

**ENERGIE
NETZE**
STEIERMARK

Ein Unternehmen der
ENERGIE STEIERMARK

Herausforderungen und Lösungen bei 110kV Kabelanbindungen dezentraler, erneuerbarer Erzeugungsanlagen - Schutzkonzept



Oliver Skrbinjek
oliver.skrbinjek@e-netze.at



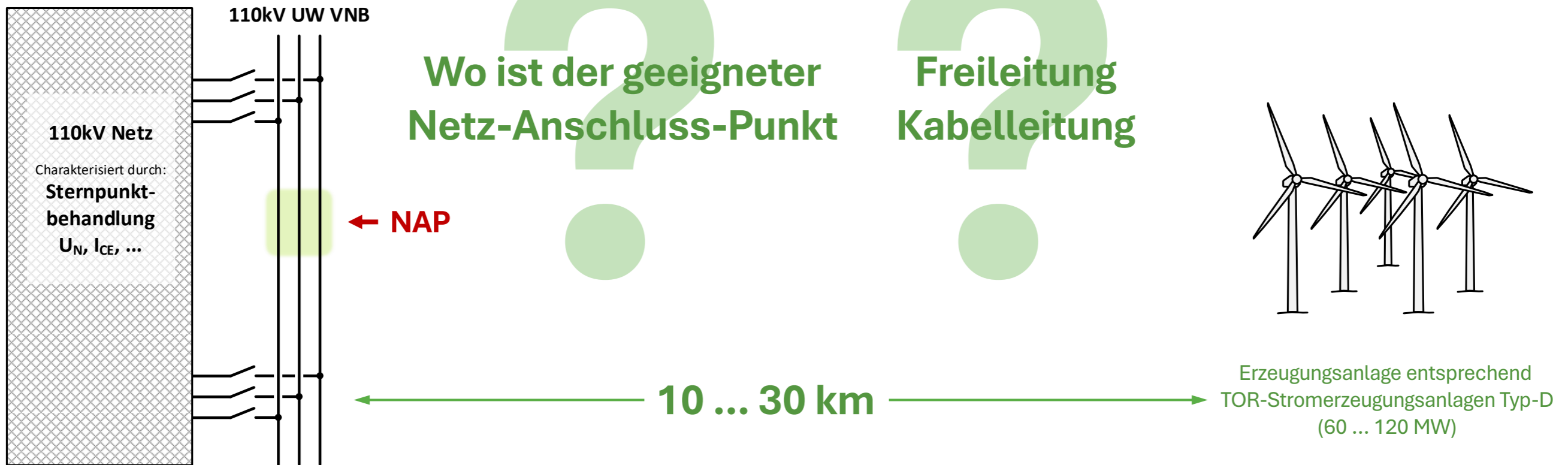
Horst Paar
horst.paar@e-netze.at

■ Agenda

- **Anbindung von DEA's an das 110kV-Netz / Einfluss auf den Netzbetrieb**
- **Problemstellung, Lösungsansatz und Einfluss auf das Netzschutzkonzept**
- **Zusammenfassung**

■ DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

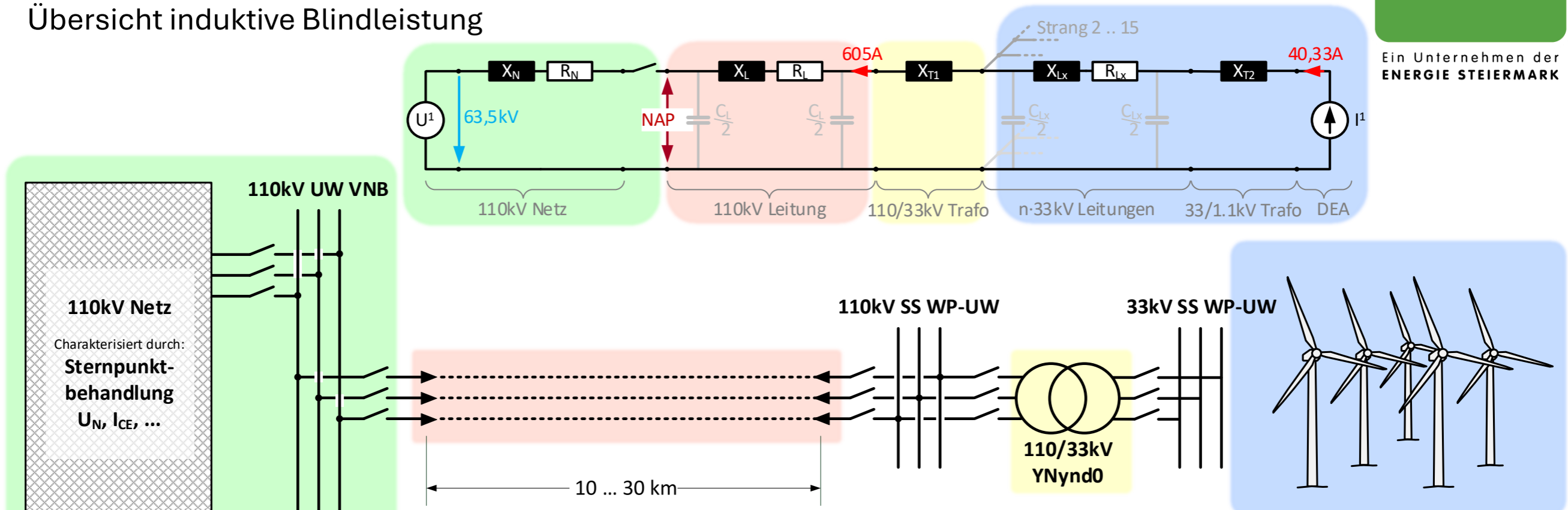
Übersicht



DEA ... dezentrale Erzeugungsanlage
 U_N Nennspannung
 I_{CE} Kapazitiver Erdschlussstrom

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht induktive Blindleistung



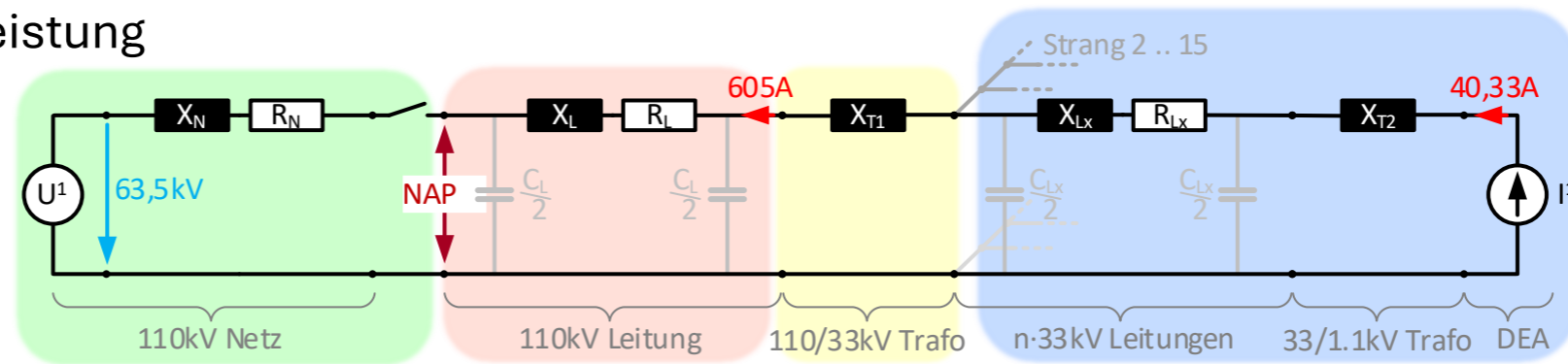
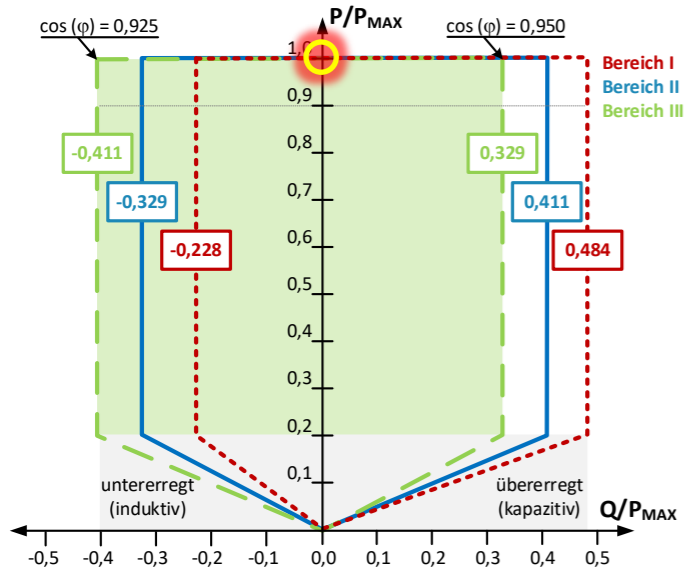
Erzeugungsanlage entsprechend
TOR-Stromerzeugungsanlagen Typ-D
(60 ... 120 MW)

	E-AL/STALUM 560/50mm ²	NA2XS(FL)2Y 1600RM/70mm ²	Relation
R ₁	0,0514 Ohm/km	0,0241 Ohm/km	2,1 : 1
X ₁	0,3665 Ohm/km	0,1060 Ohm/km	3,5 : 1
C _B	0,0095 µF/km	0,2800 µF/km	1 : 29,5
C _E	0,0047 µF/km	0,2800 µF/km	1 : 59,6
I _d	1040 A	1001 A	1,04 : 1

DEA ... dezentrale Erzeugungsanlage
U_N Nennspannung
I_{CE} Kapazitiver Erdschlussstrom

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht induktive Blindleistung

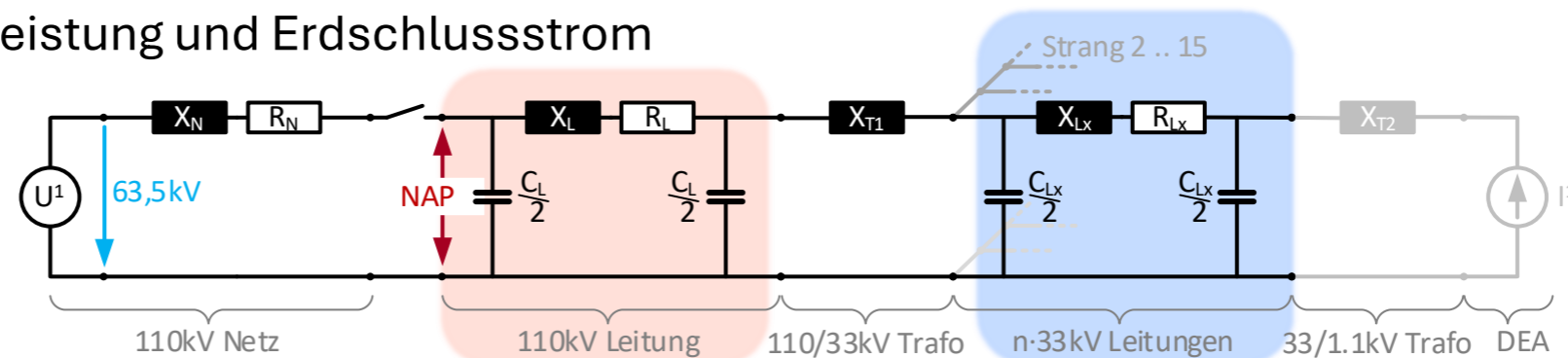


		Parkregler mit $\cos(\varphi) = 1$ am NAP							$\cos(\varphi) = 0,95$ kap.	
		110 kV	SS-Abzweig	110/33kV	SS-Abzweig	33kV	DEA-SS	33/1,1kV	1,1kV	
		NAP	Leitung	Leitung	Trafo	Trafo	Abzweig Ltg.	Σ Verluste DEA-Trafos	DEAs	DEAs
mit 110kV Kabel	Wirkleistung P	115,715 MW	0,664 MW		0,120 MW		0,054 MW	0,439 MW	117,000 MW	116,889 MW
	Blindleistung Q*	-0,001 MVar	-2,921 MVar		-15,558 MVar		-0,089 MVar	-10,249 MVar	-28,815 MVar	-69,403 MVar
	$\cos(\varphi)$	1,000 kap.		0,995 kap.		0,988 kap.		0,988 kap.	0,971 kap.	0,860 kap.
	Spannung U_{ll}	110,22 kV		110,89 kV		33,71 kV		33,73 kV	1,19 kV	1,29 kV
Strom I_l		606 A		606 A		2020 A		135 A	3899 A	4067 A
mit 110kV Frei- leitung	Wirkleistung P	115,015 MW	1,398 MW		0,120 MW		0,053 MW	0,434 MW	117,020 MW	116,992 MW
	Blindleistung Q*	0,000 MVar	-9,978 MVar		-15,370 MVar		-0,088 MVar	-10,125 MVar	-35,562 MVar	-76,266 MVar
	$\cos(\varphi)$	1,000 kap.		0,996 kap.		0,977 kap.		0,977 kap.	0,957 kap.	0,838 kap.
	Spannung U_{ll}	110,22 kV		111,97 kV		34,29 kV		34,31 kV	1,22 kV	1,33 kV
Strom I_l		602 A		602 A		2008 A		134 A	3875 A	4040 A

