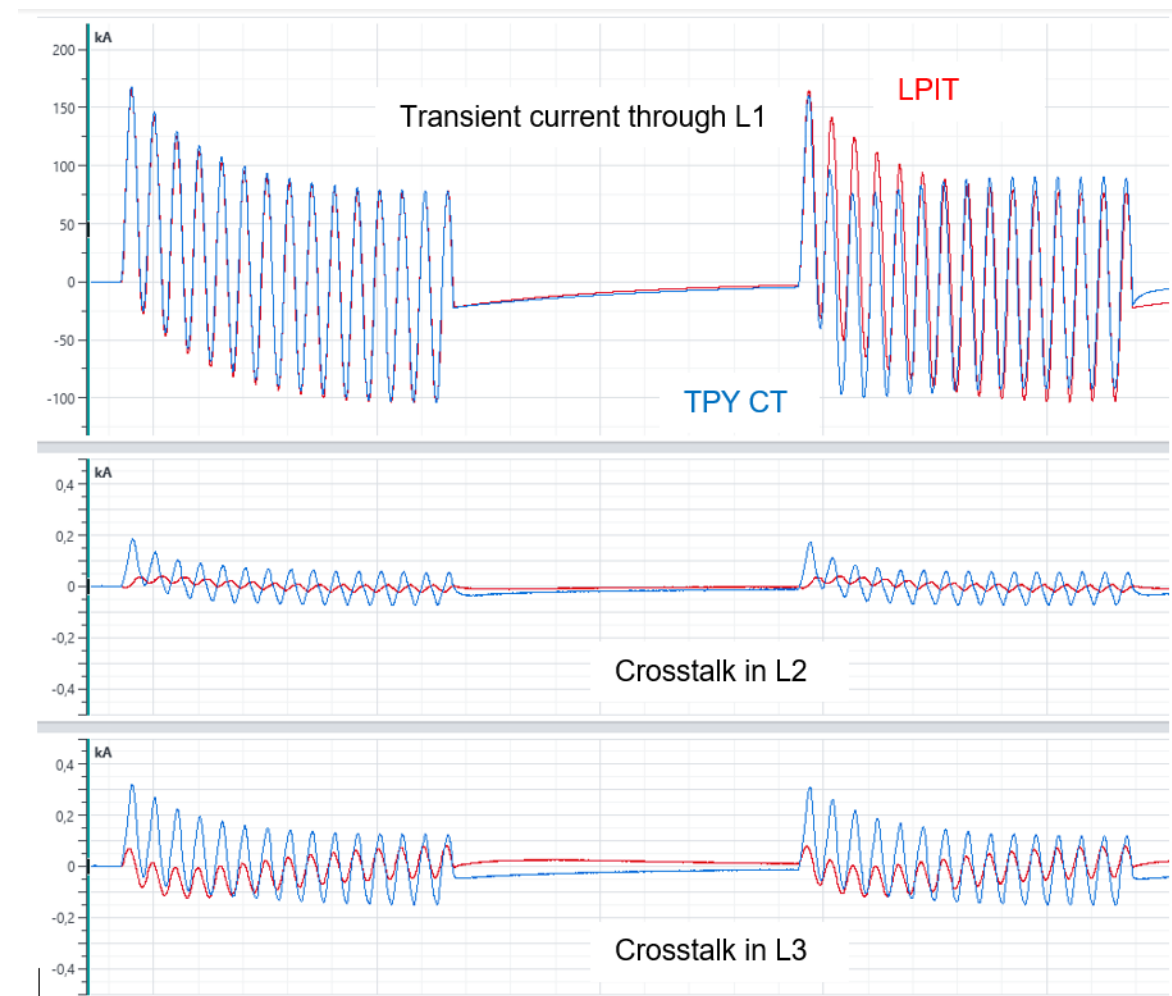
SIEMENS energy		
LPIT-145 (8VN1)	LPCT	1S1-1S2 + 2S1-2S2
2021 / LP00187	I_{th} / I_{dyn}	40 kA (1 s) / 100 kA
IEC 61869	I_{pr} / I_{cth}	300 A / 3150 A
-30°C / +40°C	K_{pr} / K_{sc}	10 / 100
185 kg	Klasse	0,2 / 5P / 10TPM 30 kA
Isolierstoffklasse E	LPVT	1a-1n
145 / 275 / 650 kV	$U_{pr} // Klasse$	110 / $\sqrt{3}$ kV // 0,5P
f_r 50 Hz	F_v	3 / 2000 h
Made in Germany		



