

# Ultra High Voltage Übertragungssysteme zur Übertragung großer elektrischer Energienmengen über weite Distanzen – *Ein technischer Vergleich*

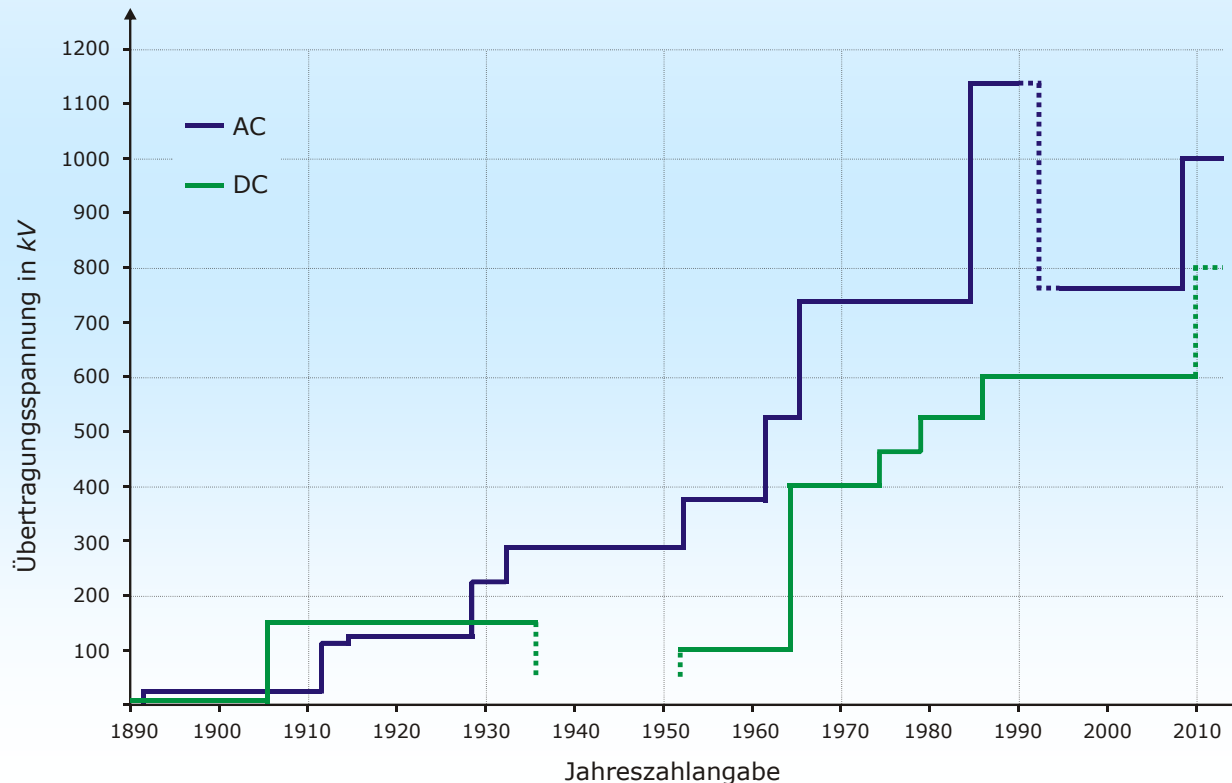
T. Kern\*, D. Imamovic, R. Woschitz, M. Muhr



**Technische Universität Graz**  
**Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement**

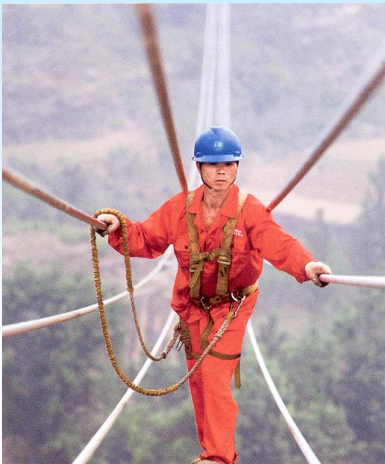
# Definition & Entwicklung der Übertragungsspannungen

- Definition Ultrahochspannung (UHV ... Ultra High Voltage)
  - Wechselspannungen  $\geq 1000 \text{ kV}$
  - Gleichspannungen  $\geq \pm 800 \text{ kV}$



