

## Elektrische Verlustleistung im Übertragungsnetz

Bei manchen Visionen der kontinentübergreifenden elektrischen Energieübertragung wird leider die Effizienz der Energieübertragung hinsichtlich der Übertragungsverluste unzureichend beachtet. Die Rangfolge möglicher Energietransportvarianten ist folgende, wobei bei den ersten drei Transportvarianten die Umwandlung der Primärenergie in elektrischer Energie am Ort des Verbrauchsschwerpunktes der elektrischen Energie erfolgt:

1. Transport der Primärenergie mittels Pipelines (Öl oder Gaspipeline)
2. Transport der Primärenergie mittels Schiffspassage (Hochsee- oder Flussschifffahrt)
3. Transport der Primärenergie mittels Eisenbahn (in der Regel selbst bei einer eigenen Schienentrasse)
4. Transport der elektrischen Energie mittels HVAC bis rd. 500 km und HVDC-Leitungen (ab 600 km).

Die Übertragungsverluste der elektrischen Energieübertragung betragen bei HVAC Systemen mit 400 kV rd. 2 %/100 km und bei 800 kV-HVDC Systemen rd. 1 %/100 km jeweils bei Auslastung nahe der thermischen Grenzleistung.

Die typischen Leitungsdaten einer 420 kV Viererbündel AC-Freileitung 4x240/40 mm<sup>2</sup> sind folgende:

$R' = 0,03 \Omega/\text{km}$ ,  $X' = 0,251 \Omega/\text{km}$ ,  $C' = 13,8 \text{ nF}/\text{km}$ ,  $I_C' = 1,05 \text{ A}/\text{km}$ ,  $Q_C' = 650 \text{ kVar}/\text{km}$

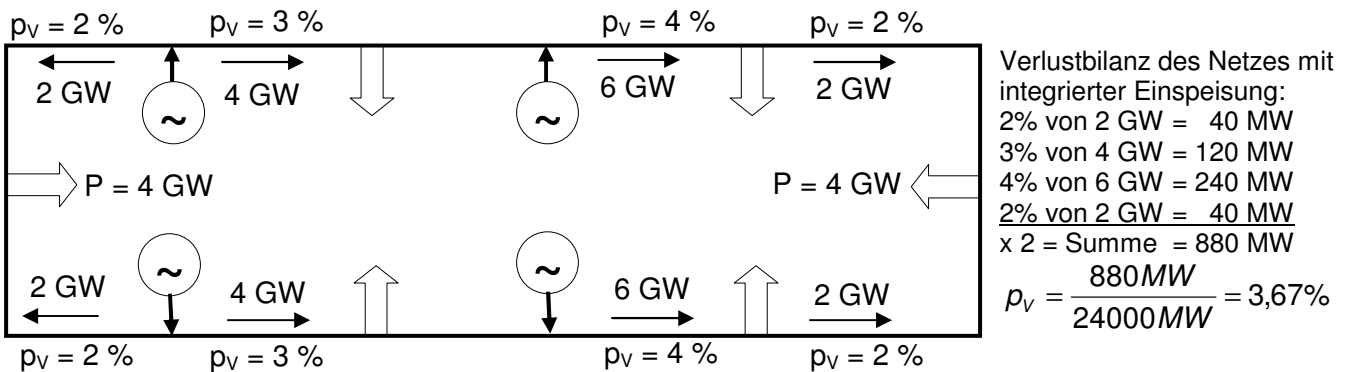
$Z_w = 241 \Omega$ ,  $P_{\text{nat}} = 731 \text{ MW}$  mit  $p_v = 1,37 \text{ \%}/100 \text{ km}$ ,  $S_{\text{therm}} = 1.877 \text{ MVA}$  mit  $p_v = 3,52 \text{ \%}/100 \text{ km}$ .

Für die verlustlose Leitung gilt (nur zur Verdeutlichung, warum ab 500 km DC erforderlich wird):

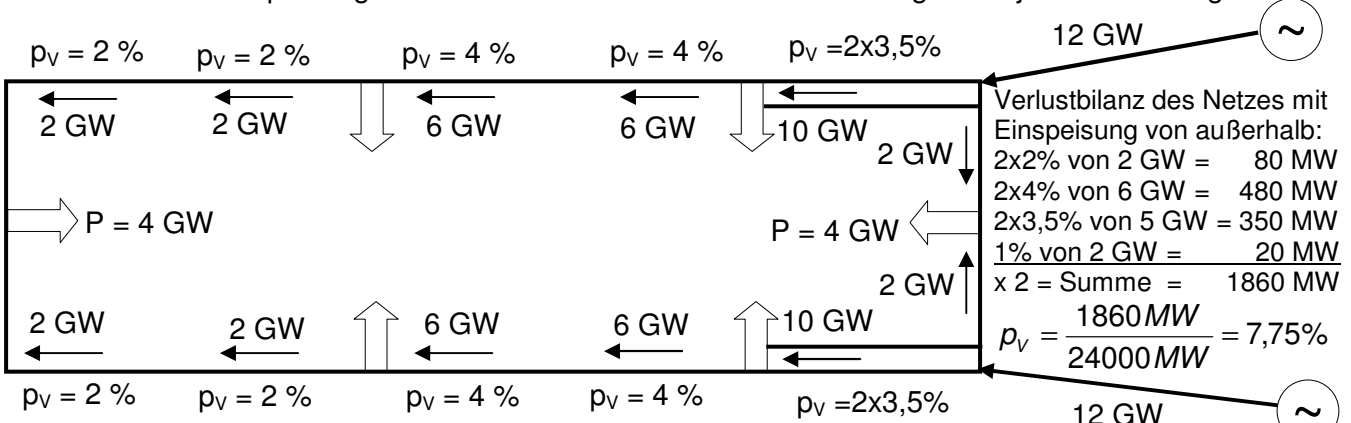
$$U_{1A} = U_{1E} \cos \beta \cdot l + jZ_w \cdot I_{1E} \sin \beta \cdot l, \quad Z_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cdot \ln \frac{d}{r_L} = 60 \Omega \cdot \ln \frac{d}{r_L}, \quad \beta = \omega \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

**Spannungswinkel:**  $\delta = \beta \cdot l = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l = 360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda} = 6^\circ \cdot \frac{l}{100 \text{ km}} < 30^\circ$  (bei  $f = 50 \text{ Hz}$  ist  $\lambda = 6.000 \text{ km}$ ).

4 Einpeisepunkte je 6.000 MW = 24.000 MW, 6 Entnahmepunkte mit je 4.000 MW = 24.000 MW



Nun sollen die Einspeisungen von außerhalb über zwei HVDC Leitungen mit je 12 GW erfolgen:



Im ersten Netzabschnitt ist eine Netzverstärkung (Doppelleitung) erforderlich und zu den erhöhten Übertragungsverlusten kommen nun noch die Transportverluste aus der Erzeugungsregion hinzu.