



DIE WELT DER TRANSIENTEN IM NETZ

Stephan Pack
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., Diplomierter Umwelttechniker

Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz

Energiesysteme im Umbruch IX, 11.10.2021

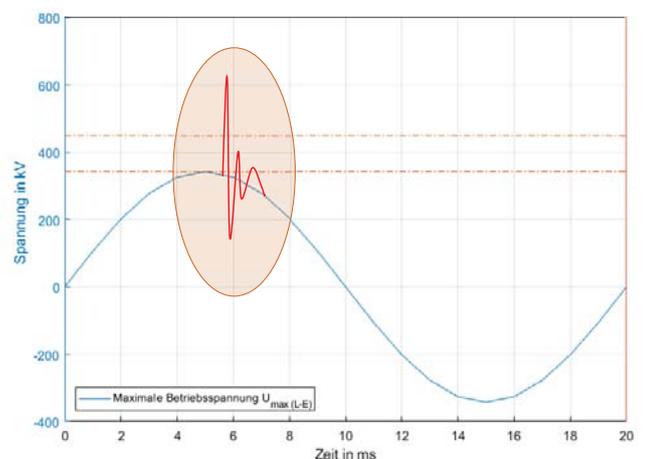


Die Welt der transienten im Netz



Transiente Spannungen im Netz

- Entstehung und Auswirkungen
 - Begriffe und Definitionen
 - Ursachen
- Sichtbarkeit und Wirkungsbereich
 - Klassifikation
 - Kenngrößen
 - Aufzeichnung
- Aktuelle Untersuchungen



Begriffe und Definitionen

- Begriffsdefinition „Transiente“
 - Allgemein: „Vorübergehende Abweichung vom Normalbetrieb“
 - Elektrotechnik: „Nicht betriebsfrequente Spannung“
- Transiente Spannung
 - Kurzzeitig auftretende Spannung im System
 - Überspannung, Überschreitung des höchstzulässigen Wert der Dauerbetriebsspannung
 - Abweichung von der Grundfrequenz
- Transiente Spannungen treten in Hochspannungssystemen beim Übergang von einem stationären Zustand in einen anderen auf

Ursachen

- Innere Überspannungen
 - Geplante Schalthandlungen
 - Einschalten, Ausschalten
 - Schalten induktiver/kapazitiver Ströme
 - Ungeplante Schalthandlungen
 - Abschalten von Fehlern
- Äußere Überspannungen
 - Atmosphärische Entladungen
 - Direkter, indirekter Einschlag



Ursachen – Frequenzbereiche

Ursache	Frequenzbereiche
Lastabwurf	Bis 3 kHz
Eintritt eines Fehlers	Bis 20 kHz
Abschalten eines Fehlers	Bis 3 kHz
Einschalten und Wiederzuschalten von Leitungen	Bis 20 kHz
Einschwingen bei Stationskurzschlüssen	Bis 20 kHz
Einschwingen bei Abstandskurzschlüssen	Bis 100 kHz
Mehrfaches Wiederzünden in Leistungsschaltern	10 kHz bis 1 MHz
Fehler in Schaltanlagen	10 kHz bis 3 MHz
Atmosphärische Überspannungen	10 kHz bis 1 MHz
Atmosphärische Überspannungen mit nachfolgendem Spannungszusammenbruch	10 kHz bis 5 MHz
Schaltspannungen mit Vakuumschaltern	10 kHz bis 10 MHz
Schalthandlungen oder Fehler in gasisolierten Schaltanlagen	100 kHz bis 300 MHz