* negative Blindleistung = induktiver Bezug aus dem Netz

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom

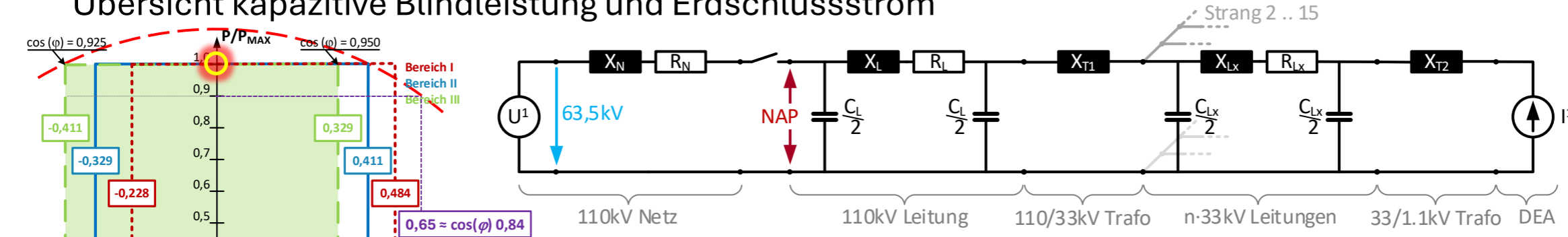


		110kV			30kV			
		110kV NAP zum Wind UW	110kV Leitung kap. Blindleistung	110kV Wind UW zum NAP	30kV SS Abgang Trafo	30kV SS Σ Abgang DEAs	33kV Leitungen kap. Blindleistung	30kV DEA Abgang Wind UW
mit 110kV Kabel	Wirkleistung P	0,011 MW		0,000 MW	0,000 MW	0,000 MW		0,000 MW
	Blindleistung Q*	28,493 MVar	26,949 MVar	1,544 MVar	1,546 MVar	1,546 MVar	1,547 MVar	0,000 MVar
	Spannung U _{ll}	110,62 kV		110,98 kV	33,35 kV	33,35 kV		33,35 kV
	Strom I _l	149 A		8 A	27 A	27 A		0 A
	Anteil zu 110kV I _{CF}	422 A		0 A	0 A	0 A		0 A
mit 110kV Frei- leitung	Wirkleistung P	0,000 MW		0,000 MW	0,000 MW	0,000 MW		0,000 MW
	Blindleistung Q*	2,425 MVar	0,902 MVar	1,523 MVar	1,525 MVar	1,525 MVar	1,525 MVar	0,000 MVar
	Spannung U _{ll}	110,05 kV		110,22 kV	33,12 kV	33,12 kV		33,12 kV
	Strom I _l	13 A		8 A	27 A	27 A		0 A
	Anteil zu 110kV I _{CF}	7 A		0 A	0 A	0 A		0 A

* negative Blindleistung = induktiver Bezug aus dem Netz

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom

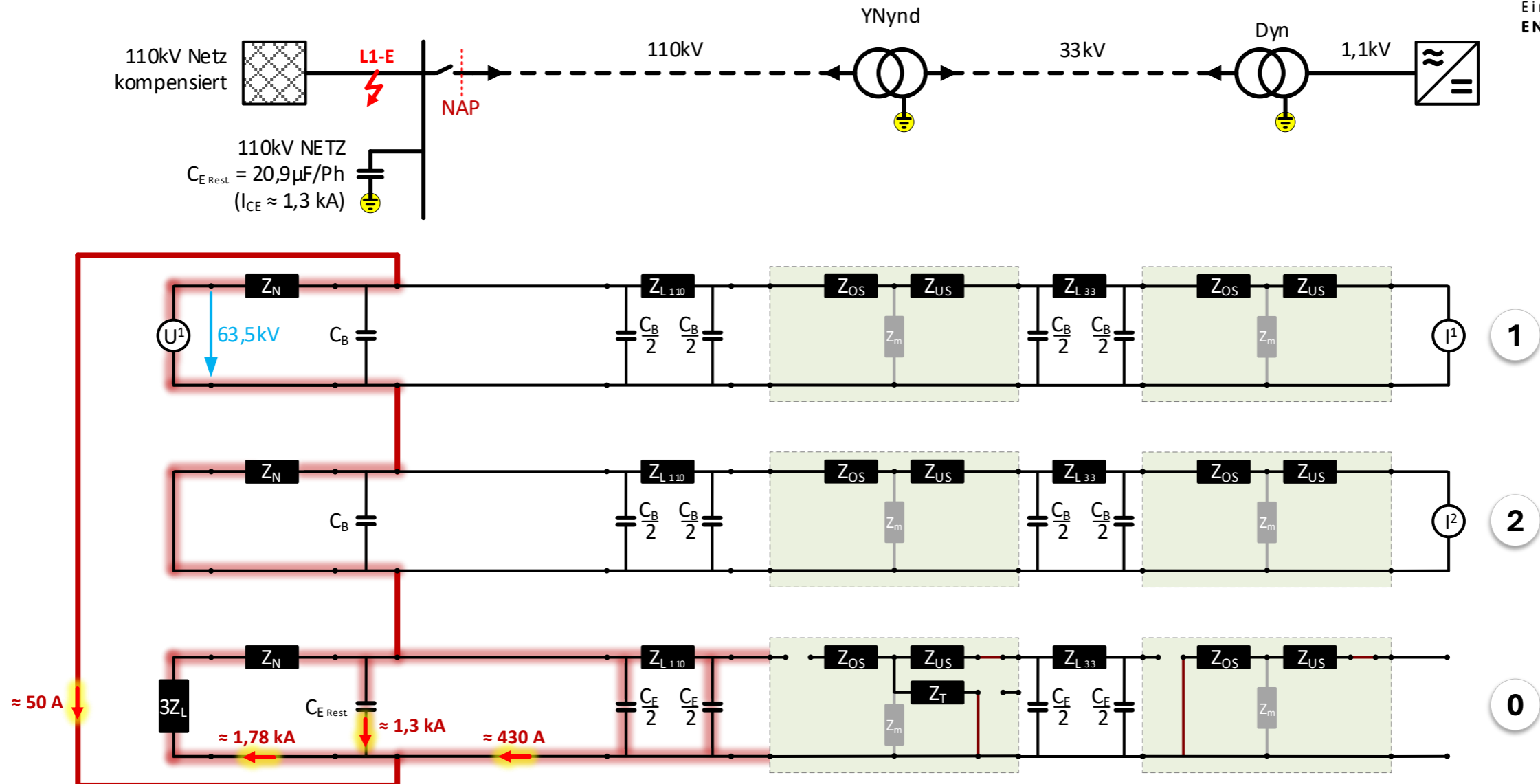


	Parkregler am NAP mit $\cos(\varphi) = 1$									Parkregler NAP mit $\cos(\varphi) = 0,95$ kap.	
	NAP	110 kV 110kV Leitung Blindleistung	Wind UW SS Abzw. Ltg.	110/33kV Verluste Trafo	Wind UW SS Abzweig Trafo	33kV Σ 33kV Leitung Blindleistung	DEA-SS Abzweig Ltg.	33/1,1kV Σ Verluste DEA-Trafos	1,1kV Σ DEA's		Σ DEA's
mit 110kV Kabel	Wirkleistung P	115,664 MW	0,672 MW	116,336 MW	0,123 MW	116,459 MW	0,055 MW	116,514 MW	0,450 MW	116,965 MW	117,015 MW
	Blindleistung Q*	-0,063 MVar	23,844 MVar	-23,906 MVar	-15,931 MVar	-7,975 MVar	1,420 MVar	-9,396 MVar	-10,515 MVar	1,119 MVar	40,515 MVar
	$\cos(\varphi)$	1,000		0,980 kap.		0,998 kap.		0,997 kap.		1,000	0,945 kap.
	Spannung U_{11}	111,22 kV		110,57 kV		32,97 kV		32,98 kV		1,14 kV	1,17 kV
	Strom I_l	605 A		620 A		2044 A		2046 A		59235 A	61125 A
	Anteil zu 110kV I_{CF}	427 A		0 A		0 A		0 A		0 A	0 A
mit 110kV Frei- leitung	Wirkleistung P	114,944 MW	1,397 MW	116,342 MW	0,127 MW	116,469 MW	0,057 MW	116,525 MW	0,460 MW	116,985 MW	118,425 MW
	Blindleistung Q*	0,000 MVar	-9,044 MVar	9,044 MVar	-16,371 MVar	25,415 MVar	1,441 MVar	23,974 MVar	-10,727 MVar	34,702 MVar	71,16 MVar
	$\cos(\varphi)$	1,000		0,997 kap.		0,977 kap.		0,979 kap.		0,959 kap.	0,835 kap.
	Spannung U_{11}	110,22 kV		111,93 kV		33,21 kV		33,23 kV		1,18 kV	1,20 kV
	Strom I_l	602 A		602 A		2073 A		2067 A		59835 A	62220 A
	Anteil zu 110kV I_{CF}	7 A		0 A		0 A		0 A		0 A	0 A