# Inhalt

1. Besonderheiten einer langen Drehstromübertragung
2. Besonderheiten einer HGÜ
3. Einflussgrößen, welche beide Technologien betreffen
4. Vergleich anhand eines konkreten Beispielles
5. Resümee



# Technische Besonderheiten einer Langen Drehstromübertragung

- Übertragbare Leistung  $S_{nat} = P_{nat} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{nat} = \frac{U_n^2}{Z_W}$

- Stabilitätsverhalten  $P_{\max(I)} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_{12}} \cdot \sin(\delta_L)$

- Regelung der Leistungsübertragung

- Mögliche Übertragungsmedien für UHV AC

- Freileitung - derzeit bis 1000 kV im aktiven Einsatz
  - Kabel - derzeit bis 500 kV im aktiven Einsatz
  - GIL - derzeit bis 550 kV im aktiven Einsatz



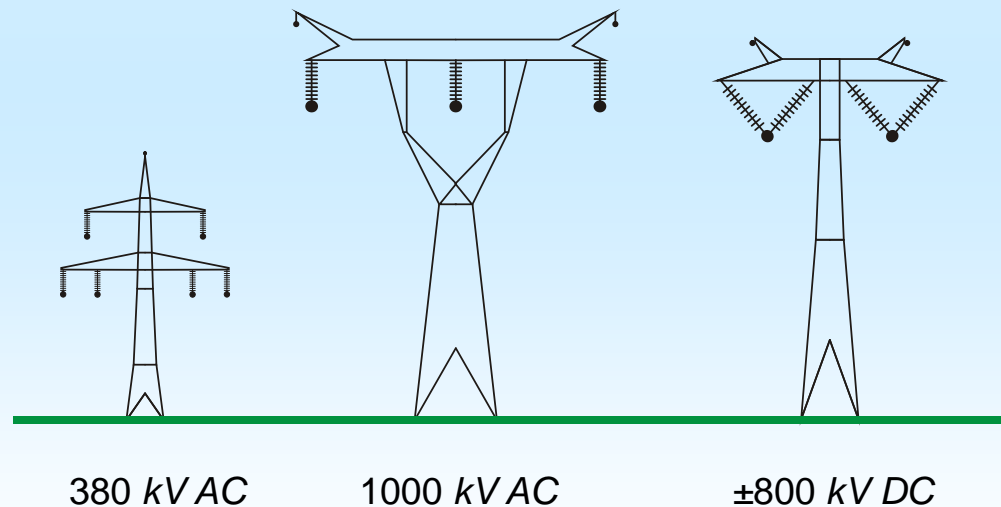
# Technische Besonderheiten einer HGÜ

- Übertragbare Leistung  $P_{DC} = U_D \cdot I_{DC} = \frac{U_{D1} + U_{D2}}{2} \cdot \frac{U_{D1} - U_{D2}}{R} = \frac{U_{D1}^2 - U_{D2}^2}{2 \cdot R}$
- Grenzgebende Komponenten
  - Übertragungsleitung
  - Komponenten in den Stromrichterstationen
  - Sonstige begrenzende Faktoren
- Regelung der Übertragungsleistung
- Übertragungsmedien
  - Freileitung - derzeit bis zu  $\pm 600 \text{ kV}$  im Einsatz  
- Systeme für  $\pm 800 \text{ kV}$  in Bau
  - Kabel - derzeit bis zu  $\pm 500 \text{ kV}$  im Einsatz



# Sonstige Aspekte einer UHV Übertragung

- Zuverlässigkeit
- Verluste
  - Übertragungsverluste
  - Koronaverluste
  - Stromverdrängungseffekt bei AC
  - Dielektrische Verluste bei AC
- Mechanischer Aufbau
- Auswirkungen auf die Umwelt
  - EMV
  - AN und RI
  - Ästhetischer Eindruck
  - Ökologische Auswirkungen