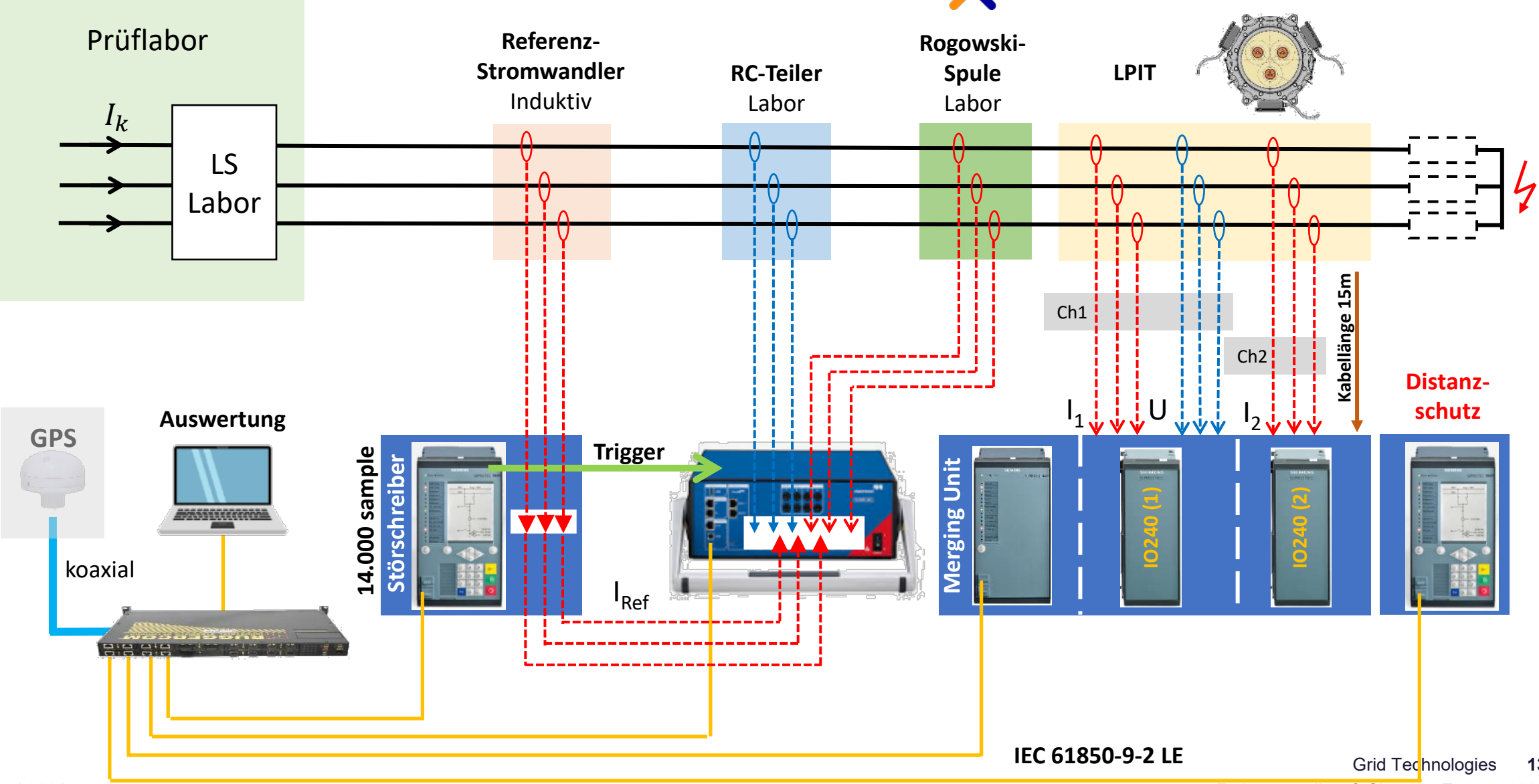
Kurzschlussversuche

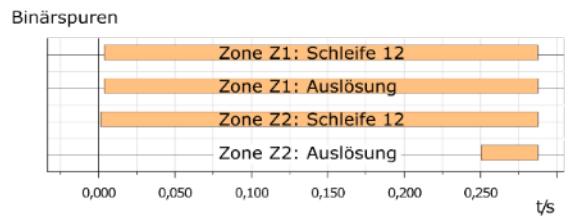
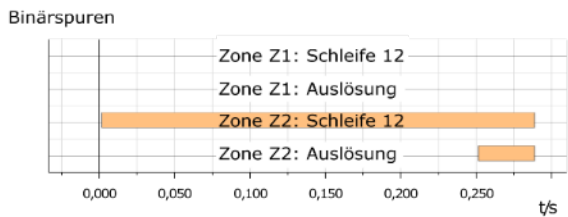
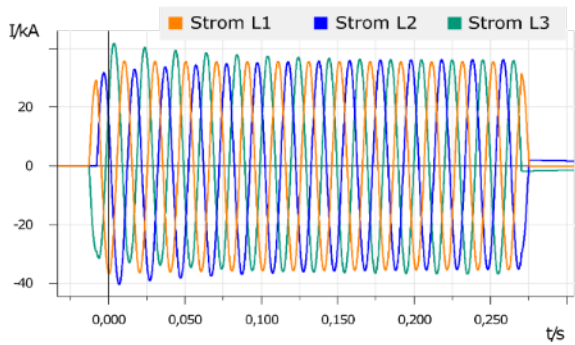
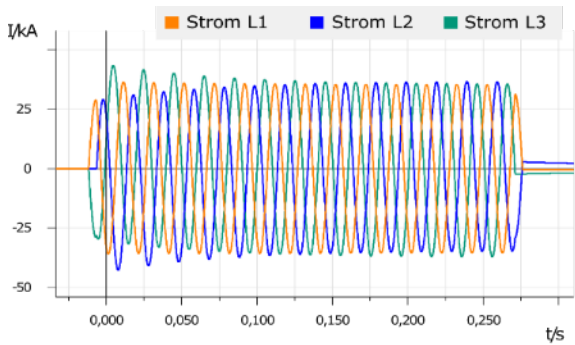


Crosstalk-Unterdrückung

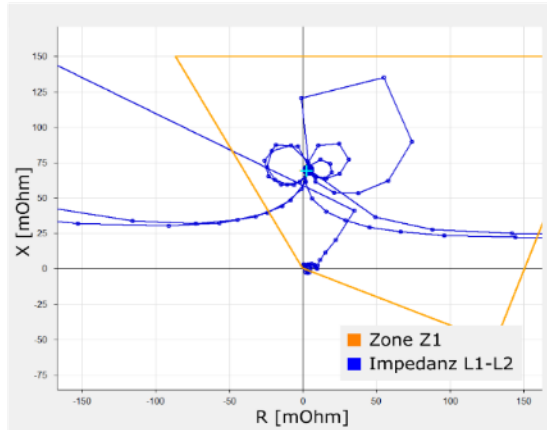
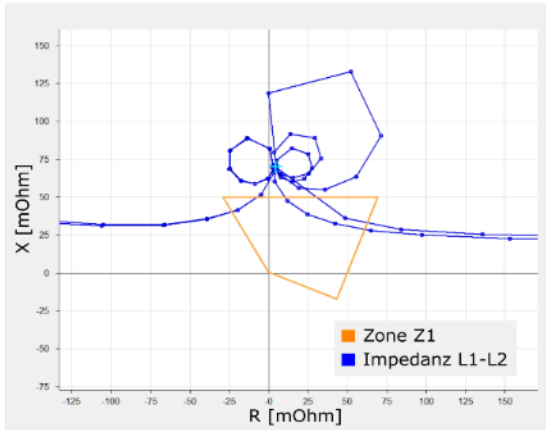