Klassifikation – Kategorie und Form

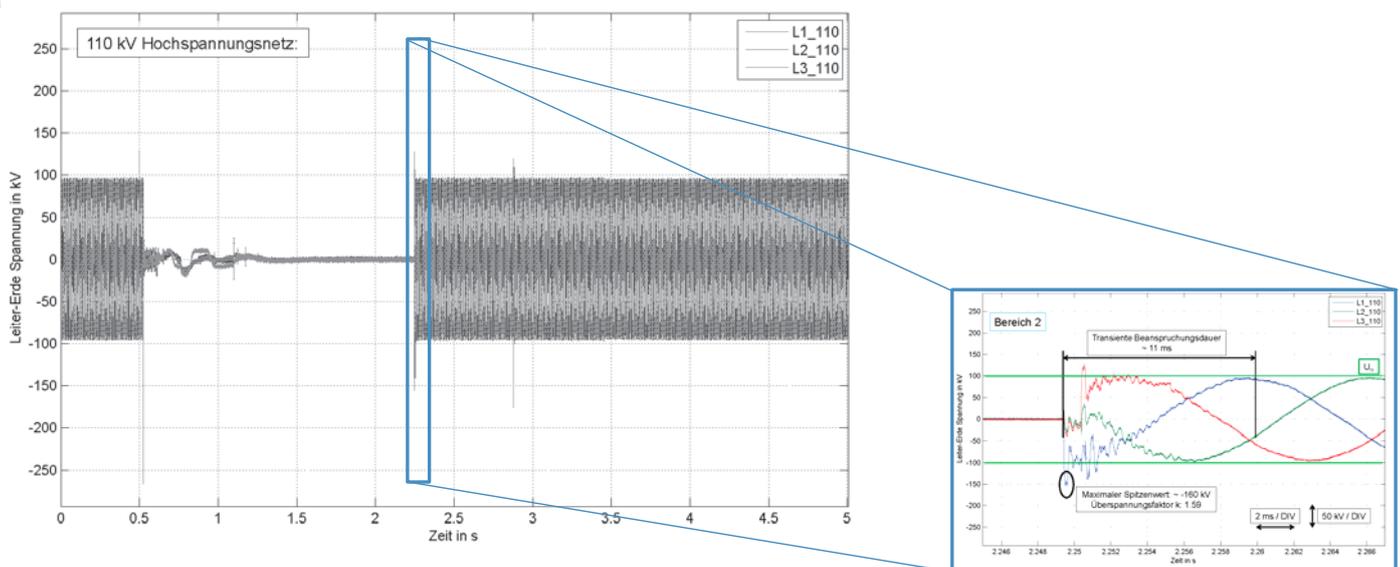
Klasse	Betriebsfrequent		Transient		
	Dauerspannung	Zeitweilige Überspannung	Langsam ansteigende Überspannung	Schnell ansteigende Überspannung	Sehr schnell ansteigende Überspannung
Definition	Kontinuierlich anliegende netzfrequente Spannung mit kontantem Effektivwert	Netzfrequente Überspannung relativ langer Dauer	Kurzzeitige Überspannung mit einer Dauer von wenigen Millisekunden oder weniger, schwingend oder nicht schwingend, normalerweise stark gedämpft.		
Kurvenform	 $f = 50 \text{ Hz}, 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3600 \text{ s}$	 $10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_t \geq 0,03 \text{ s}$	 $20 \mu\text{s} < T_p \leq 5000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	 $0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	 $100 \text{ ns} \geq t_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_1 \leq 3 \text{ ms}$
Stand. Kurvenform	$f = 50 \text{ Hz oder } 60 \text{ Hz}$	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	

DIN EN 60071-1, 2010-09, adaptiert

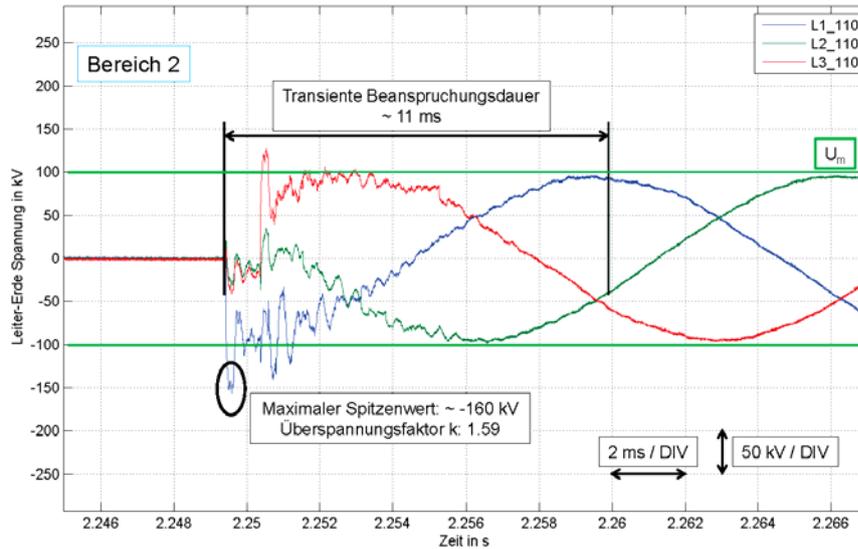
Kenngrößen – Spannungsart, Scheitelwert, Frequenzbereich