= > < ≤

# Vergleich

≥ ≈ ≡ ≠

Allgemeine Parameter	1000 kV AC	±800 kV DC
Übertragungsleistung $P$ in MW	12600	
Übertragungslänge $l$ in km	900	
Anzahl der notwendigen Übertragungssysteme $n$	3	2
Übertragungsleistung pro System $P_s$ in MW	4200	6300
Natürliche Leistung $P_{nat}$ in MW	4500	-
Betrieb bei Nennlast	UNB	-
Verhalten bei Nennlast	kap.	-
Gesamte Kompensationsblindleistung $Q_k$ in MVar	~ 12000	-
Strom pro Phase $I$ in A	2694,3	3937,5
Anzahl der benötigten Phasen (Bündelleiter) $n_{Ph}$	9	4
Anzahl der notwendigen Stationen	4	2
Anzahl der erforderlichen Transformatoren	36	96



= &gt; &lt; ≤

# Vergleich

≥ ≈ ≡ ≠

Mechanische Parameter	1000 kV AC	±800 kV DC
Anzahl der Teilleiter pro Bündelleiter $n_{TL}$	8	6
Aluminiumquerschnitt pro Leiterseil $A_{AL}$ in $mm^2$	500	720
Eigengewicht eines Bündelleiters $G_B'$ in $kg/km$	13271,2	14310
Durchschnittliche Spannweite $a_{SW}$ in $m$	500	550
Anzahl der Stromkreise pro Mast $n_{SK}$	1	
Gesamtmastzahl des Übertragungskorridors	5400	3274
Verhältnis der Mastzahlen in $p.u.$	1,65	1
Durchschnittliche Mastbreite $b_M$ in $m$	49	34
Trassenbreite für den gesamten Übertragungskorridor $b_T$ in $m$	207	108
Trassennutzungsgrad $T_\eta$ in $MW/m$	60,9	116,7
Verhältnis der Trassennutzungsgrade in $p.u.$	1	1,92
Durchschnittliche Masthöhe $h_M$ in $m$	77,2	61

= > < ≤

# Vergleich

≥ ≈ ≡ ≠

Elektrische Parameter	1000 kV AC	±800 kV DC
Dauerstrombelastbarkeit pro Leiterseil $I_{therm}$ in A	990	1190
Gleichstromwiderstand pro Leiterseil $R_{DC}'$ in $\Omega/km$	0,0578	0,0402
$R_{AC}'$ pro Leiterseil in $\Omega/km$ nach Berücksichtigung des Skineffekts	0,061	-
Ohmscher Widerstand pro Bündelleiter $R'$ in $\Omega/km$	0,0076	0,0067
Übertragungsverlustbelag aller Systeme $P_{VL}'$ in $KW/km$	495,87	207,76
Absolute Übertragungsverluste für den gesamten Übertragungskorridor $P_{VL}$ in $MW$	446,28	186,98
Prozentuelle Übertragungsverluste	3,54 %	1,48 %
Erforderlicher Flächenbedarf in $km^2$ ohne Stationen	186,3	97,2
Einhaltung von Grenzwerten für das elektrische Feld	NEIN	NEIN
Einhaltung von Grenzwerten für das magnetische Feld	JA	JA

# Zusammenfassung

- UHV AC und UHV DC Systeme zur Übertragung von großen elektrischen Energiemengen über weite Distanzen
- Technisch ist die Übertragung sowohl mit UHV AC und UHV DC Freileitungssystemen möglich
- Größer Trassennutzungsgrad bei UHV AC und UHV DC im Vergleich zu den bisher eingesetzten Spannungsebenen
- Trassennutzungsgrad bei UHV DC immer größer als bei UHV AC
- Konkrete Projekte im UHV Bereich bis dato nur in China in Betrieb. UHV Systeme allerdings in Japan und Kasachstan errichtet und in Indien in Bau bzw. in Planung

# Zusammenfassung

- UHV DC derzeit nur für Punkt-zu-Punkt Übertragung → noch keine Netze für hohe Gleichspannungen in Betrieb bzw. in Planung
- Anzahl der notwendigen Transformatoren immer größer bei einer UHV DC
- Bei einer UHV AC wird immer eine größer Anzahl an Teilleitern und an Masten benötigt
- Derzeit ausschließlich die Freileitung als Übertragungsmedium für UHV verfügbar
- Noch keine internationalen Normen für den UHV Bereich – diese sind gerade in Arbeit