Wandlerprüfungen im Herstellerlabor

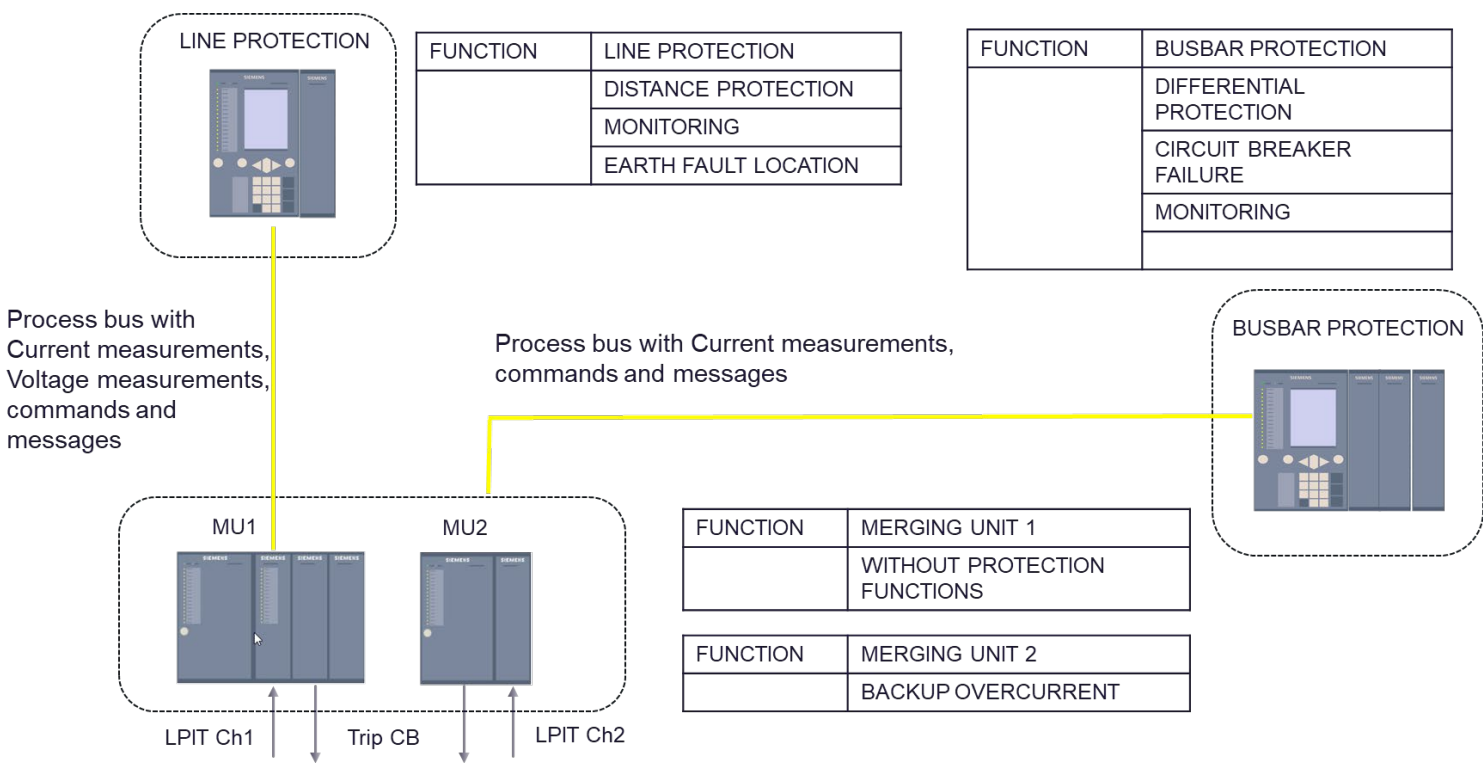




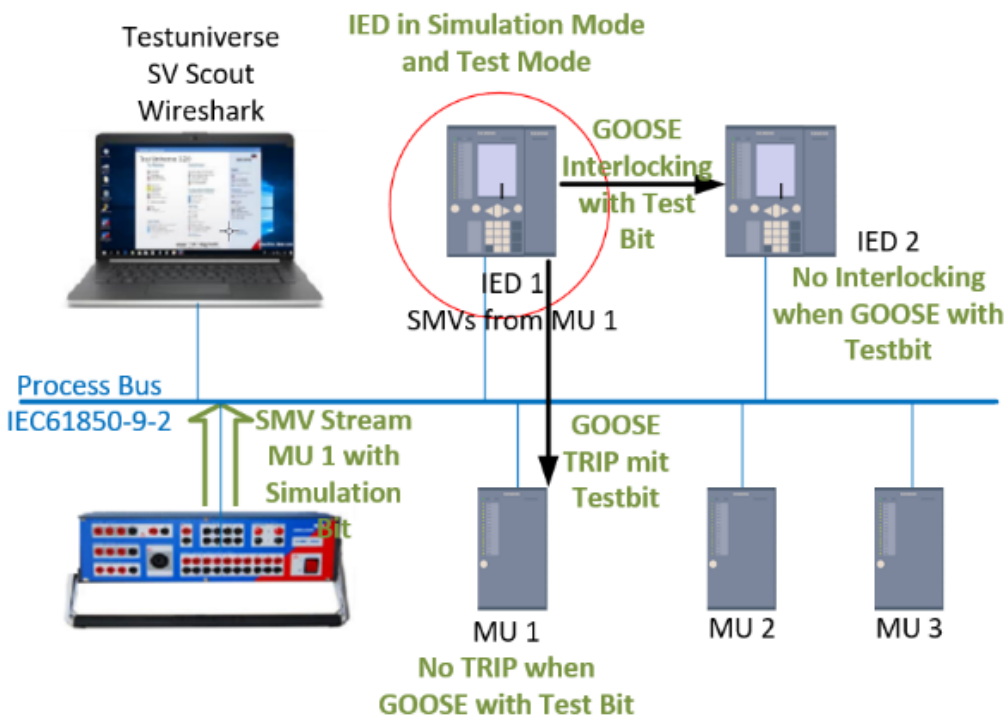
Distanzschutz	Zone Z1	Zone Z1	Zone Z2
	Versuch 1	Versuch 2	
Reichweite X / R	50 mΩ / 50 mΩ	150 mΩ / 150 mΩ	20 Ω / 10 Ω
Verzögerungszeit T	20 ms	20 ms	250 ms
Polygonwinkel phi	70°		



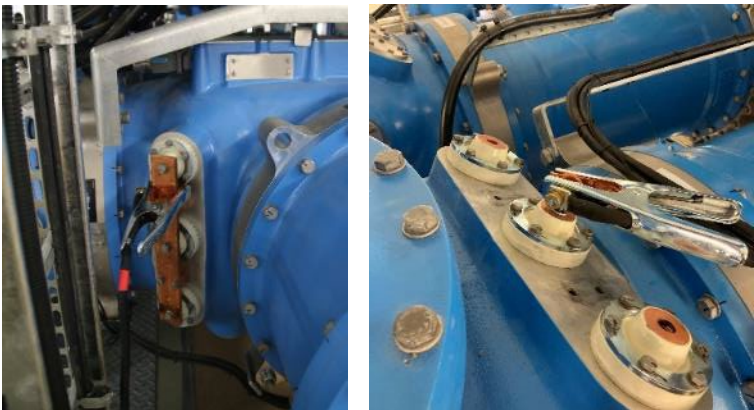
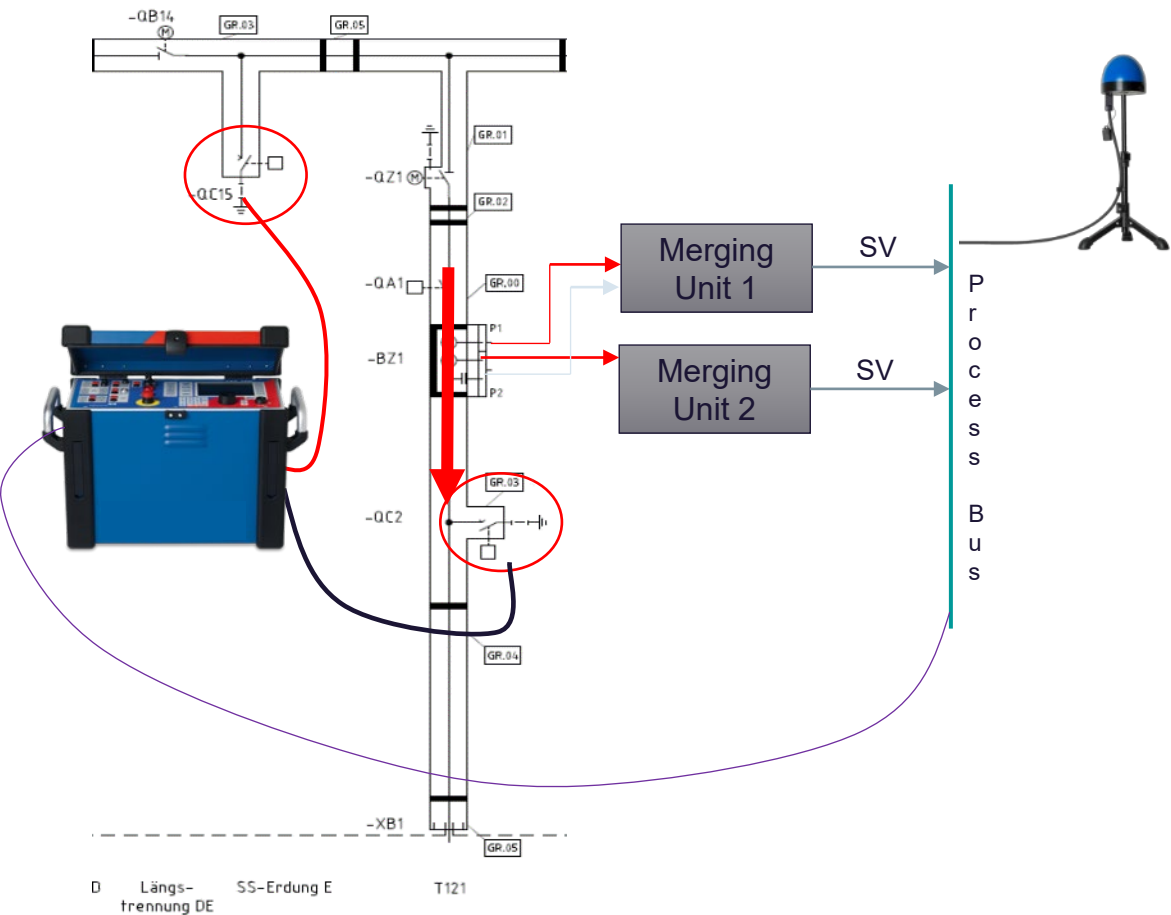
Schutzkonzept Leitungsfeld