* negative Blindleistung = induktiver Bezug aus dem Netz

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

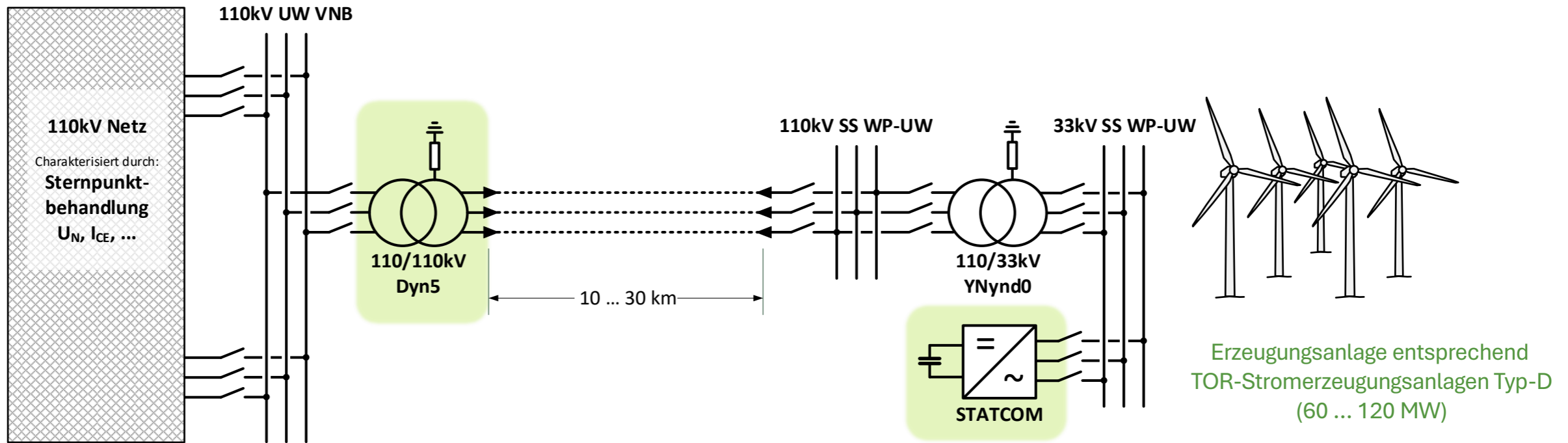
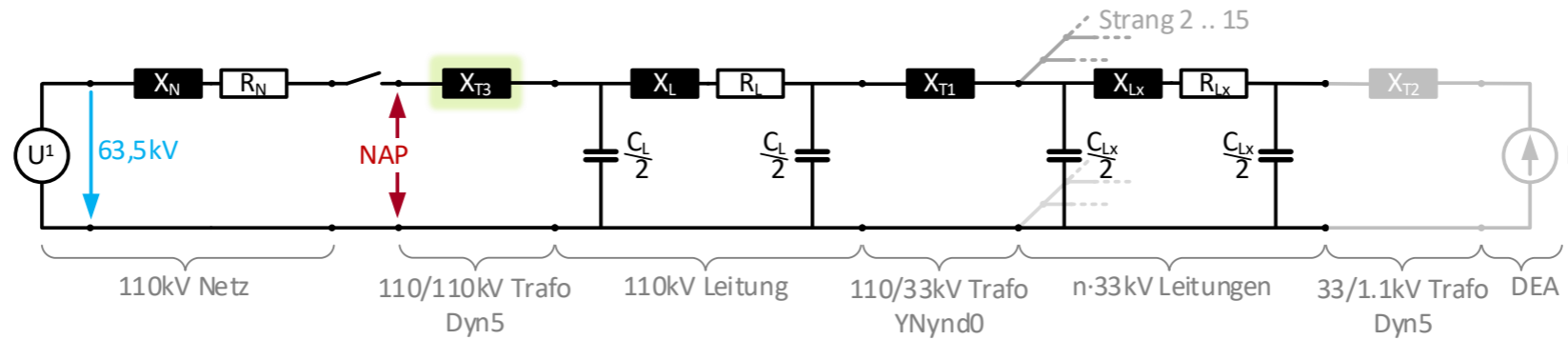
Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom



1 ... Mitsystem
2 ... Gegensystem
0 ... Nullsystem

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom

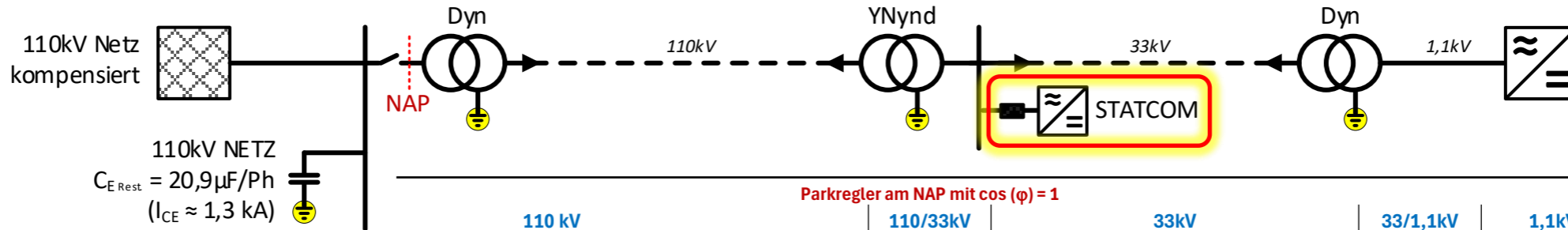


Erzeugungsanlage entsprechend
TOR-Stromerzeugungsanlagen Typ-D
(60 ... 120 MW)

DEA ... dezentrale Erzeugungsanlage
 U_N Nennspannung
 I_{CE} Kapazitiver Erdschlussstrom

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom

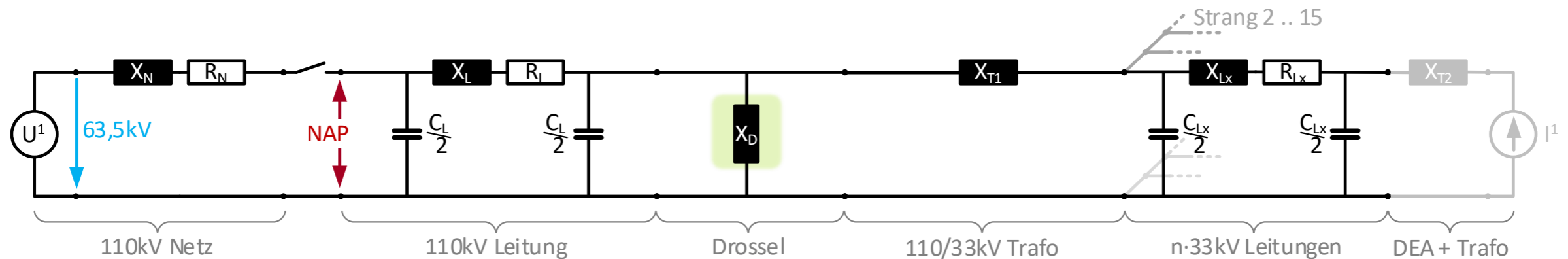
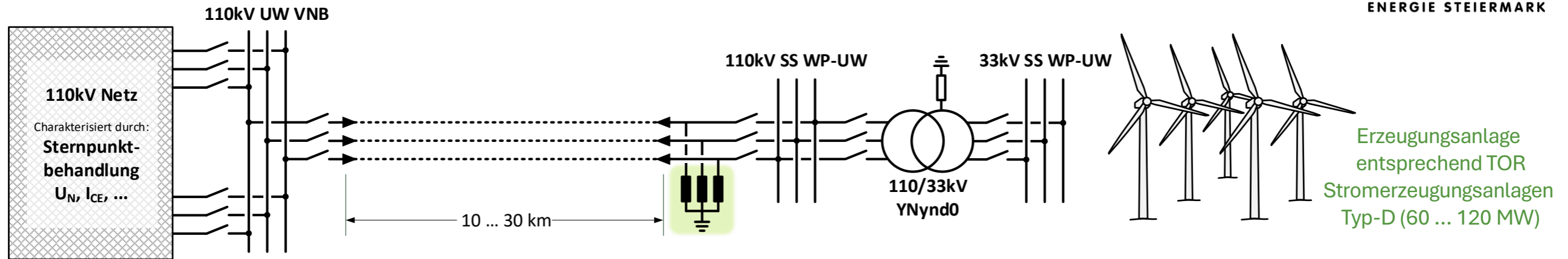


		Parkregler am NAP mit $\cos(\varphi) = 1$											Parkregler NAP mit $\cos(\varphi) = 0,95 \text{ kap.}$		
		NAP	110 kV		110/33kV		33kV		33/1,1kV		1,1kV	Σ DEA			
			Verlust Dyn Trafo	VNB UW SS Abzw. Ltg.	Verluste Leitung	Wind UW SS Abzw. Ltg.	Verluste Trafo	Wind UW SS Abzweig Trafo	Σ Verluste Leitungen	DEA-SS Abzweig Ltg.	Σ Verluste DEA-Trafos	Σ DEA's			
mit 110kV Kabel	Wirkleistung P	115,664 MW			0,672 MW	116,336 MW	0,123 MW	116,459 MW	0,055 MW	116,514 MW	0,450 MW	116,965 MW	117,015 MW		
	Blindleistung Q*	-0,063 MVar			23,844 MVar	-23,906 MVar	-15,931 MVar	-7,975 MVar	1,420 MVar	-9,396 MVar	-10,515 MVar	1,119 MVar	40,520 MVar		
	$\cos(\varphi)$	1,000			0,980 kap.		0,998 kap.		0,997 kap.		1,000 kap.		0,945 kap.		
	Spannung U_{ll}	111,22 kV			110,57 kV		110,57 kV		32,97 kV		32,98 kV		1,14 kV	1,17 kV	
	Strom I_l	605 A			620 A		620 A		2044 A		2046 A		59235 A	61123 A	
	Anteil zu 110kV I_{CE}	427 A			0 A		0 A		0 A		0 A		0 A	0 A	
mit 110kV Frei- leitung	Wirkleistung P	114,944 MW			1,397 MW	116,342 MW	0,127 MW	116,469 MW	0,057 MW	116,525 MW	0,460 MW	116,985 MW	107,920 MW		
	Blindleistung Q*	0,000 MVar			-9,044 MVar	9,044 MVar	-16,371 MVar	25,415 MVar	1,441 MVar	23,974 MVar	-10,727 MVar	34,702 MVar	71,160 MVar		
	$\cos(\varphi)$	1,000			0,997 kap.		0,977 kap.		0,979 kap.		0,959 kap.		0,835 kap.		
	Spannung U_{ll}	110,22 kV			111,93 kV		111,93 kV		33,21 kV		33,23 kV		1,18 kV	1,20 kV	
	Strom I_l	602 A			602 A		602 A		2073 A		2067 A		59835 A	62217 A	
	Anteil zu 110kV I_{CE}	7 A			0 A		0 A		0 A		0 A		0 A	0 A	
mit 110kV Kabel und 1:1 Trafo (Dyn)	Wirkleistung P	115,213 MW	0,261 MW	115,474 MW	0,652 MW	116,126 MW	0,122 MW	116,248 MW	0,055 MW	116,302 MW	0,418 MW	116,721 MW	116,420 MW		
	Blindleistung Q*	-0,014 MVar	-11,749 MVar	11,735 MVar	24,400 MVar	-12,665 MVar	-15,792 MVar	3,126 MVar	1,423 MVar	1,703 MVar	-10,397 MVar	12,100 MVar	51,590 MVar		
	$\cos(\varphi)$	1,000		0,995 kap.		0,994 kap.		1,000 kap.		1,000 kap.		0,995 kap.	0,914 kap.		
	Spannung U_{ll}	110,22 kV		111,04 kV		111,66 kV		111,66 kV		32,98 kV		33,00 kV		1,15 kV	1,18 kV
	Strom I_l	603 A		603 A		604 A		604 A		2036 A		2035 A		58905 A	62217 A
	Anteil zu 110kV I_{CE}	0 A		0 A		0 A		0 A		0 A		0 A		0 A	0 A