Transient			
Überspannungskategorie	Spannungsart	Scheitelwert	Frequenzbereich
Langsam ansteigende Überspannung	Schaltspannungen in Freiluft- und Innenraumanlagen	1,0 p.u. bis 2,5 p.u. (4 p.u.)	bis 20 kHz
Schnell ansteigende Überspannung	Atmosphärische Überspannungen	1,0 p.u. bis 5,0 p.u. (6 p.u.)	10 kHz bis 5 MHz
Sehr schnell ansteigende Überspannung	Schaltspannungen in gasisolierten Schaltanlagen	0,5 p.u. bis 2,0 p.u. (2,5 p.u.)	100 kHz bis 300 MHz

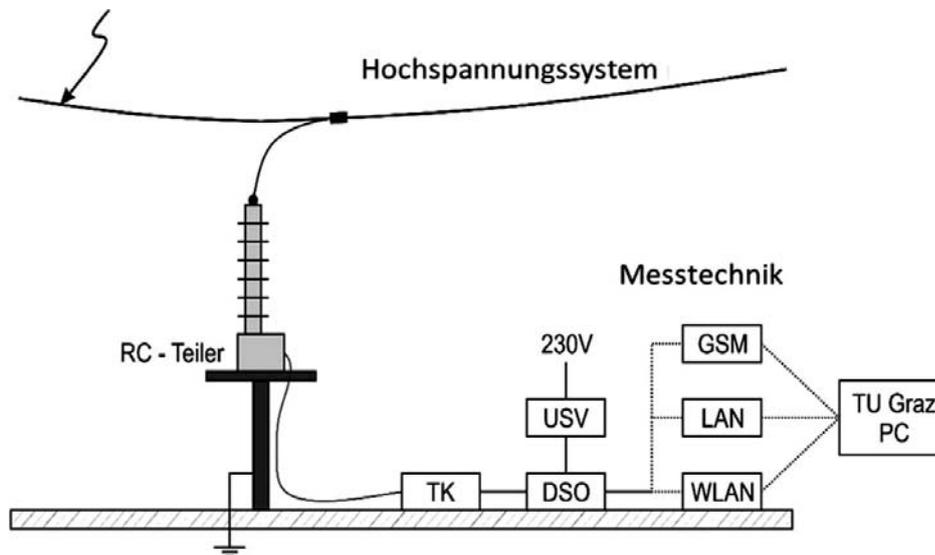
Kenngrößen – Abschalten eines Fehlers und Wiedertzuschalten



Kenngrößen – Transienter Verlauf Wiederschalten



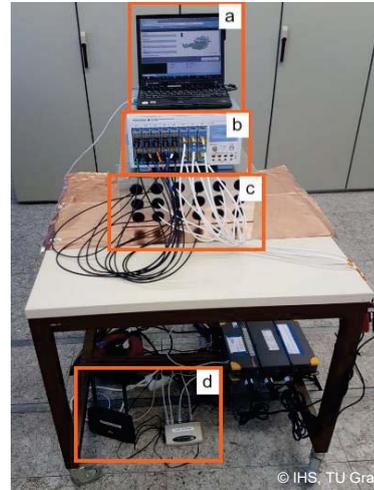
Aufzeichnung transienter Spannungen – Messprinzip



Aufzeichnung transientser Spannungen – Vorort-Aufbau



Installierte 400-kV-RC-Teiler (orange)



Datenaufzeichnung im Umspannwerk: (a) Messrechner, (b) Oszilloskop, (c) Tastkopfsystem, (d) Remotezugriff