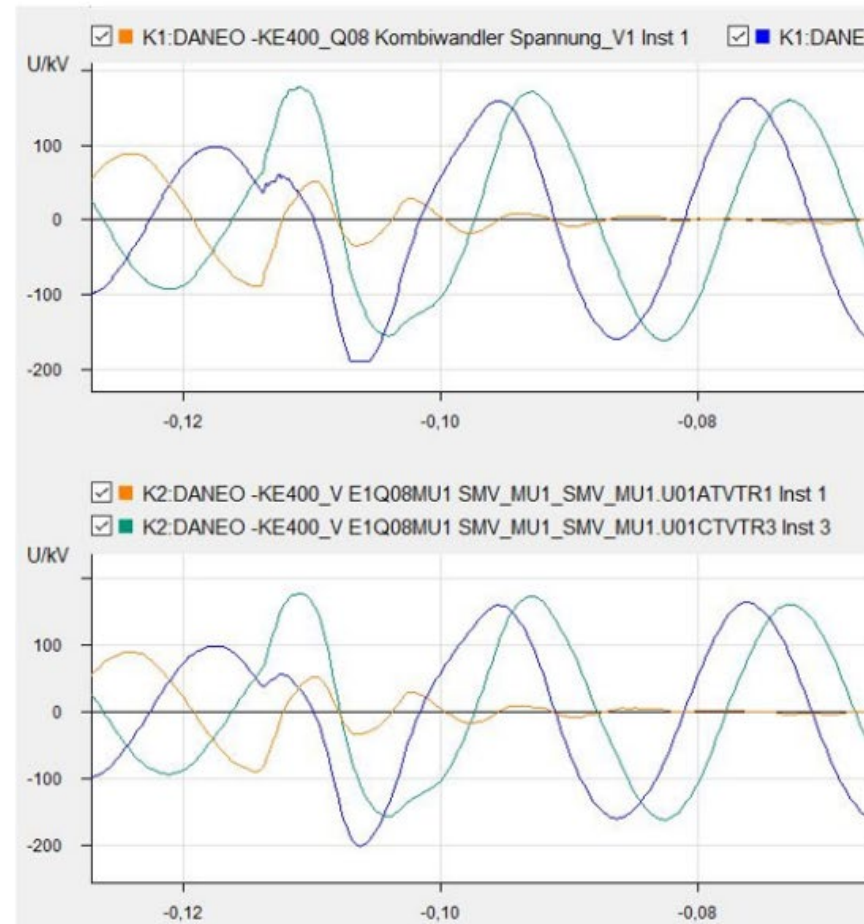
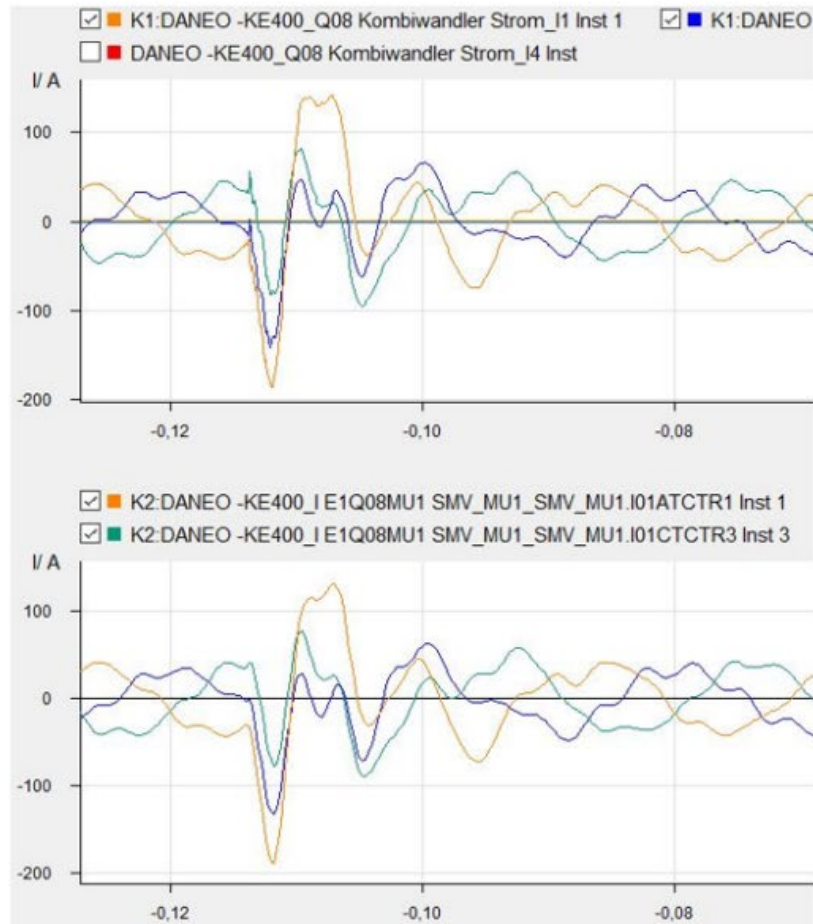
Schutzprüfung



Einspeisung (800A) über die isolierten Erder



Erdschluss im 110-kV-Netz



Kombiwandler

(aus Signalanalysator
mit 10 kHz Sample)

LPIT

(aus Merging Unit
mit 4 kHz Sample)

Primärprüfungen

- Alle normgerechten Typ- und Stückprüfungen bestanden
- Keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Qualitätsverfahren für synthetische Luft und SF₆
- Für die Stückprüfung und Dichtheitsprüfung vor Ort wurde Helium als Prüfgas verwendet
- TE-Messung vor Ort ohne Beanstandung
- Leichte Undichtigkeiten in wenigen Bausteinen erkannt – Nacharbeiten **abgeschlossen**



- Die Kombination aus SF₆-freier Technologie und kompakten Kleinsignalwandlern (LPIT) ist zukunftsweisend.
- Synthetische Luft ist sicher mit Blick auf zukünftige gesetzliche PFAS- und F-Gas-Beschränkungen.
- Leichte Undichtigkeiten in wenigen Bausteinen erkannt – Nacharbeiten **abgeschlossen**.
- Schutz- und Leittechnik mit Prozessbus führt derzeit noch zu einem höheren Aufwand für Engineering und Material, insbesondere bei der erstmaligen Implementierung solcher Systeme und bei Anlagen mit wenigen Feldern.
- Zukünftige, verbesserte Engineering- und Testtools werden den Aufwand reduzieren.
- Für eine herstellernerneutrale Analogschnittstelle müssen die IEC-Normen für LPITs mit Blick auf hochgenaue und Hochspannungs-GIS-Anwendungen erweitert werden (Temperaturgang- und Übersprechkompensation). DKE471 hat einen entsprechenden Vorschlag erarbeitet, der noch in diesem Jahr in IEC 61869-7 und -8 veröffentlicht werden soll.

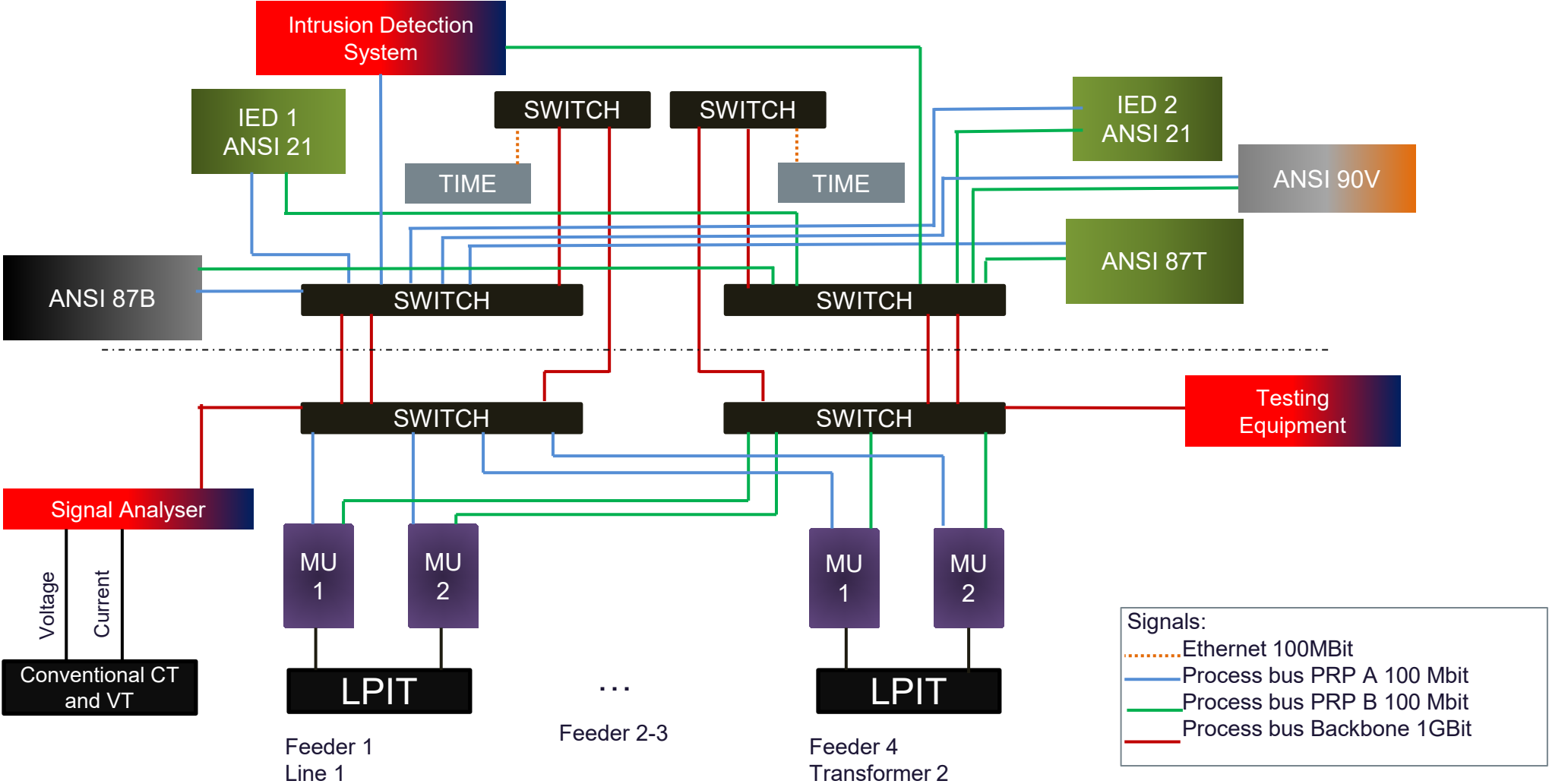
Vielen Dank!