* negative Blindleistung = induktiver Bezug aus dem Netz

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

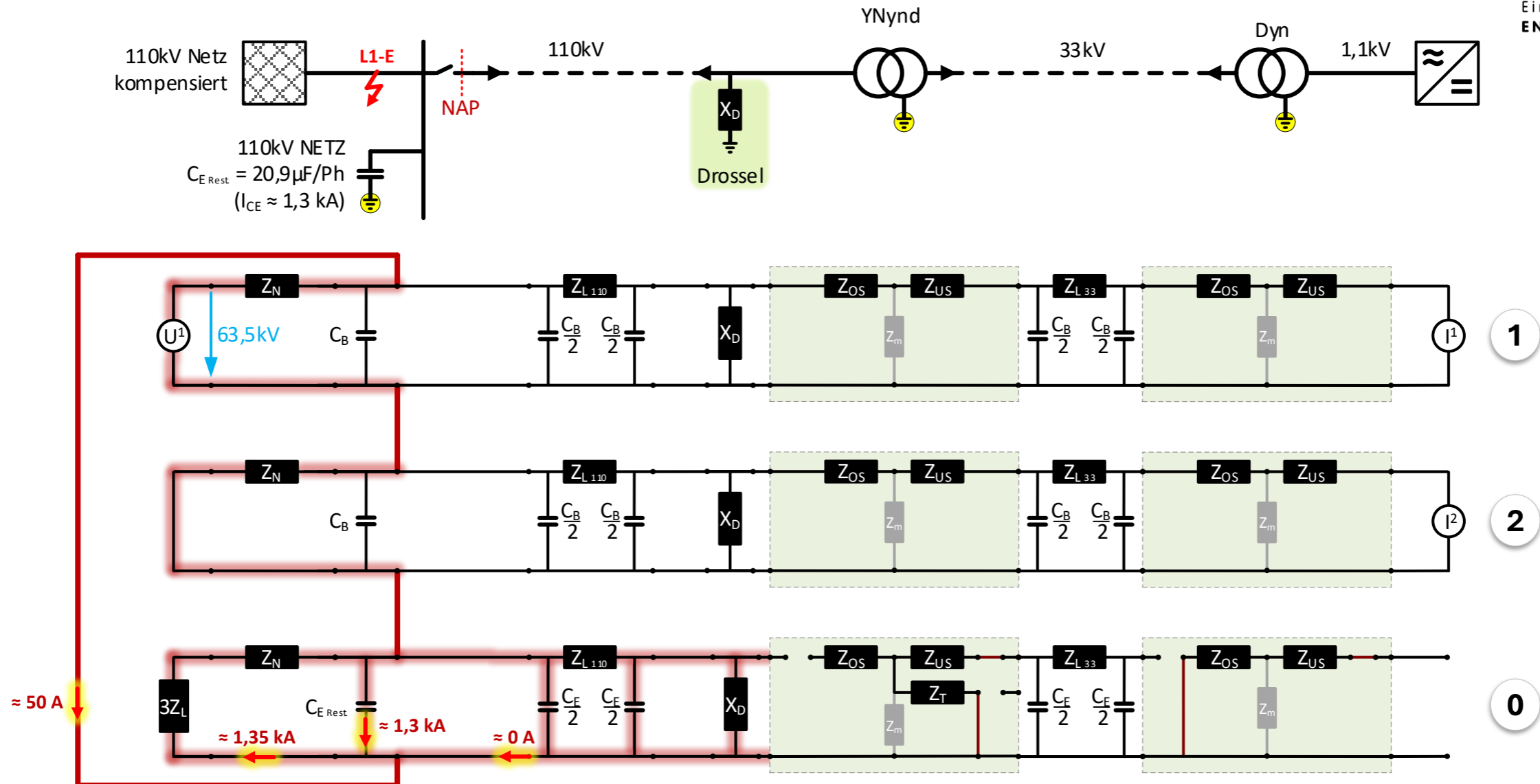
Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom



DEA ... dezentrale Erzeugungsanlage
 U_N Nennspannung
 I_{CE} Kapazitiver Erdschlussstrom

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Übersicht kapazitive Blindleistung und Erdschlussstrom

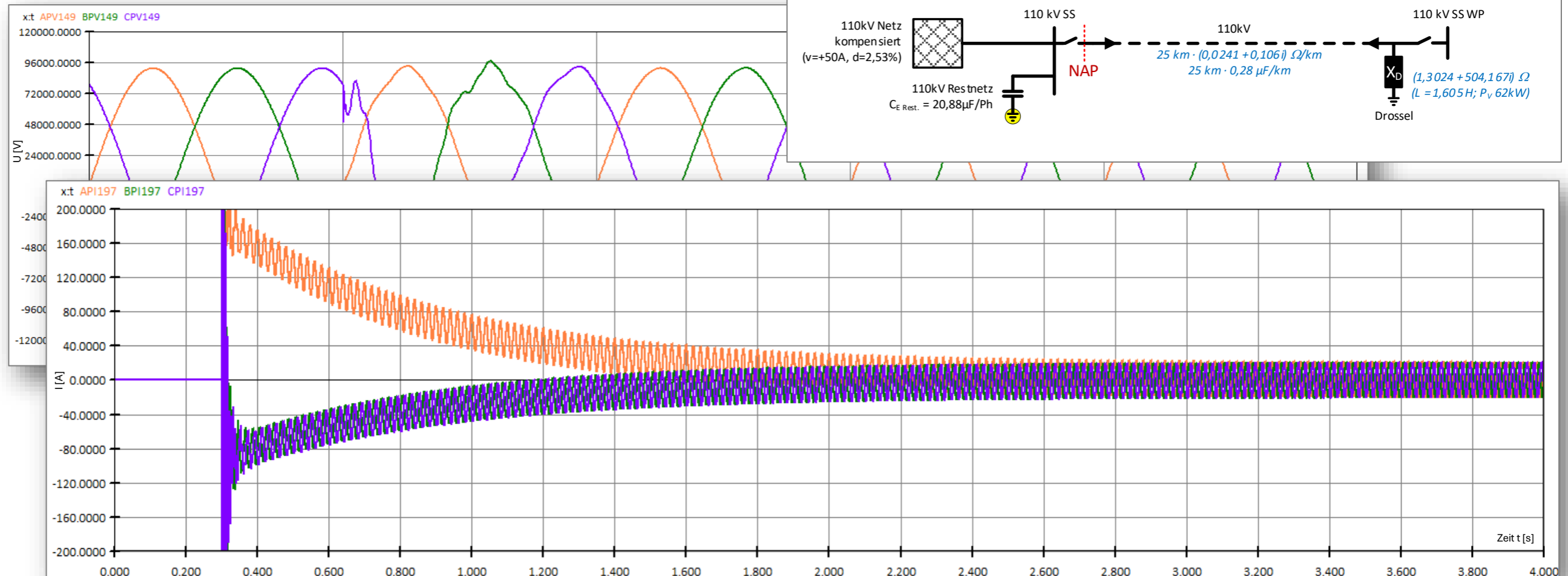


1 ... Mitsystem
 2 ... Gegensystem
 0 ... Nullsystem

■ DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

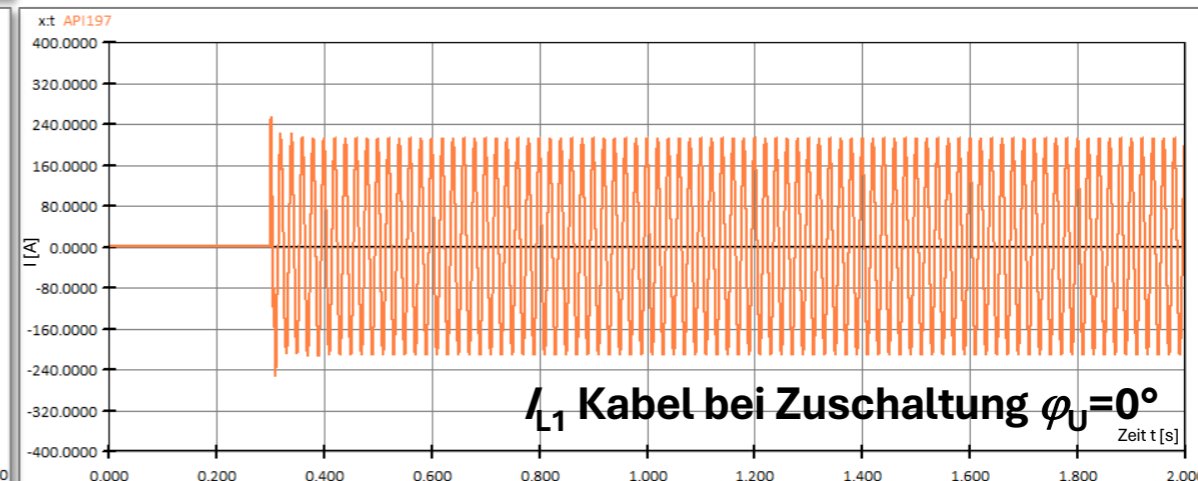
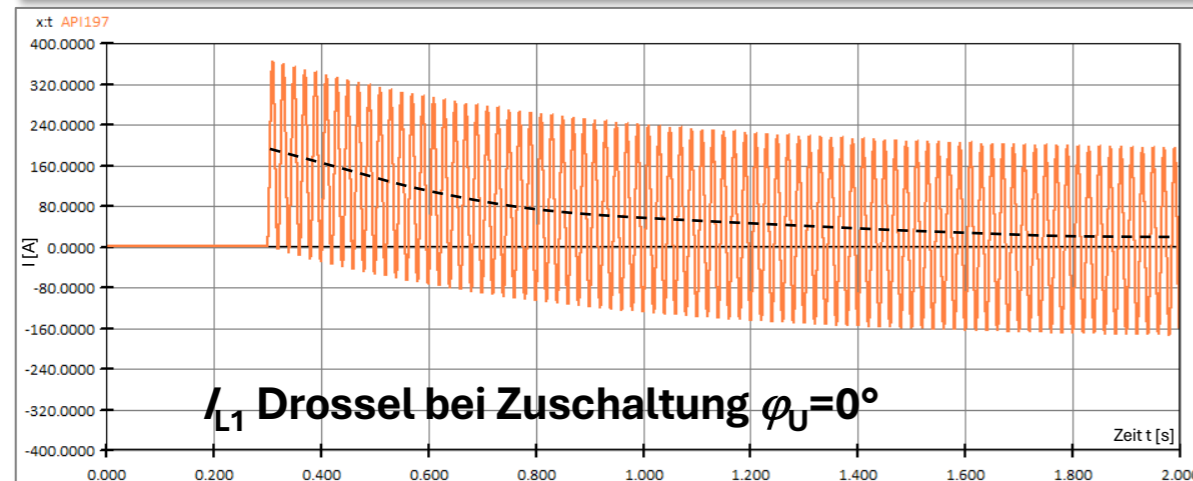
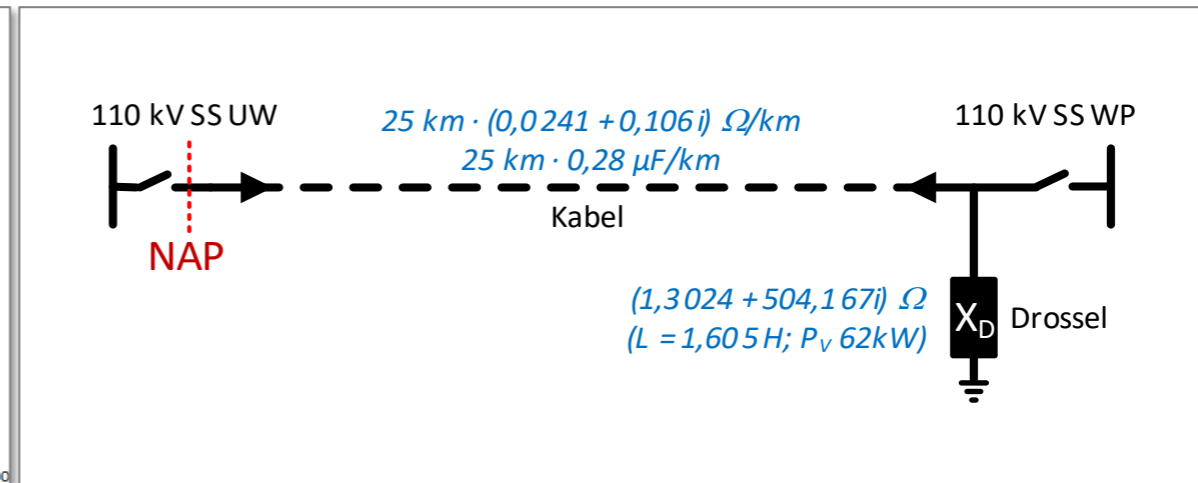
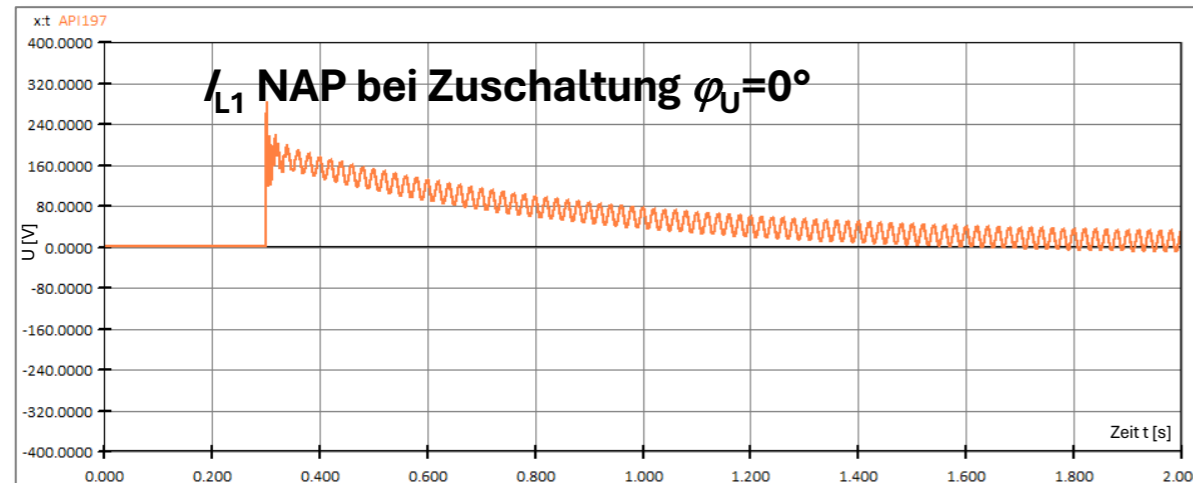
Zuschaltung 110kV Kabelstrecke mit Drossel



DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

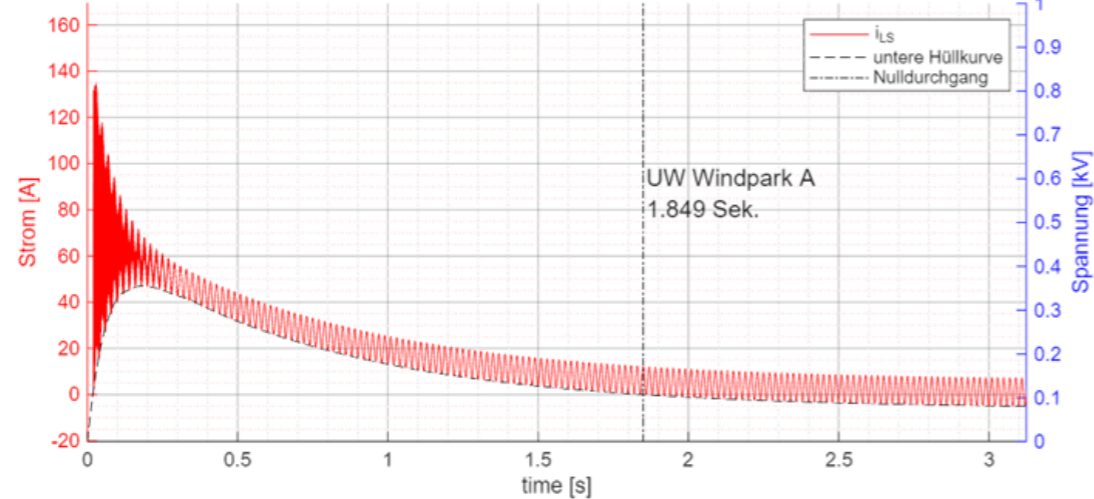
Zuschaltung 110kV Kabelstrecke mit Drossel



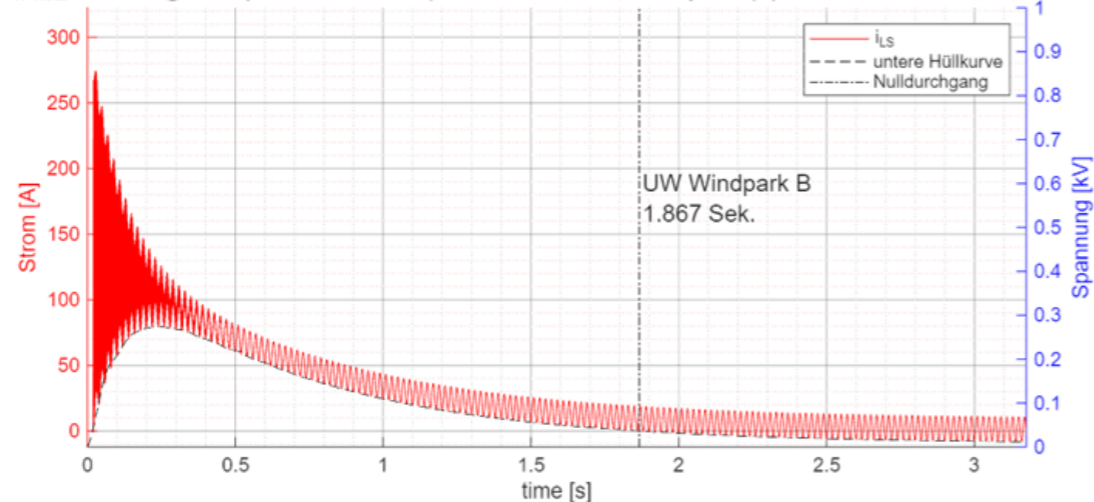
DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

S_K Netz: 2.0GVA@84.0° | Kabel: 7.8km (0.027+0.079iΩ/km, 0.245μF/km) | Drossel: 8.0MVA, $P_V=30.1$ kW



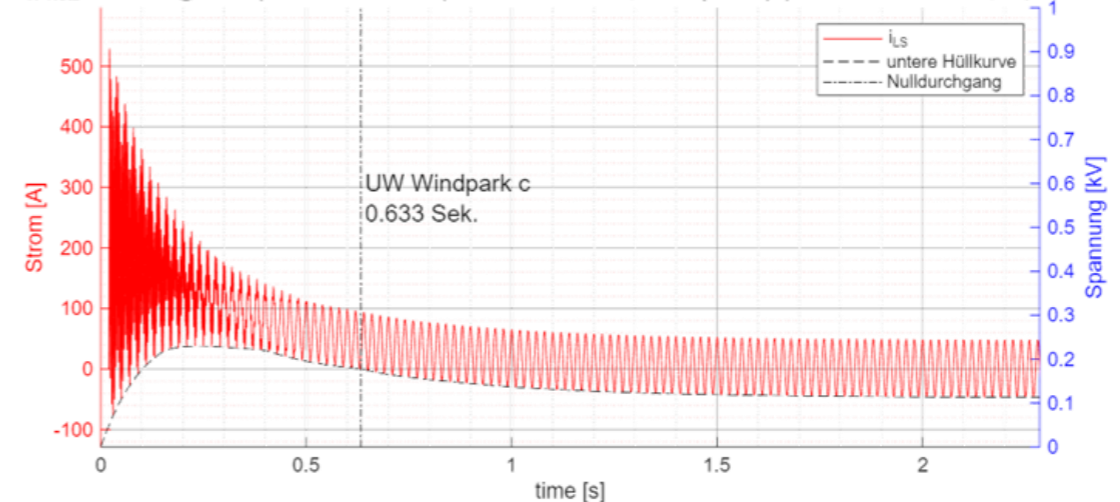
S_K Netz: 4.1GVA@80.6° | Kabel: 15.5km (0.025+0.157iΩ/km, 0.249μF/km) | Drossel: 16.0MVA, $P_V=44.0$ kW



3 Beispiele mit Praxisbezug

- Fehlende Nulldurchgänge zw. 0,64 .. 1,87 Sek.
- DC-Zeitkonstante τ markant von P_V Drossel bestimmt
- Kurzschlussleistung am NAP hat geringen Einfluss auf τ
- Kabelstrecke hat minimalen Einfluss auf τ