Aktuelle Untersuchungen im Netz der APG

- 13.800 transiente Datensätze, IHS
- Messungen mit ohmsch-kapazitiven Spannungsteilern (RC-Teiler)
- Zeitraum von 2017 – 2019
- Vier Umspannwerke (UW)
- Korrelation mit
 - Schaltmeldeprotokollen (SMP), APG
 - Blitzortungsdaten (LLS), ALDIS



© IHS, TU Graz

Aktuelle Untersuchungen im Netz der APG

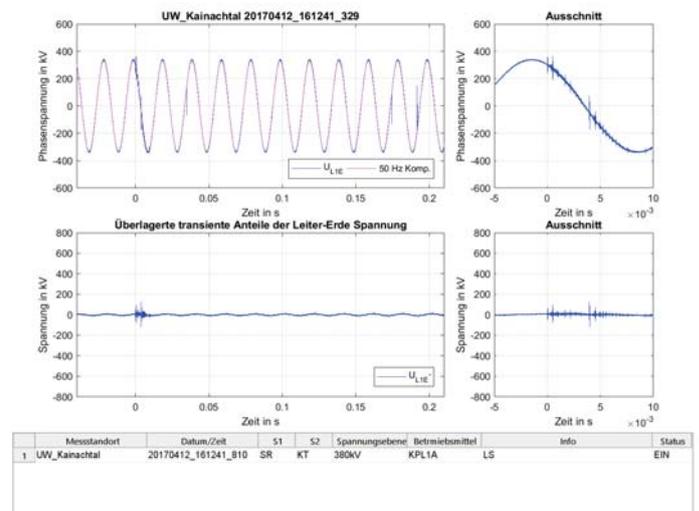
- 13.800 transiente Datensätze, IHS
- Messungen mit ohmsch-kapazitiven Spannungsteilern (RC-Teiler)
- Zeitraum von 2017 – 2019
- Vier Umspannwerke (UW)
- Korrelation mit
 - Schaltmeldeprotokollen (SMP), APG
 - Blitzortungsdaten (LLS), ALDIS



LLS-Daten im Korridor ± 3 km
Messstandorte 380 kV (rot) und 220 kV (grün)

Datenbehandlung – 50-Hz-Spannung

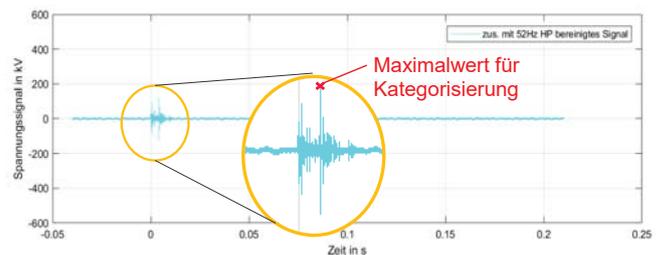
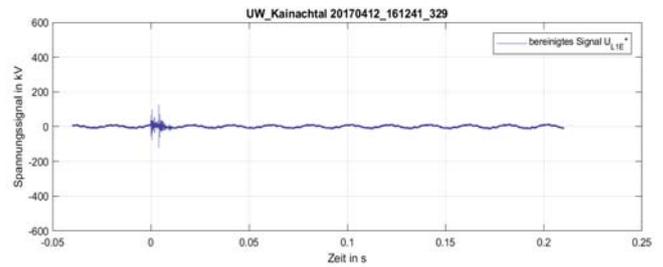
- Phasenlage und Amplitudenwert der Netzspannung eruieren (Phasenvariation)
- 50-Hz-Sinusanteil generieren und subtrahieren
- Betrachtung der Frequenzanteile größer 52 Hz zur Kategorisierung