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**





# Zusatzfolie DESERTEC (früher TREC)



# Zusatzfolie

## Übertragungsfähigkeit und Übertragungsgrenzen UHV AC

- Natürliche Leistung

$$S_{nat} = P_{nat} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{nat} = \frac{U_n^2}{Z_w}$$

$$Z_w = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln \frac{2 \cdot h}{r_B} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

$$Q_v' = -\omega \cdot C' \cdot U_n^2 + \omega \cdot L' \cdot I^2$$

- Maßnahmen zur Erhöhung der natürlichen Leistung

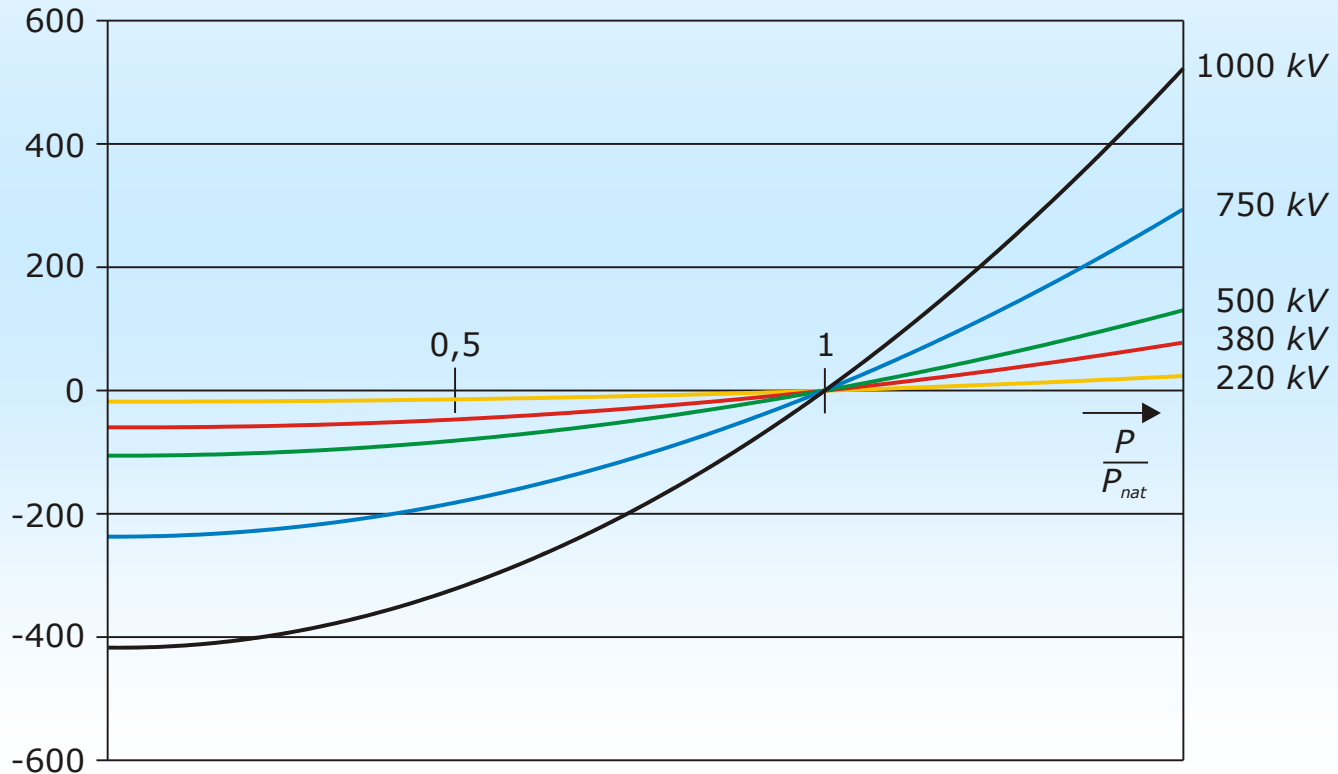
- Erhöhung der Übertragungsspannung  $U_n$
- Verminderung des Wellenwiderstandes  $Z_w$  durch verschiedene Maßnahmen