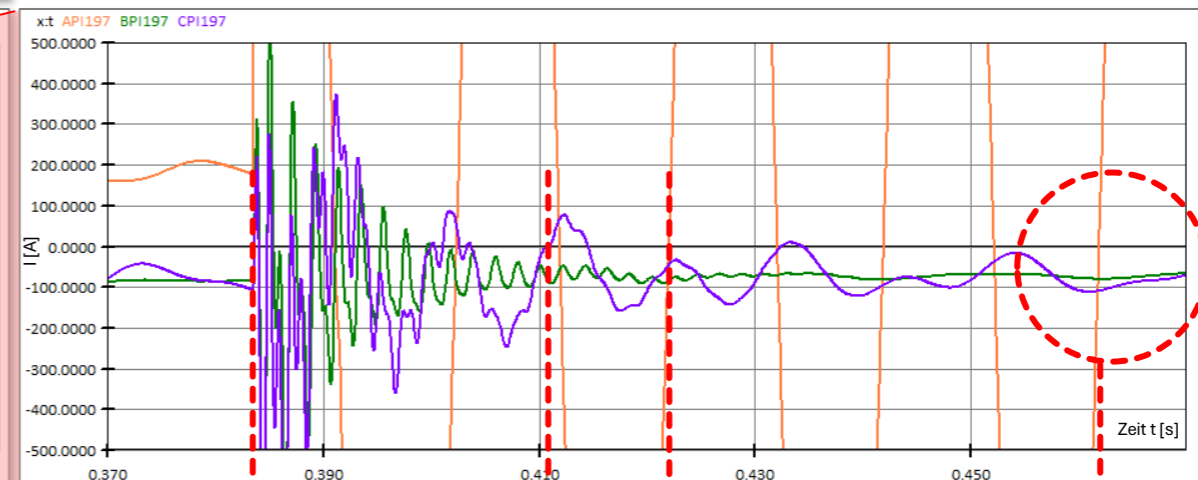
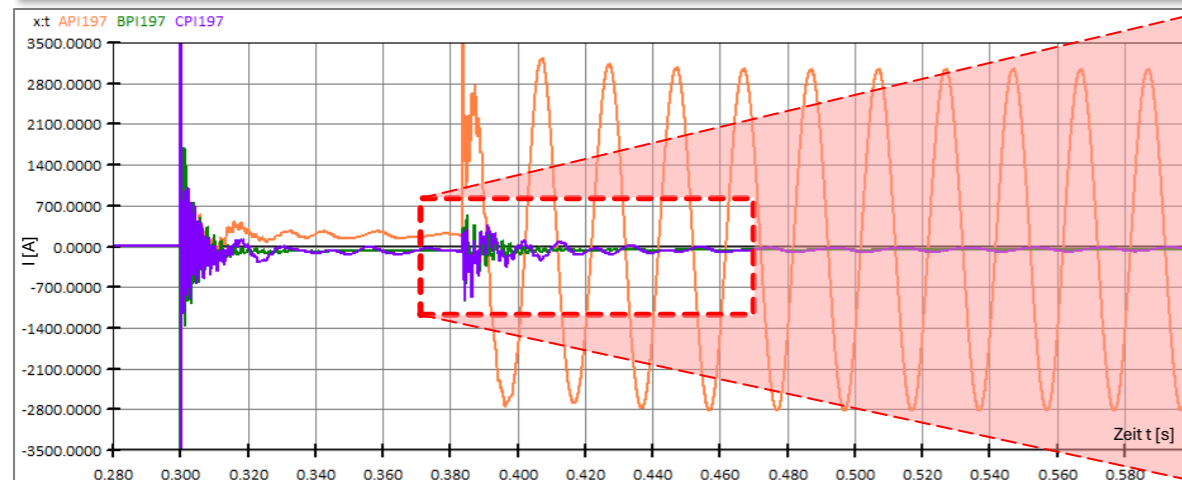
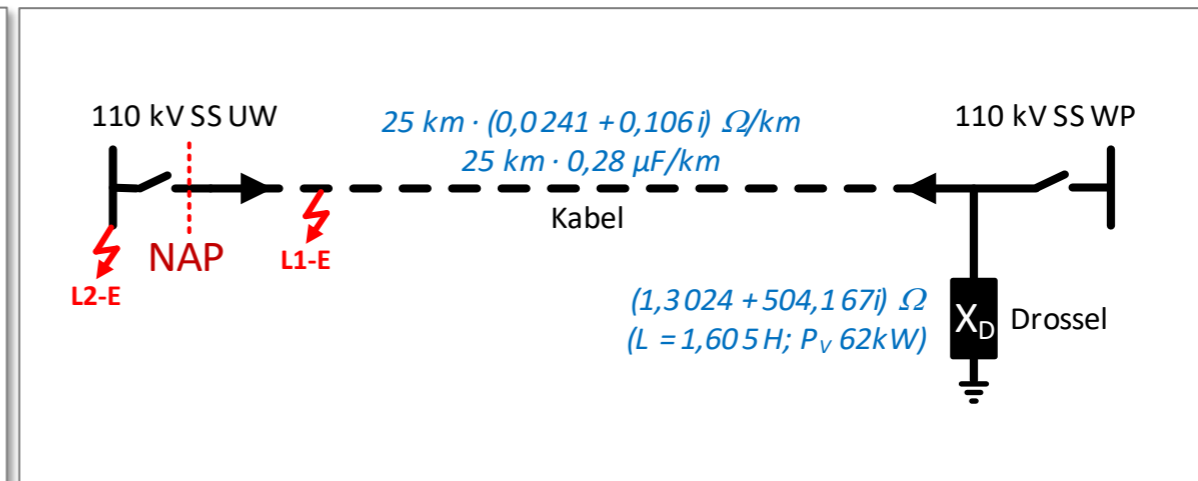
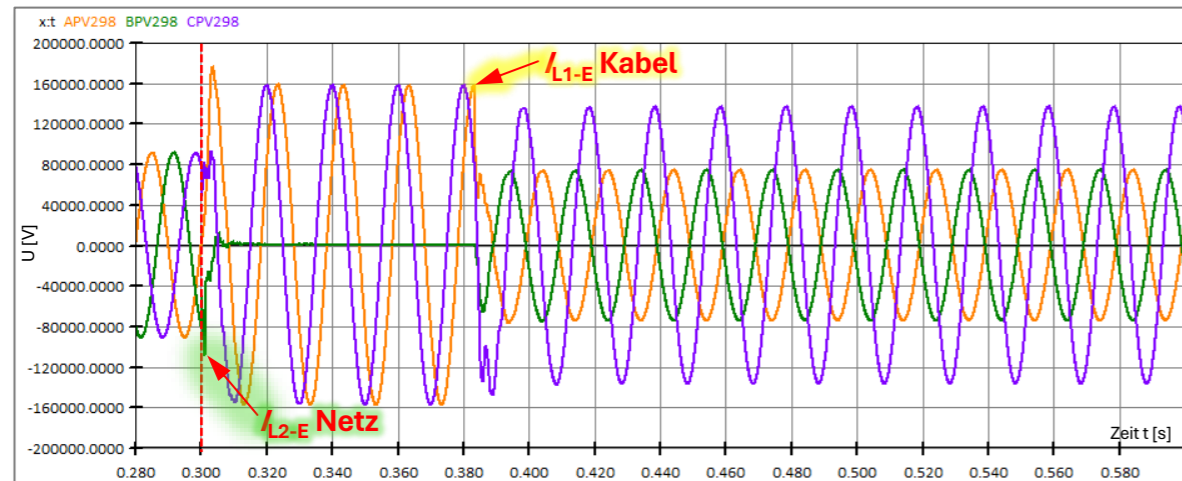
S_K Netz: 1.6GVA@73.7° | Kabel: 27.0km (0.024+0.168iΩ/km, 0.280μF/km) | Drossel: 25.0MVA, $P_V=62.4$ kW



DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

Zuschaltung 110kV Kabelstrecke mit Doppelerdschluss

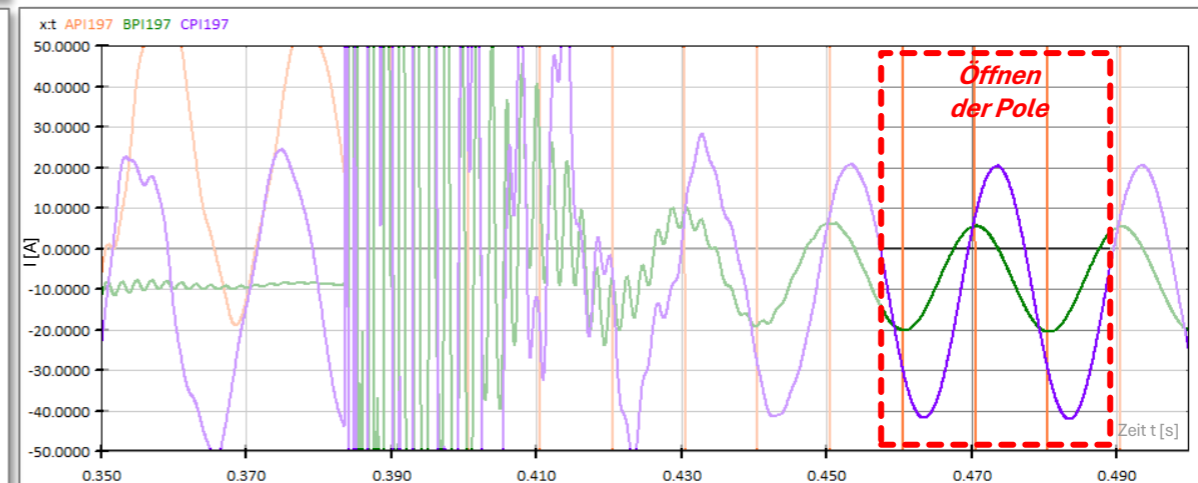
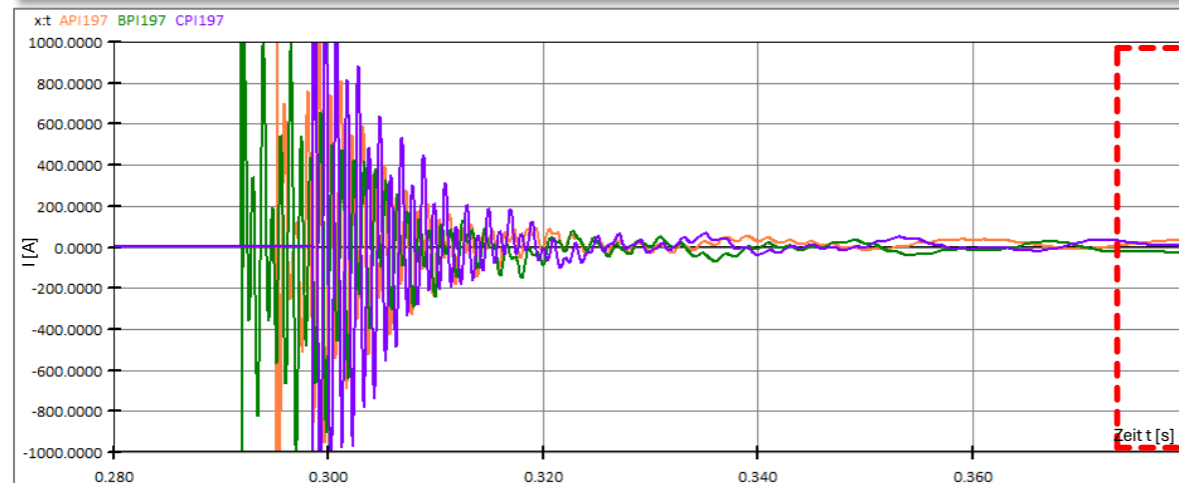
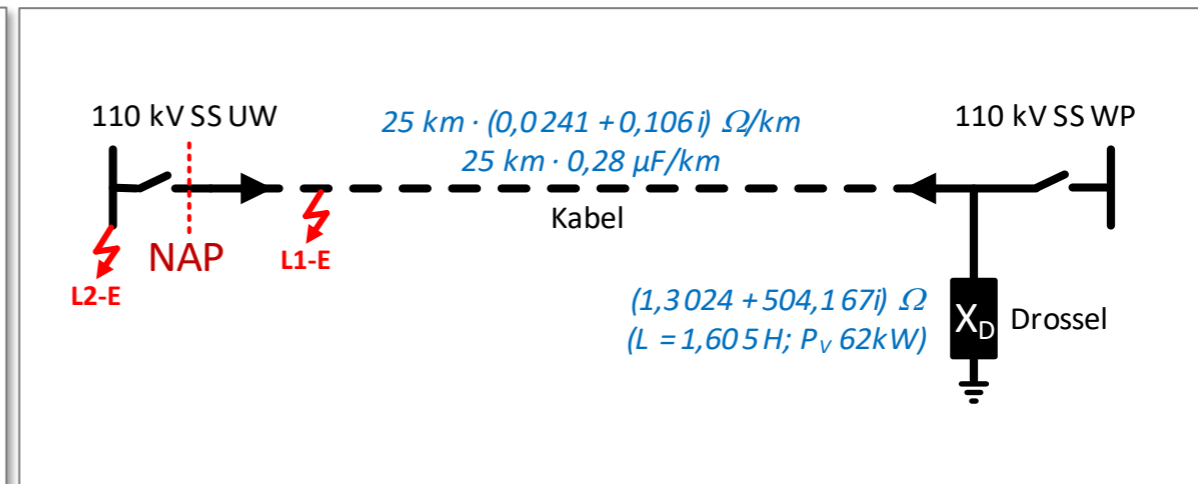
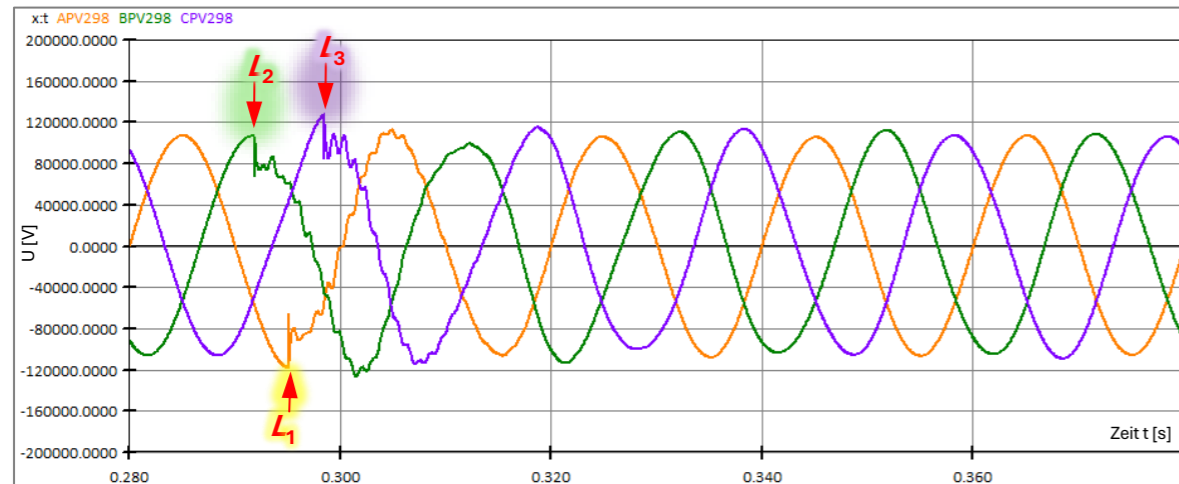


Anregedauer: 1 – 1,5 Perioden
 Ausl.: 0,5 – 1 Per.
 LS-Eigenzeit: 35-60ms

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

Lösung 1: Zuschaltung 110kV Kabelstrecke mit gesteuertem Schalten – Switch On Wave