50-Hz-Sinussubtraktion zum Herauslösen der überlagerten transienten Anteile

Datenbehandlung – 50-Hz-Spannung

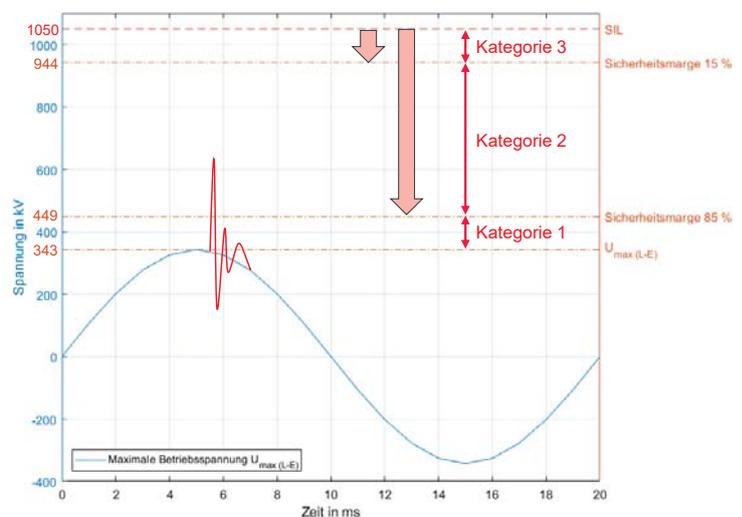
- Phasenlage und Amplitudenwert der Netzspannung eruieren (Phasenvariation)
- 50-Hz-Sinusanteil generieren und subtrahieren
- Betrachtung der Frequenzanteile größer 52 Hz zur Kategorisierung



Endsignalarbeitung zur Kategorisierung nach Maximalwert

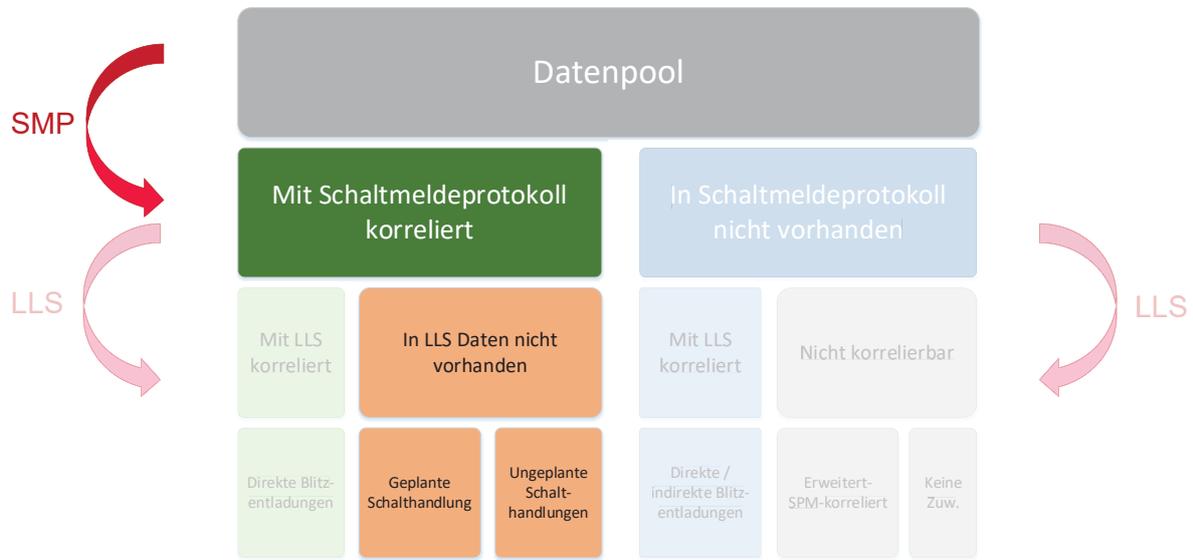
Kategorisierung nach Maximalwert – 380-kV-Ebene

- Gemäß EN 60071-1 genormte Isolationspegel
 - 420 kV, SIL = 1050 kV
 - $U_{\max(L-E)} = 343$ kV
- Festgelegte Grenzwerte
 - 15 % Sicherheitsmarge
 - 85 % Sicherheitsmarge
- Definition der Kategorien 1 - 3