- ❖ Peter Menke, Mark Kuschel
(Siemens Energy)
- ❖ Marcel Engel, Fred Oechsle
(Netze BW)

BACKUP





Technische Daten LPITs für 8DN8 und 8VN1



Würden vorschlagen das wegzulassen

Allgemein	LPIT-145 (8DN8)	LPIT-145 (8VN1)	LPIT-170 (8DN8)
Bemessungs-Isolationspegel	145 / 275 / 650 kV	145 / 275 / 650 kV	170 / 325 / 750 kV
Bemessungsfrequenz f_r	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Thermischer Bemessungskurzzeitstrom I_{th}	50 kA (3 s)	50 kA (3 s)	63 kA (3 s)
Temperaturbereich	-30°C / +55°C	-30°C / +55°C	-30°C / +55°C
Gewicht	100 kg	185 kg	185 kg
Messung von Oberschwingungen bis	50	50	50
Verwendete Norm	IEC 61869	IEC 61869	IEC 61869
LPCT			
Primärer Bemessungsstrom I_{pr}	200 A	200 A	200 A
Bemessungsgenauigkeitsklasse	0.2S / 5P250 / 2TPM	0.2S / 5P250 / 2TPM	0.2S / 5P315 / 2TPM
Faktor des erweiterten primären Bemessungsstromes K_{pcr}	15,75	15,75	20
Faktor des symmetrischen Bemessungskurzschlussstromes K_{ssc}	250	250	315
LPVT			
Bemessungs-Primärspannung U_{pr}	66 bis 138 / $\sqrt{3}$ kV	66 bis 138 / $\sqrt{3}$ kV	66 bis 154 / $\sqrt{3}$ kV
Bemessungsgenauigkeitsklasse	0,2 P	0,2 P	0,2 P
Bemessungsspannungsfaktor F_V und zulässige Dauer	3 / 2000 h	3 / 2000 h	3 / 2000 h

Ein Gerät für 50 Hz und 60 Hz

Hochgenau auch bei Oberschwingungen. Abtastrate 16.000 Hz

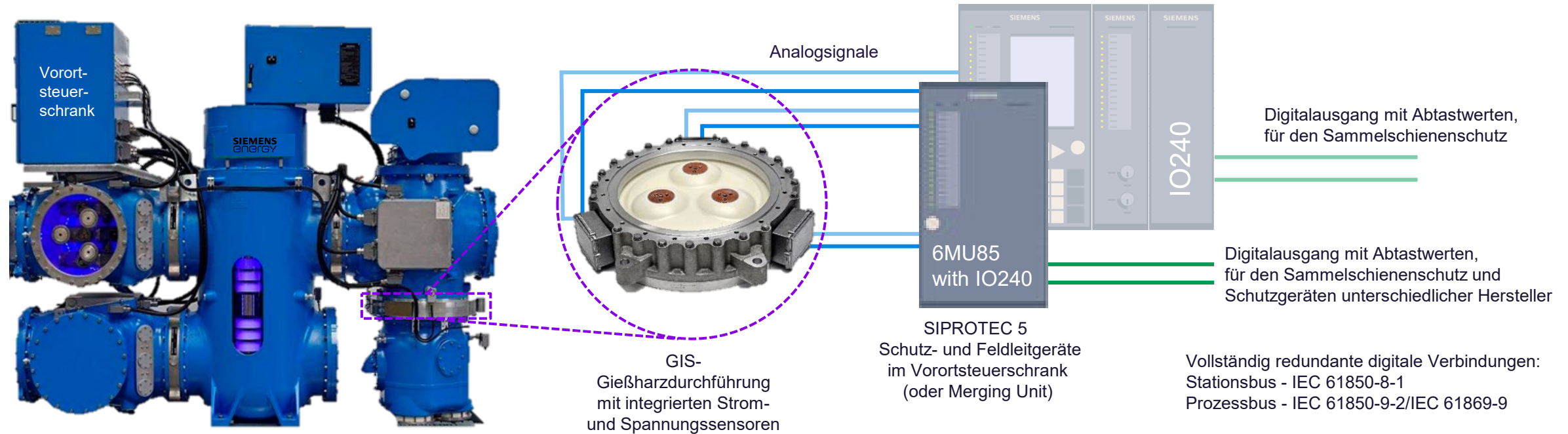
Genauigkeitsanforderungen für Schutz (Gesamtfehler und Momentanfehler) werden bis zu I_{th} erfüllt. (2TPM entspricht der konventionellen Klasse TPZ, jedoch mit einem Fehler von 2% statt 10%)

0,2% Genauigkeit von 200 A bis zum max. thermischen Dauerstrom

Neue Genauigkeitsklasse für Mehrzweck-LPVTs (höhere Anforderungen im Vergleich zu 0,2 / 3P)

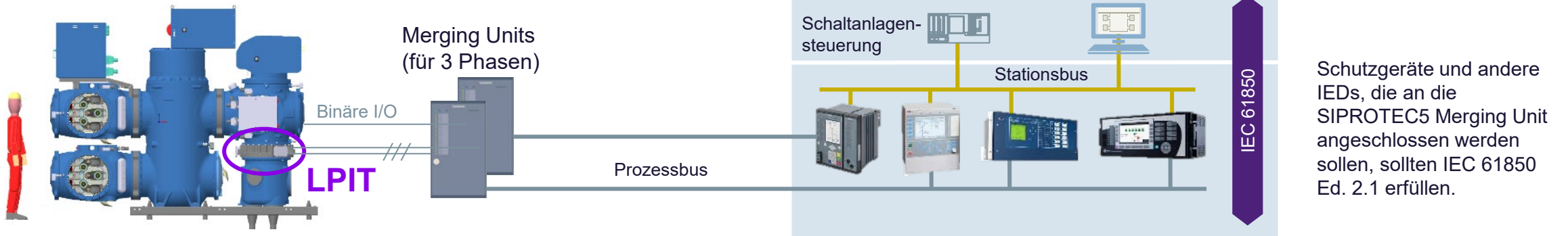
Ausgezeichnetes Überspannungsverhalten; kein Freischnalten bei Prüfungen notwendig.

GIS 8VN1 mit LPITs

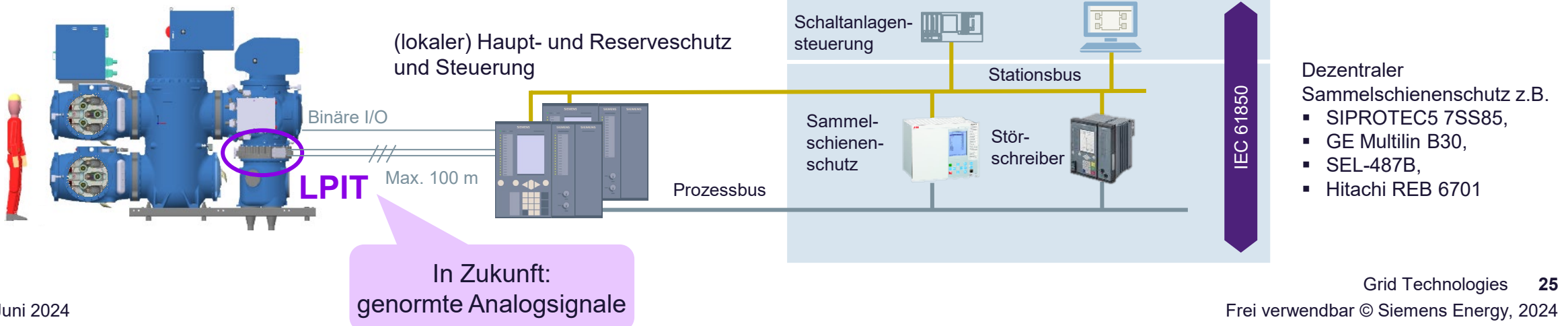


1. **Kombinierter** elektronischer Kleinsignal-Spannungs- und Stromwandler nach IEC 61869
2. **Redundant**: zwei Stromsensoren und ein Spannungssensor in jedem Feld
3. **Vielseitig einsetzbar**: ein Gerät für Schutz und Messung
4. **Standardisiert**: dasselbe Gerät kann für alle für die GIS zugelassenen Nennströme verwendet werden
5. **Flexible** Montage überall in der GIS