# Zusatzfolie

## Übertragungsfähigkeit und Übertragungsgrenzen UHV AC

Erforderliche Blindleistung  
in MVar/100 km



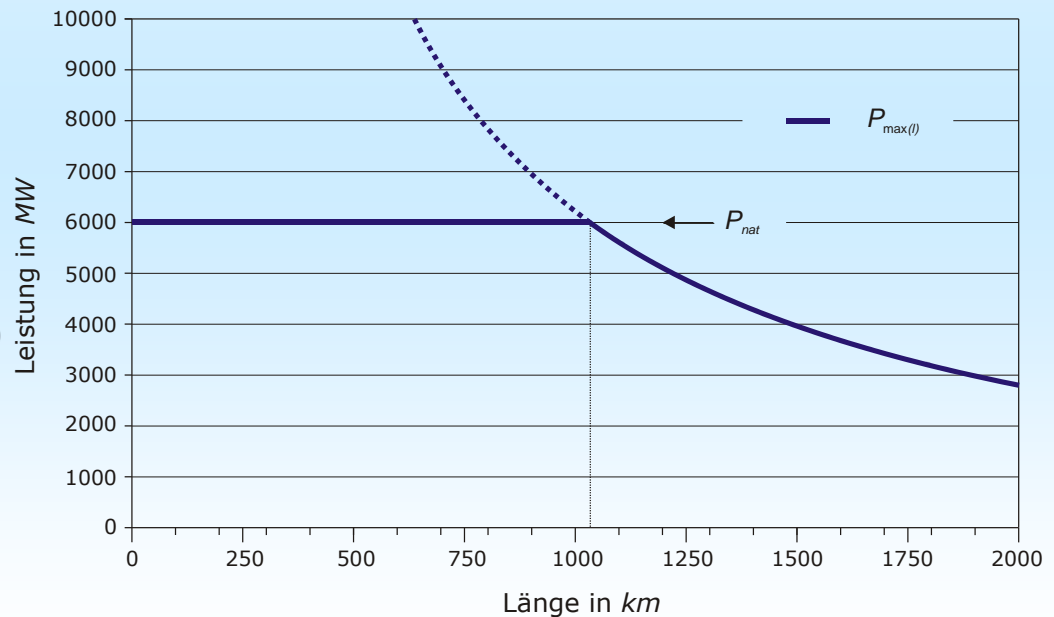
# Zusatzfolie

## Stabilitätsverhalten langer AC-Übertragungsleitungen

- Winkelabhängigkeit
- Sinusförmiges Signal – Wellenlänge
- Kompensation

$$P_{\max(l)} = \frac{U_1 \cdot U_2}{\tilde{Z}_{12}} \cdot \sin(\delta_L) =$$

$$= \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_w \cdot \sinh(\gamma \cdot l)} \cdot \sin(30^\circ)$$



Beispiel berechnet mit einer Nennspannung von 1000 kV und einem Kompensationsgrad von 70 %

# Zusatzfolie

**Tabelle 3.12** Gegenüberstellung elektrischer Parameter [61]

	<i>GIL</i>	<i>VPE Kabel</i> <sup>1</sup> (2 pro Kabel)	<i>Freileitung</i>
$U_n$ in <i>kV</i>	400	400	400
Natürliche Leistung $P_{nat}$ in <i>MW</i>	3292	7619	608
Nennübertragungsleistung in <i>MVA</i>	2078	2000	2000
Wellenwiderstand $Z_w$ in $\Omega$	48,6	21	263
Wirkwiderstandsbelage $R_{AC}$ <sup>1</sup> in $\Omega/km$	0,0067	0,006	0,02
Induktivitätsbelag $H'$ in $\mu H/km$	162	189	892
Kapazitätsbelag $C'$ in $nF/km$	68,6	426	13
Wirkverluste in $kW/km$ <sup>2</sup>	180,9	162	540
Dielektrische Verluste in $kW/km$	-	15	2,4

<sup>1</sup> VPE steht für das Isolationsmaterial „Vernetztes Polyethylen“  
<sup>2</sup> berechnet für eine Strombelastung von 3000 A

# Zusatzfolie UHV DC