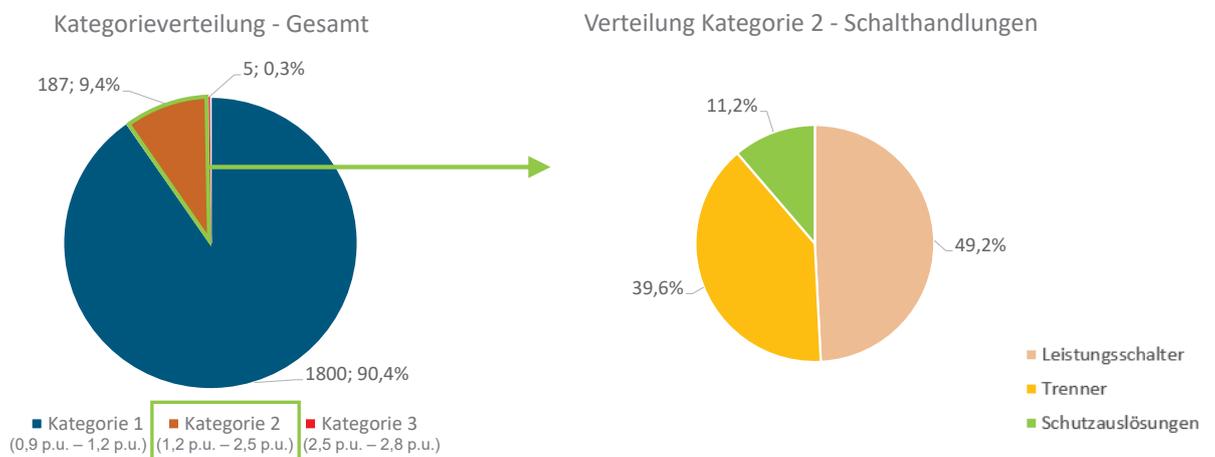


Darstellung der Kategorisierungsmethode für 380 kV

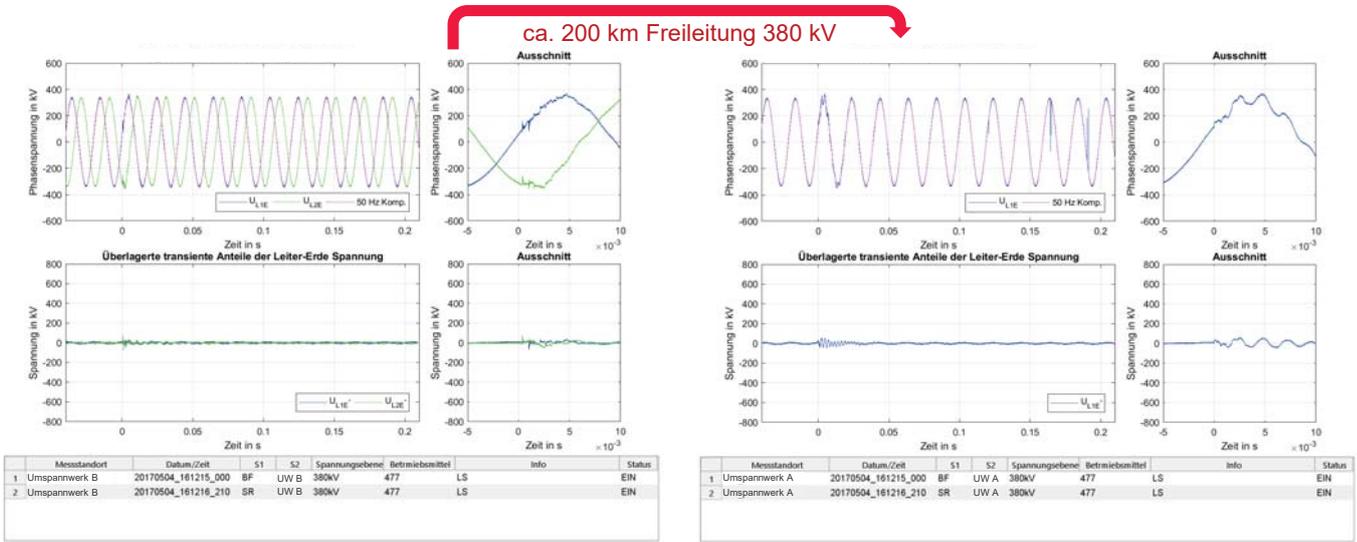
Korrelationsmethode – Zeitintervall ± 1 s