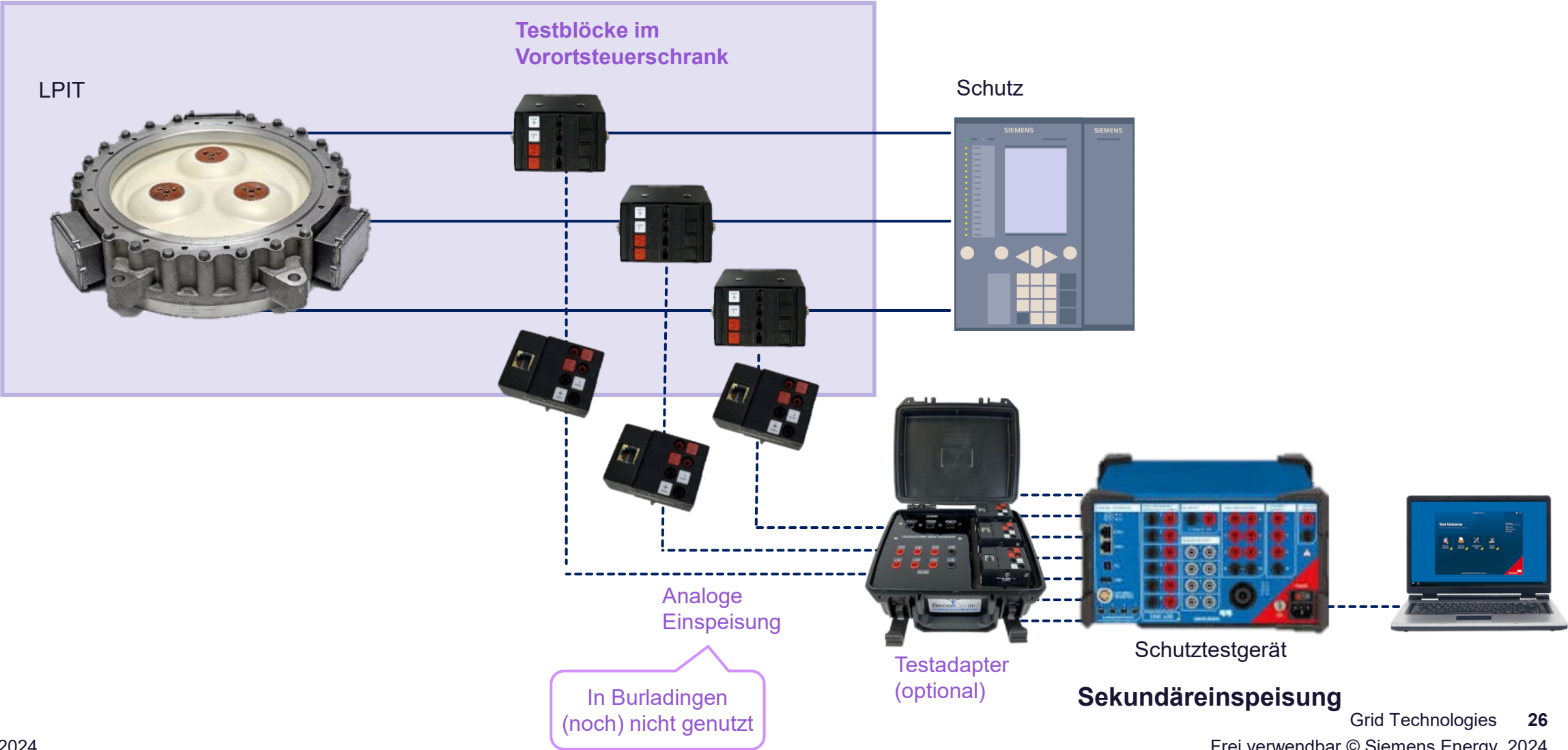
Über eine Merging Unit



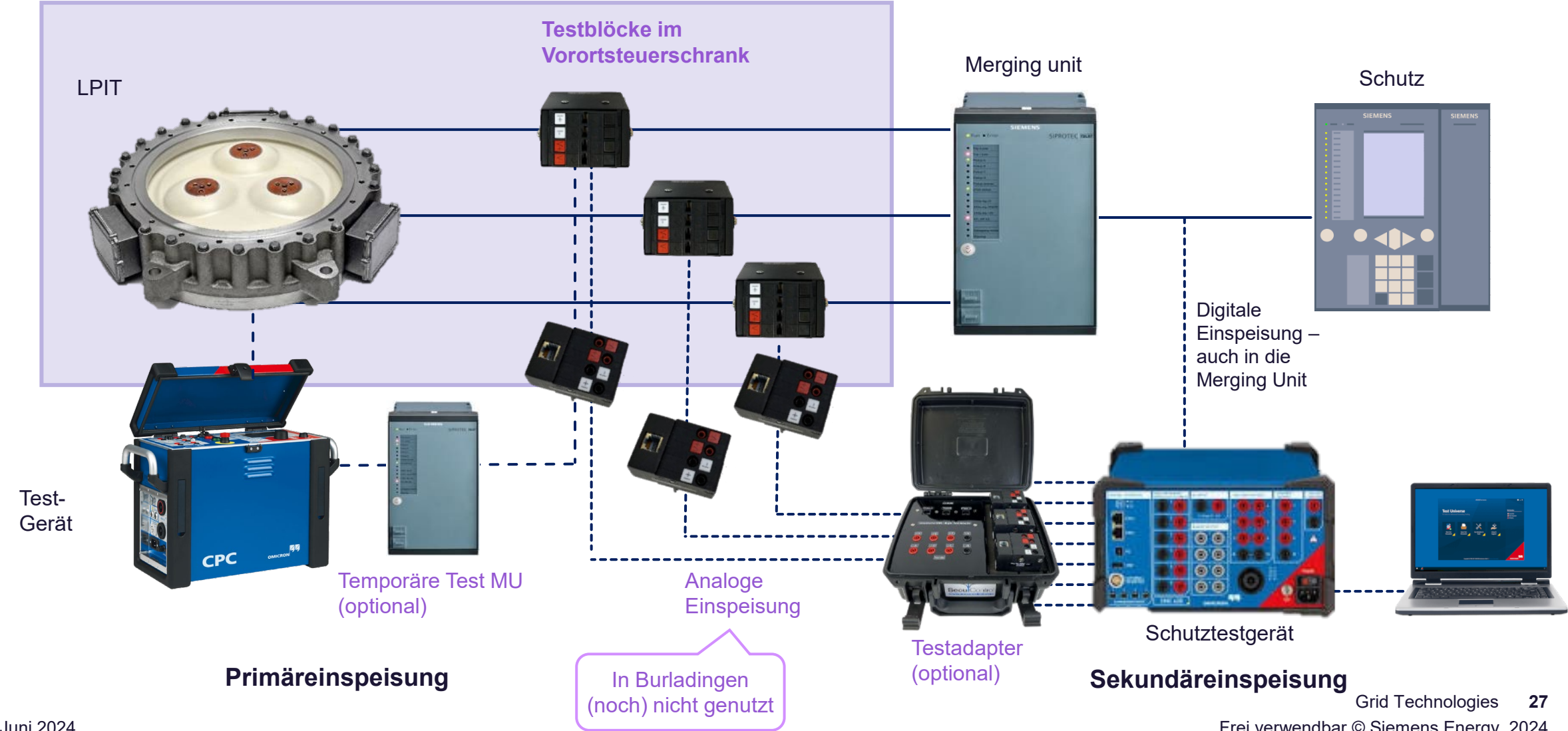
Direkt zu einem Schutz/Feldleitgerät



(Verbessertes) Testkonzept



(Verbessertes) Testkonzept



Verrechnungszählung mit LPIT



plombierbar



plombierbar



Prozessbus zum Anschluss
des Schutz- und Leitsystems
- sofern vom Kunden akzeptiert