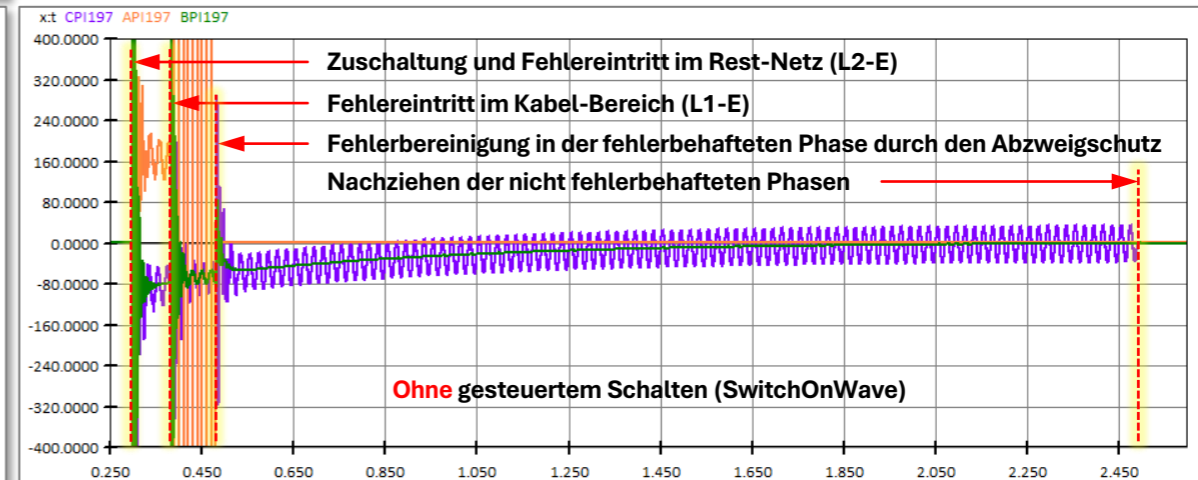
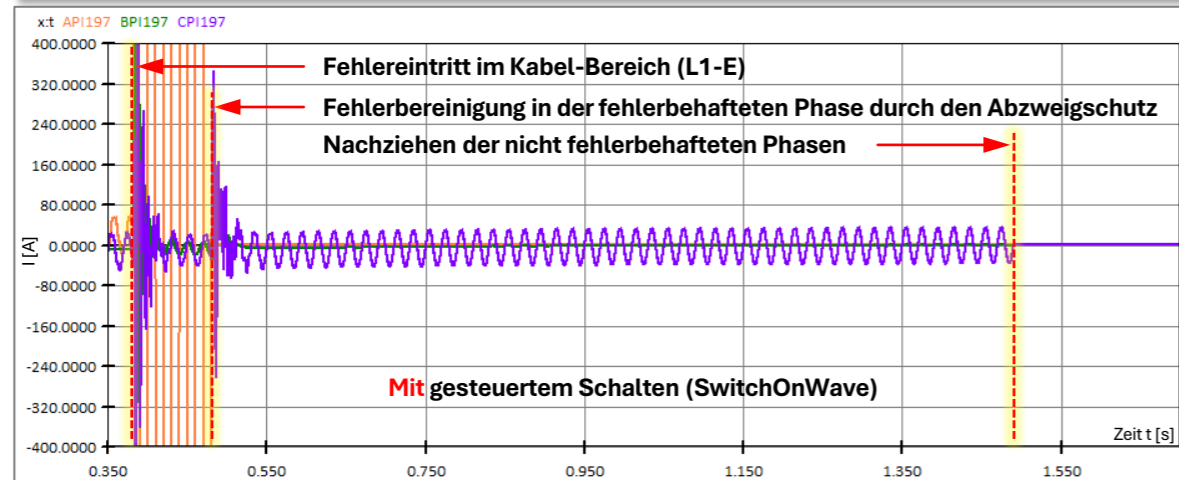
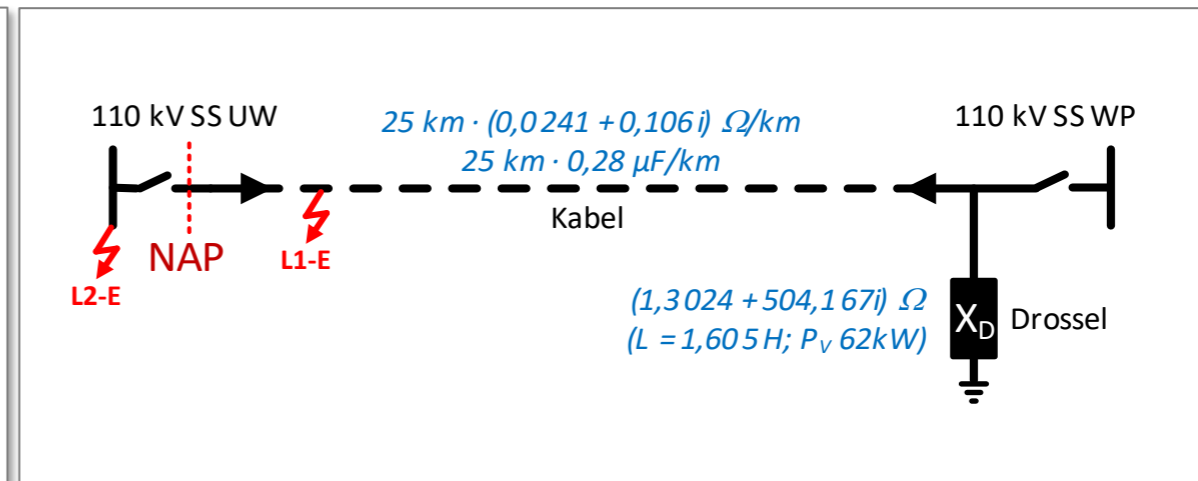
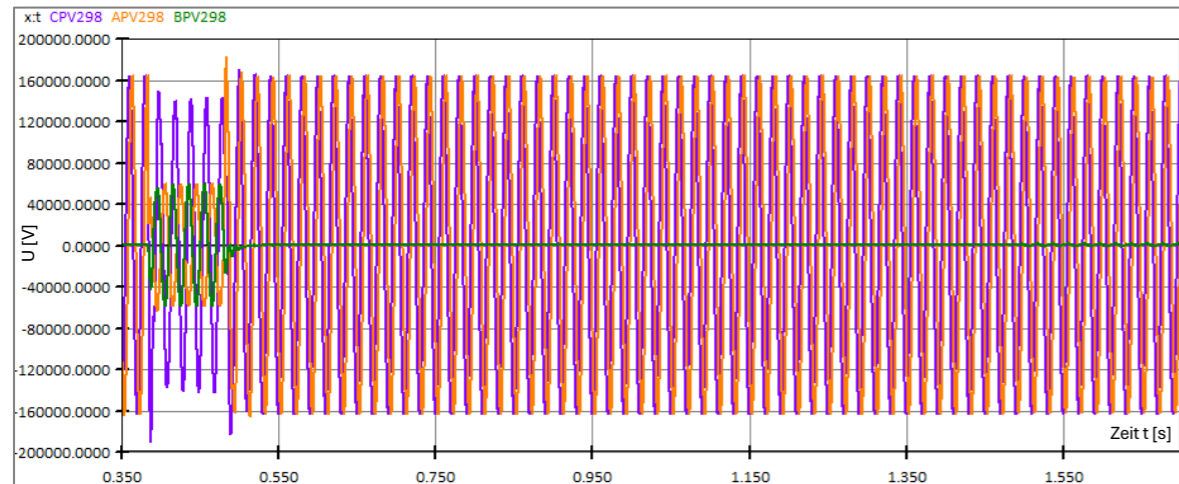


Schutzabschaltung ca. 60-100 ms nach Fehlereintritt

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

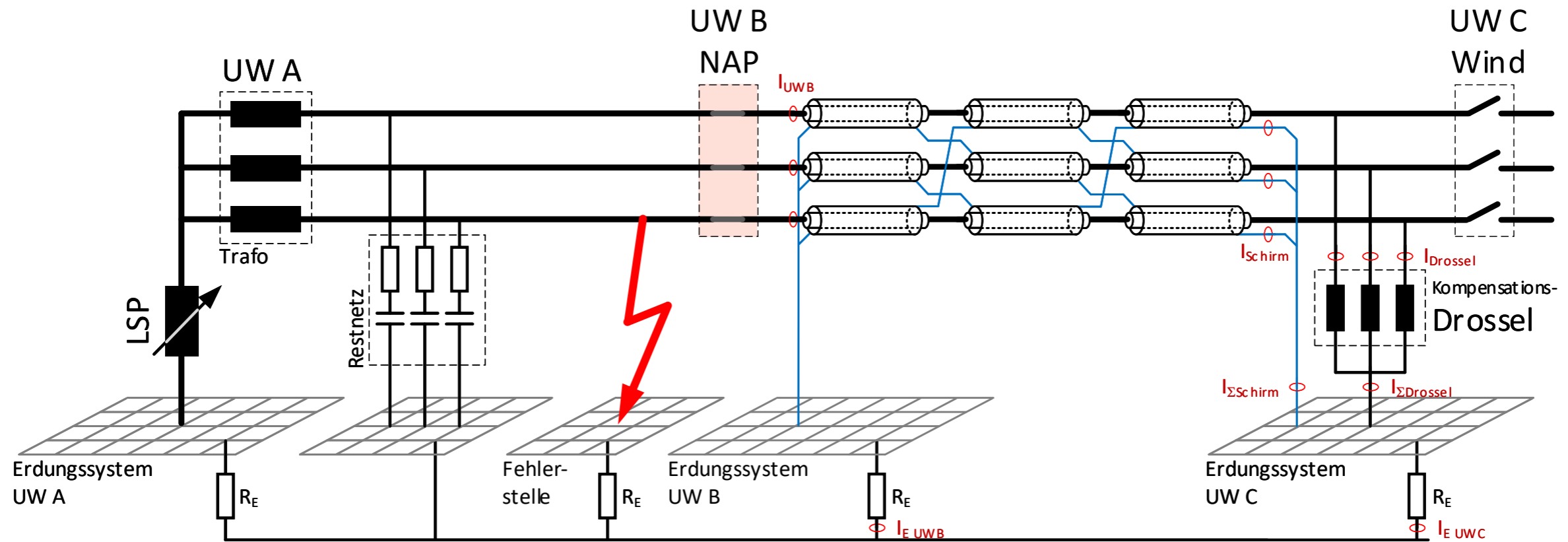
Lösung 2: Verzögertes Abschalten nicht fehlerbehafteter Leiter



DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

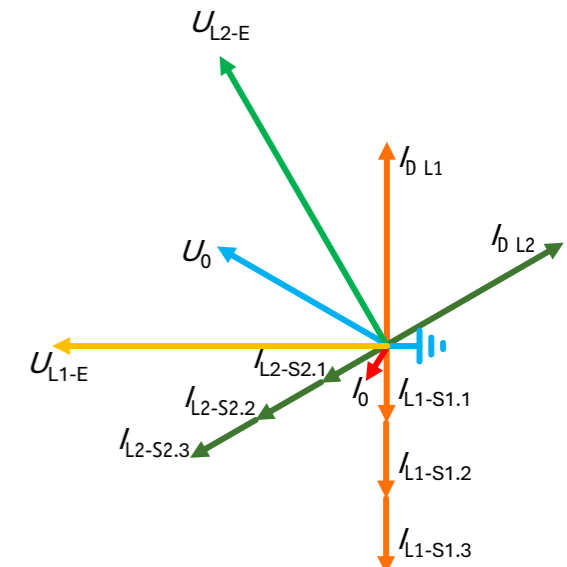
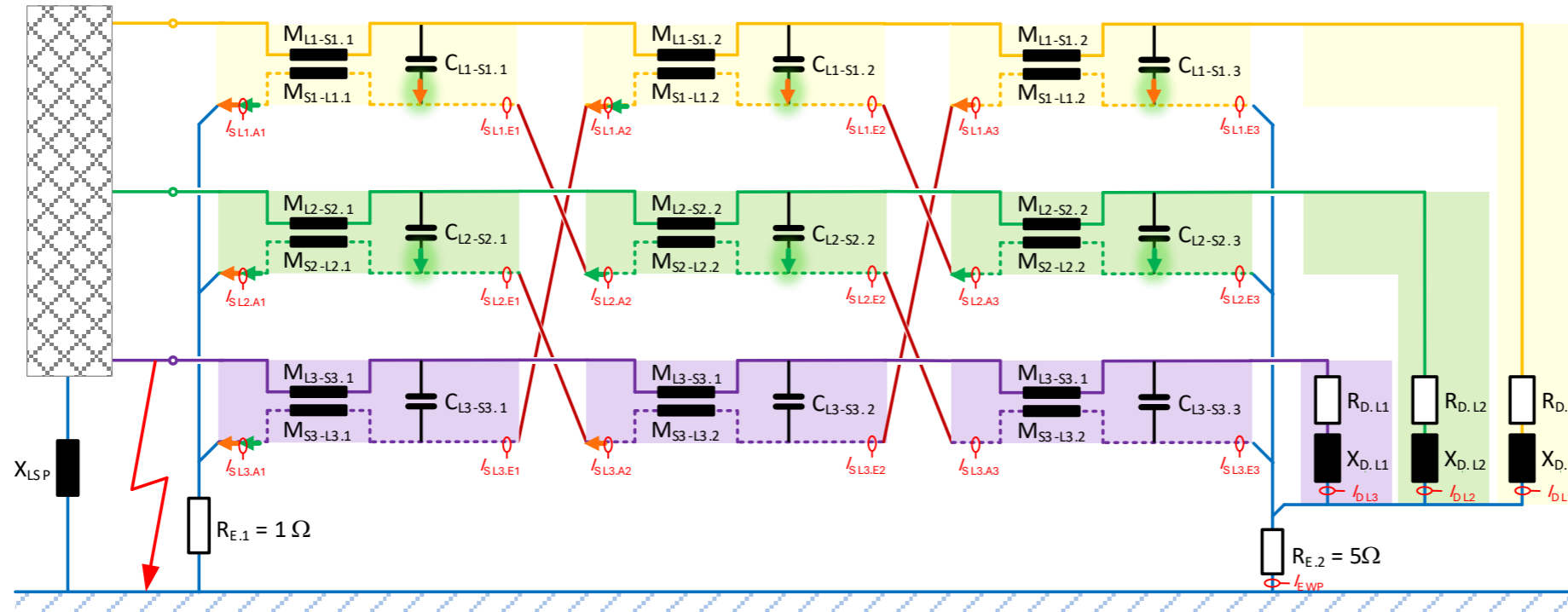
Kabelschirmbelastung – Limitierung für Kabelstrecken



DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

Kabelschirmbelastung – Limitierung für Kabelstrecken



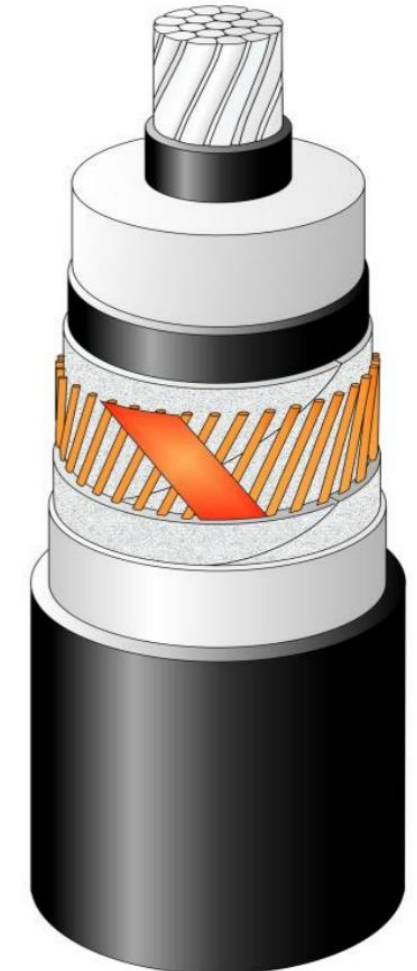
	Anfang / Ende des Abschnitt 1		Anfang / Ende des Abschnitt 2		Anfang / Ende des Abschnitt 3		Drossel / I_{EWP}
Kabelschirm	$35A \cdot e^{-101i}$	$14A \cdot e^{6i}$	$14A \cdot e^{6i}$	$64A \cdot e^{43i}$	$64A \cdot e^{43i}$	$139A \cdot e^{69i}$	$232A \cdot e^{89i}$
	$27A \cdot e^{176i}$	$51A \cdot e^{97i}$	$51A \cdot e^{97i}$	$89A \cdot e^{55i}$	$89A \cdot e^{55i}$	$158A \cdot e^{55i}$	$232A \cdot e^{29i}$
	$15A \cdot e^{7i}$	$64A \cdot e^{43i}$	$64A \cdot e^{43i}$	$115A \cdot e^{53i}$	$115A \cdot e^{53i}$	$115A \cdot e^{53i}$	$1A \cdot e^{-32i}$
	$36A \cdot e^{-122i}$						$7A \cdot e^{-122i}$

■ DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Problemstellung und Lösungsansatz

■ Kabelschirmbelastung – Limitierung für Kabelstrecken

NA2XS(FL)2Y-SC-FO 1x1600RMS/70 64/110	Einheit	Vorschrift
Nennquerschnitt	mm ²	1600
Wanddicke der VPE-Isolation	mm	16,0
Metallschirm - Kupferdrähte - Kupferband	mm ² Nr. x mm Nr. x mm x mm	70 78 x 1.04 + 2x 1.95 2 x 10 x 0.18



	Anfang / Ende des Abschnitt 1	Anfang / Ende des Abschnitt 2	Anfang / Ende des Abschnitt 3	Drossel / I _{EW} P			
Kabelschirm	35A·e ⁻¹⁰¹ⁱ	14A·e ⁶ⁱ	14A·e ⁶ⁱ	64A·e ⁴³ⁱ	64A·e ⁴³ⁱ	139A·e ⁶⁹ⁱ	232A·e ⁸⁹ⁱ
	27A·e ¹⁷⁶ⁱ	51A·e ⁹⁷ⁱ	51A·e ⁹⁷ⁱ	89A·e ⁵⁵ⁱ	89A·e ⁵⁵ⁱ	158A·e ⁵⁵ⁱ	232A·e ²⁹ⁱ
	15A·e ⁷ⁱ	64A·e ⁴³ⁱ	64A·e ⁴³ⁱ	115A·e ⁵³ⁱ	115A·e ⁵³ⁱ	115A·e ⁵³ⁱ	1A·e ⁻³²ⁱ
	36A·e ⁻¹²²ⁱ						7A·e ⁻¹²²ⁱ

■ Zusammenfassung

- **Anbindung einer DEA ist wesentlich für deren Betriebsvermögen**
- **Rückwirkung auf das Mit- und Nullsystem (Anbindung mit 110kV Kabel)**
- **Einfluss auf Primärtechnik (Einzelpolsteuerung, Schaltüberspannung)**
- **Einfluss auf Netzschutzkonzept (Sekundärtechnik) und Betriebsführung**
- **Lieferzeiten für Sonderanfertigungen (z.B. Drossel mit Anzapfungen)**
- **Schnelligkeit und Selektivität für Schutz- und Reserveschutzkonzept**

**ENERGIE
NETZE**
STEIERMARK

Ein Unternehmen der
ENERGIE STEIERMARK

Herausforderungen und Lösungen bei 110kV Kabelanbindungen dezentraler, erneuerbarer Erzeugungsanlagen - Schutzkonzept



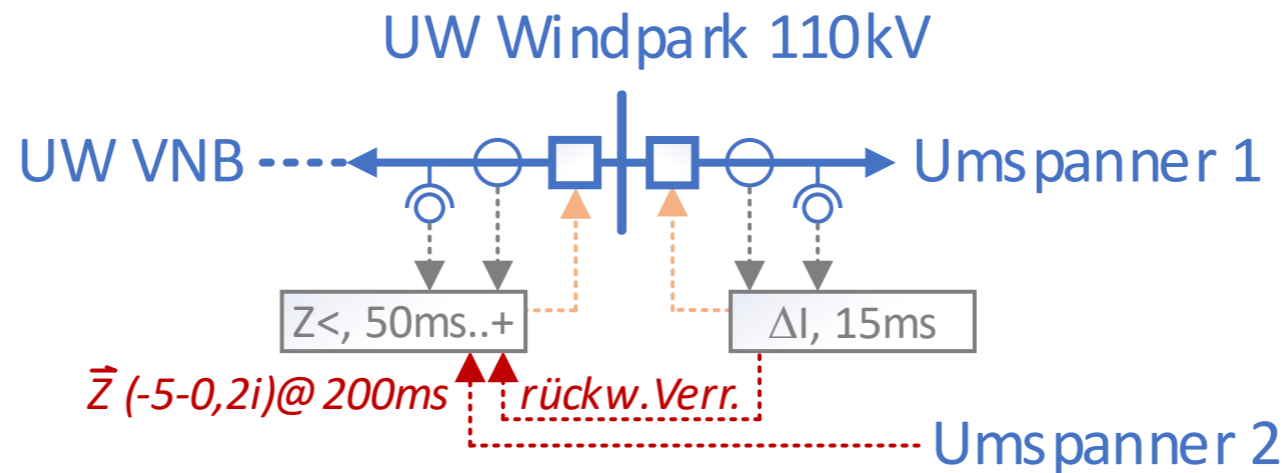
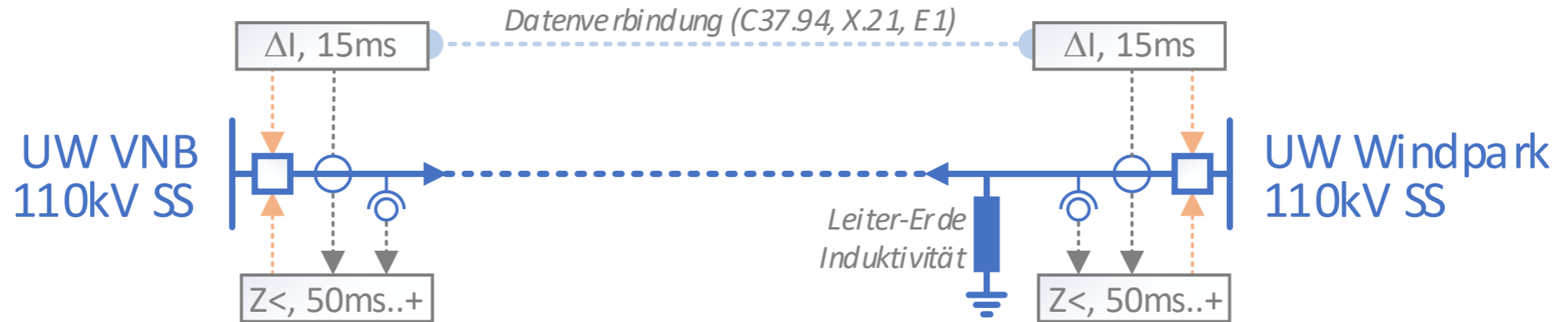
Oliver Skrbinjek
oliver.skrbinjek@e-netze.at



Horst Paar
horst.paar@e-netze.at

DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Schutzkonzept 110kV-seitig



■ DEA* Anbindung und Einfluss auf den Netzbetrieb

Schutzkonzept 110/33kV- und 33kV-seitig