Korrelationsergebnisse – Schaltmeldeprotokol



Sichtbarkeit transienter Spannungen – Zeitgleiche Messung



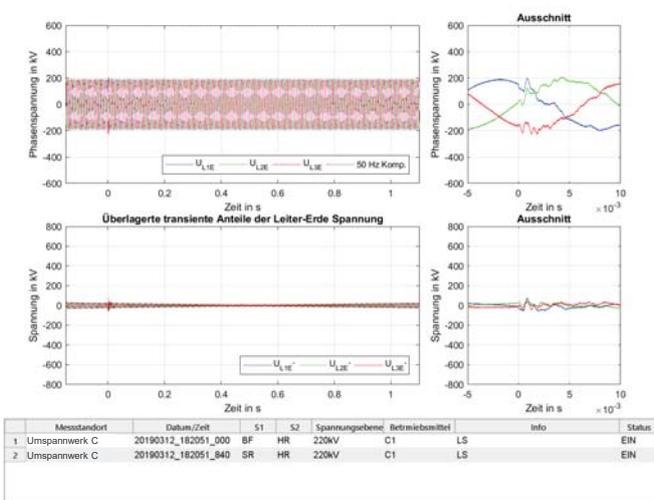
UW B: SMP-Zuordnung, Einschaltung Leistungsschalter (LS) Ltg. 477 im UW B

UW A: SMP-Zuordnung, Einschaltung LS Ltg. 477 im UW B

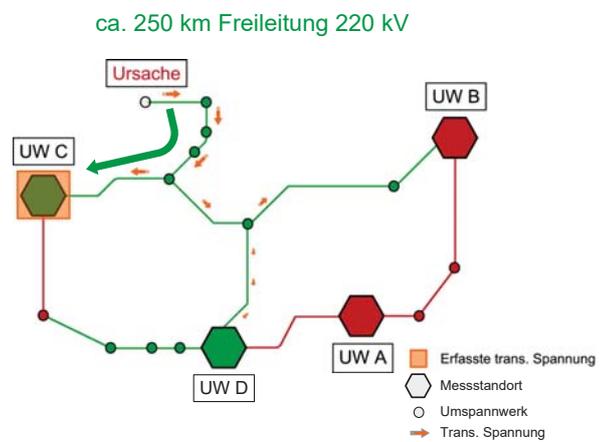
Messtandort	Datum/Zeit	S1	S2	Spannungsebene	Betriebsmittel	Info	Status
1. Umspannwerk B	20170504_161215_000	BF	UW B	380kV	477	LS	EIN
2. Umspannwerk B	20170504_161216_210	SR	UW B	380kV	477	LS	EIN

Messtandort	Datum/Zeit	S1	S2	Spannungsebene	Betriebsmittel	Info	Status
1. Umspannwerk A	20170504_161215_000	BF	UW A	380kV	477	LS	EIN
2. Umspannwerk A	20170504_161216_210	SR	UW A	380kV	477	LS	EIN

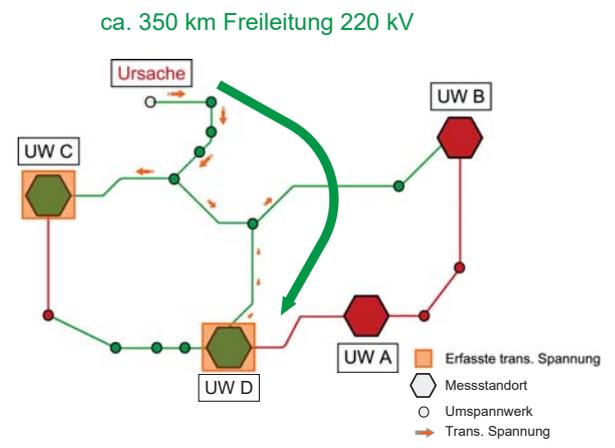
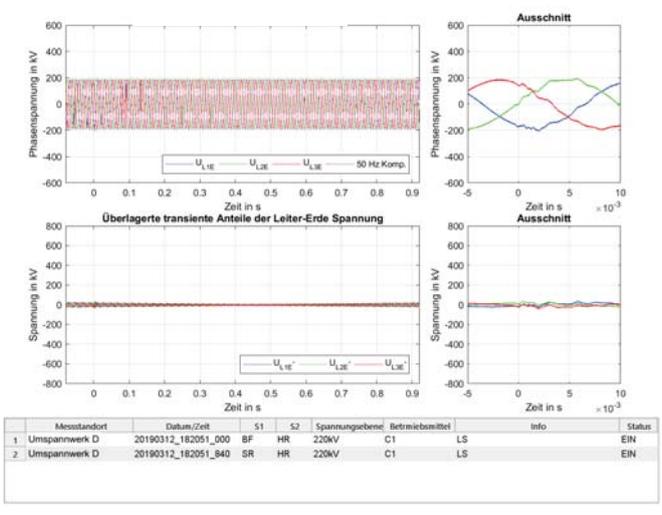
Sichtbarkeit transienter Spannungen – UW C