Prozessbus Punkt-zu-Punkt
- plombierbar



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut



Prüfbericht

Test Report

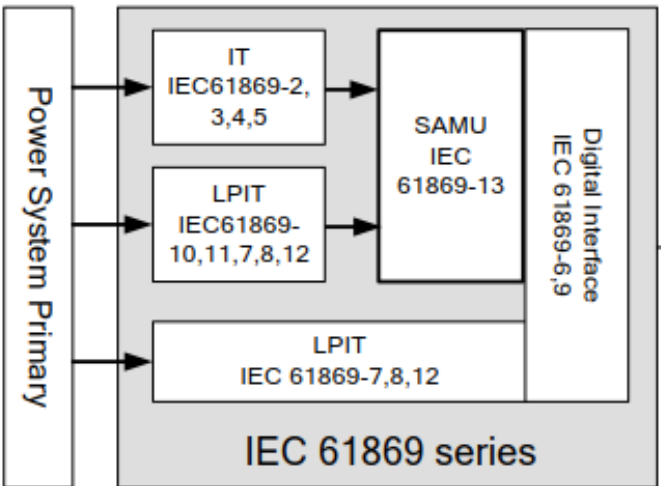


Landis+Gyr E880

<https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e880/>



Referenzen:
z.B. Rte (Frankreich),
Landsnet (Island),
Arva (Norwegen)



IEC 61850-9-2



IEC TS
62053-25



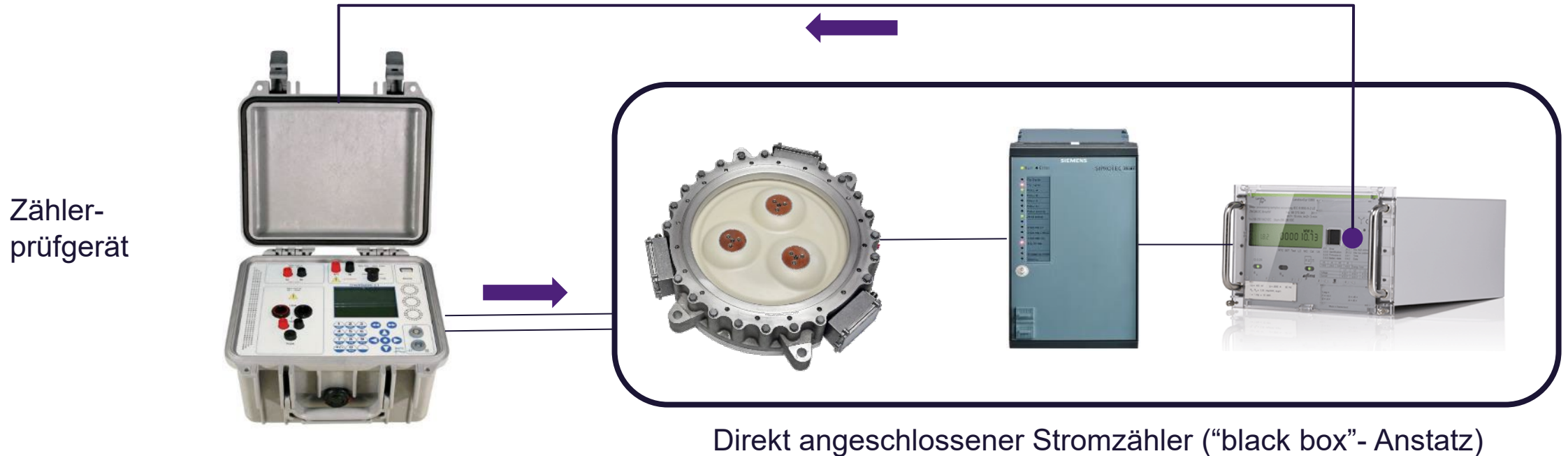
Verrechnungsmessung

**In Arbeit in
IEC TC13 WG11**

IEC 62055 Reihe
IEC 62056 Reihe



MID-Konformitätsprüfung nach DIN EN IEC 62052-11 mir IEC/IEEE 61869-21



Direkt angeschlossener Stromzähler ("black box"- Ansatz)

DIN EN IEC 62052-11

“Zähler, die für den Betrieb mit Kleinsignal-Messwandlern (LPIT, en: low power instrument transformer; entsprechend der Normenreihe IEC 61869) vorgesehen sind, dürfen ... auf ihre Übereinstimmung mit diesem Dokument und den relevanten Dokumenten der Reihe IEC 62053 geprüft werden, wenn sie zusammen mit ihren LPIT als direkt angeschlossene Zähler geprüft werden..”

IEC/IEEE 61869-21 zur Überprüfung der Messgenauigkeit von Messwandlern

“7.9 Direct accuracy test with lower test magnitudes...

... The deviation between the test results at rated current/voltage and the test results at the intended [lower] test points shall be added to the uncertainty of the ... accuracy test setup.”

Durchführung der Prüfung in der Praxis



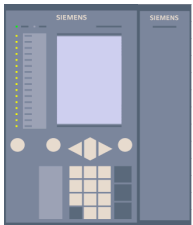
Schutzkonzept



Netze BW



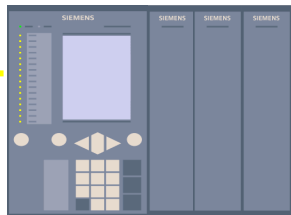
LINE PROTECTION



FUNCTION	LINE PROTECTION
	DISTANCE PROTECTION
	MONITORING
	EARTH FAULT LOCATION

FUNCTION	BUSBAR PROTECTION
	DIFFERENTIAL PROTECTION
	CIRCUIT BREAKER FAILURE
	MONITORING

BUSBAR PROTECTION



Process bus with
Current measurements,
Voltage measurements,
commands and
messages

Process bus with Current measurements,
commands and messages

MU1

MU2



LPIT Ch1

Trip CB

LPIT Ch2

FUNCTION	MERGING UNIT 1
	WITHOUT PROTECTION FUNCTIONS

FUNCTION	MERGING UNIT 2
	BACKUP OVERCURRENT

Technische Daten LPITs für 8DN8 und 8VN1



Allgemein	LPIT-145 (8DN8)	LPIT-145 (8VN1)	LPIT-170 (8DN8)
Bemessungs-Isolationspegel	145 / 275 / 650 kV	145 / 275 / 650 kV	170 / 325 / 750 kV
Bemessungsfrequenz f_r	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Thermischer Bemessungskurzzeitstrom I_{th}	50 kA (3 s)	50 kA (3 s)	63 kA (3 s)
Temperaturbereich	-30°C / +55°C	-30°C / +55°C	-30°C / +55°C
Gewicht	100 kg	185 kg	185 kg
Messung von Oberschwingungen bis	50	50	50
Verwendete Norm	IEC 61869	IEC 61869	IEC 61869
LPCT			
Primärer Bemessungsstrom I_{pr}	200 A	200 A	200 A
Bemessungsgenauigkeitsklasse	0.2S / 5P250 / 2TPM	0.2S / 5P250 / 2TPM	0.2S / 5P315 / 2TPM
Faktor des erweiterten primären Bemessungsstromes K_{pcr}	15,75	15,75	20
Faktor des symmetrischen Bemessungskurzschlussstromes K_{ssc}	250	250	315
LPVT			
Bemessungs-Primärspannung U_{pr}	66 bis 138 / $\sqrt{3}$ kV	66 bis 138 / $\sqrt{3}$ kV	66 bis 154 / $\sqrt{3}$ kV
Bemessungsgenauigkeitsklasse	0,2 P	0,2 P	0,2 P
Bemessungsspannungsfaktor F_V und zulässige Dauer	3 / 2000 h	3 / 2000 h	3 / 2000 h

Ein Gerät für 50 Hz und 60 Hz

Hochgenau auch bei Oberschwingungen. Abtastrate 16.000 Hz

Genauigkeitsanforderungen für Schutz (Gesamtfehler und Momentanfehler) werden bis zu I_{th} erfüllt. (2TPM entspricht der konventionellen Klasse TPZ, jedoch mit einem Fehler von 2% statt 10%)

0,2% Genauigkeit von 200 A bis zum max. thermischen Dauerstrom

Neue Genauigkeitsklasse für Mehrzweck-LPVTs (höhere Anforderungen im Vergleich zu 0,2 / 3P)

Ausgezeichnetes Überspannungsverhalten; kein Freischalten bei Prüfungen notwendig.