UW C: SMP-Zuordnung, Einschaltung des LS der Kapazität C1 in 250 km entferntem UW

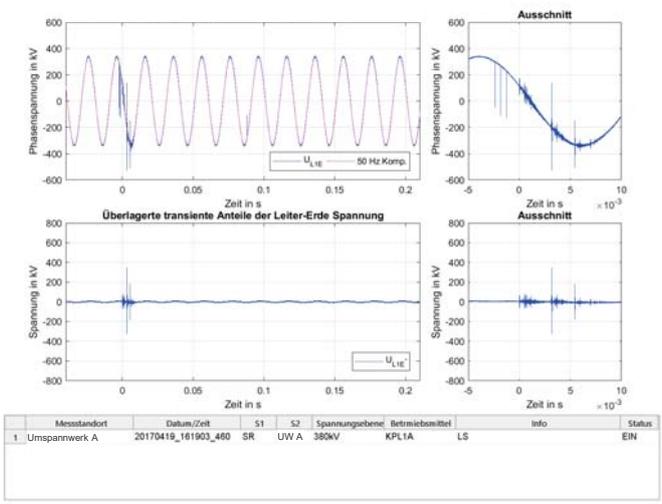


Sichtbarkeit transienter Spannungen – UW D

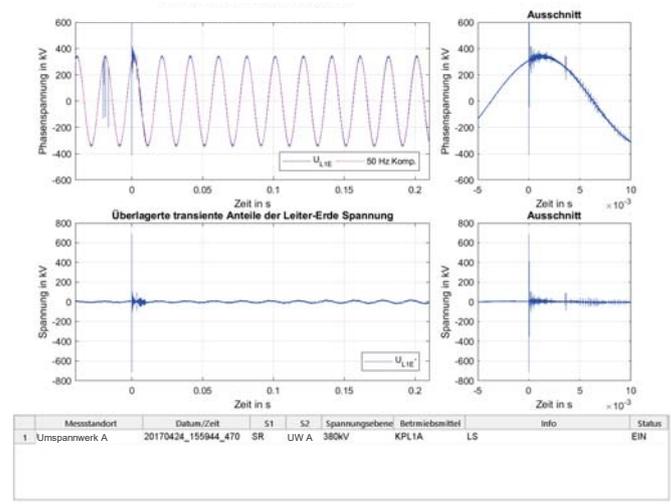


UW D: SMP-Zuordnung, Einschaltung des LS der Kapazität C1 in 350 km entferntem UW

Schalthandlungen nach Betriebsmittel – LS Einschaltung



UW A: 19.04.2017, LS Einschaltung der Kupplung 1A (KPL1A)



UW A: 24.04.2017, LS Einschaltung der KPL1A

Zusammenfassung und Forschungsfragen

- Gesamtkorrelation und Auswertung des Gesamtdatenpools
 - Nach Umspannwerk, nach Maximalwert und nach Betriebsmittel
 - Sichtbarkeit transienter Ereignisse auf Netzebene
 - Auswirkungen identer Schalthandlungen
 - Transiente Ereignisse aus untergeordneten Spannungsebenen
- Zukünftige Forschungsfragen
 - Einfluss des Schaltzustands auf transiente Ereignisse
 - Dämpfung transienter Spannungen entlang von Freileitungen

DIE WELT DER TRANSIENTEN IM NETZ

Stephan Pack
pack@tugraz.at

*Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz*

Energiesysteme im Umbruch IX, 11.10.2021