LPIT Durchführung

- Die LPIT-Durchführung ist ähnlich aufgebaut wie eine herkömmliche Gießharz-Durchführung. Die eingebetteten Sensoren sind vollständig passiv (nur Kupferdraht).
- Künstliche Alterungsprüfung mit 3 x Bemessungsspannung für 2000 h.
- Die Leiterplatte des Anschlusskastens hat eine berechnete MTBF bei 40°C von 397 Jahren und eine berechnete MTBF bei 75°C von 86 Jahren. Die realen MTBFs sind in der Regel noch höher als die berechneten MTBFs.
- Daher erwarten wir eine sehr lange Lebensdauer, die mindestens der von konventionellen Messwandlern entspricht, ohne Auswirkungen auf die Gesamtlebensdauer des GIS.

IO240

- Das SIPROTEC5 IO240 Modul hat eine ähnliche Lebensdauer wie andere SIPROTEC5 IO Module: Berechnete MTBF bei 40°C = 25 Jahre, Berechnete MTBF bei 75°C = 8 Jahre. Die reale MTBF ist in der Regel noch höher als die berechnete MTBF.

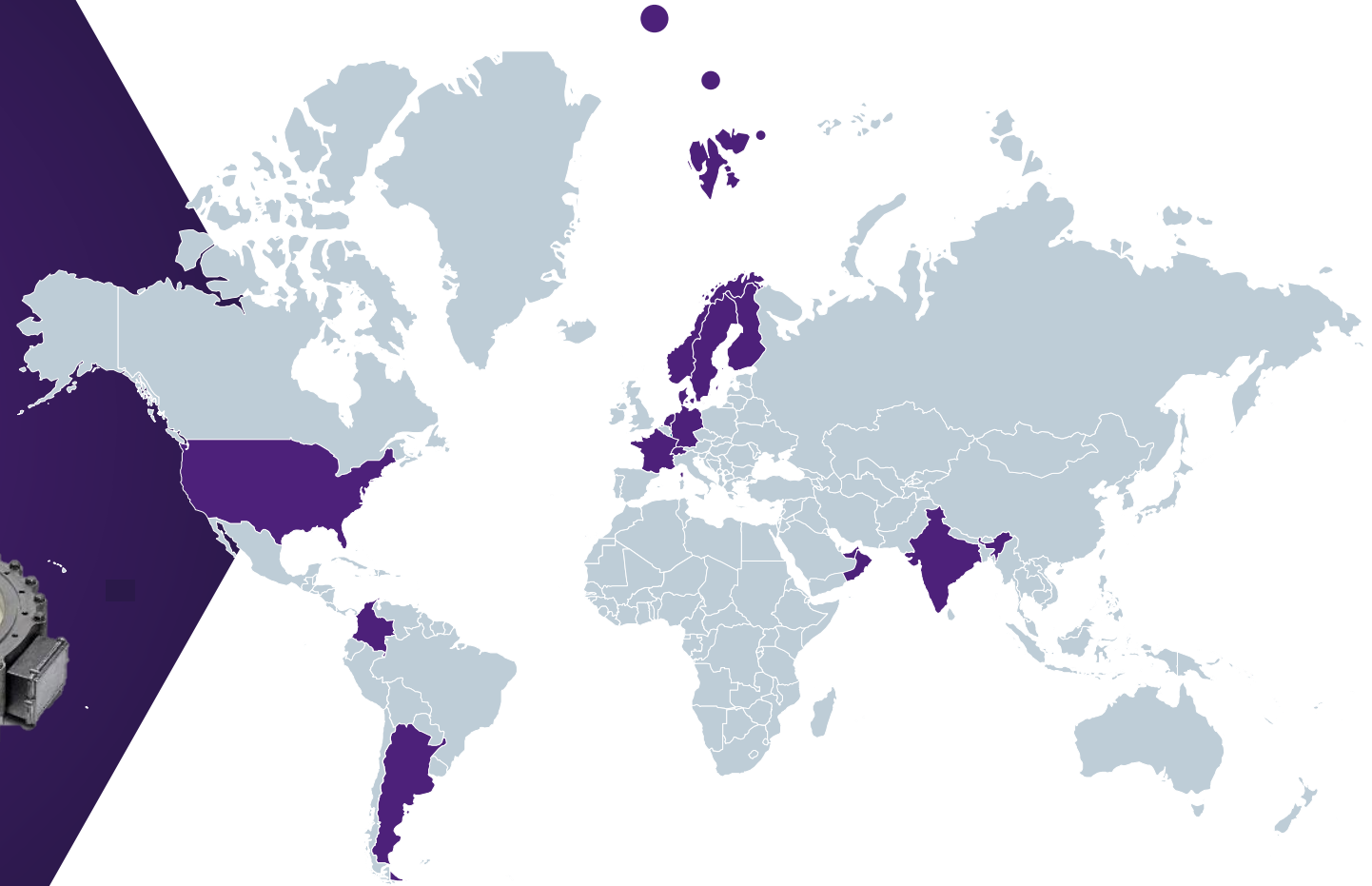
Ersatzteile

- Alle Komponenten (außer der Durchführung) können ausgetauscht werden, ohne dass eine Neukalibrierung erforderlich ist.
- SE wird das LPIT-Portfolio weiter ausbauen, um den Nutzen für unsere Kunden zu maximieren. Dazu gehört eine langfristige Zusammenarbeit mit der Siemens AG. Darüber hinaus garantiert SE die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren nach Abkündigung des Produkts.
- Typischerweise bieten wir geeignete Ersatzlösungen während der gesamten GIS-Lebensdauer von >50 Jahren an.

Weltweite Projektreferenzen

> 2.000.000
Betriebsstunden in 10/2023

SIEMENS
ENERGY



Weltweite Projekte seit 2017

- Projekte*: 45
- LPITs*: 307
- Finnland, Frankreich, Deutschland, Norwegen, Schweiz, VAE, Indien, USA, Oman, Niederlande, Dänemark, Argentinien, Schweden, Kolumbien



Warum kein LPIT?

Bewährt	 >250 installierte Geräte, >2.000.000 Betriebsstunden.
Bereit...	... für Schutz- und Leittechnik  Kompatibel mit IEC 61850-9-2. Interoperable Steuer- und Schutzgeräte von verschiedenen Herstellern verfügbar.
	... für Messung  Kompatibel mit Landis+Gyr E880. Die Zertifizierung für die Verrechnungszählung als MID-Zähler mit LPITs ist in Arbeit.
	... für Spezialanwendungen  Netzqualität (50. Oberschwingung), Leistungsschalterüberwachung (Kontaktabbrand), Gesteuertes Schalten über SIPROTEC5-Funktionen
Einfach ...	... zu prüfen  LPIT- und Prüfgeräte sind im Handel erhältlich. Keine Trennung des Spannungswandlers während der HS-Prüfung.
	... zu warten  Die Durchführung ist wartungsfrei. Die elektronischen Komponenten können ohne Neukalibrierung ausgetauscht werden.
	... zu konstruieren  Ein Standardgerät für alle Anwendungen und Nennströme.
Flexibel	 Einbau "überall" in der GIS. Kombinierbar mit konventioneller Messwandlern.
Langlebig	 Passive Sensoren. Keine aktive Elektronik in der Nähe der primären Teile der GIS.
Sicher	 Keine gefährlichen Überspannungen an den Sekundärklemmen.
Zukunftsfähig	 Der Nennstrom kann durch Parameteränderung erhöht werden.

Vielen Dank!



Siemens Energy Global GmbH & Co. KG
Transmission
Switching Products & Systems

E-mail:

support.energy@siemens-energy.com
circuit-breaker@siemens-energy.com

Weitere Informationen:

- [Siemens Energy Transmission Products](#)
- [Siemens Energy Gas-Insulated Switchgear](#)

siemens-energy.com