

Stromübertragung im Höchstspannungsnetz

# ERDKABEL ODER FREILEITUNG- DIE QUAL DER WAHL?

MICHAEL JESBERGER, COO

Stuttgart, den 11.06.2024

# AGENDA

**01**

Herausforderungen an  
das Höchstspannungsnetz der Zukunft

---

**02**

Technische Ausführung

---

**03**

Erdkabel oder Freileitung

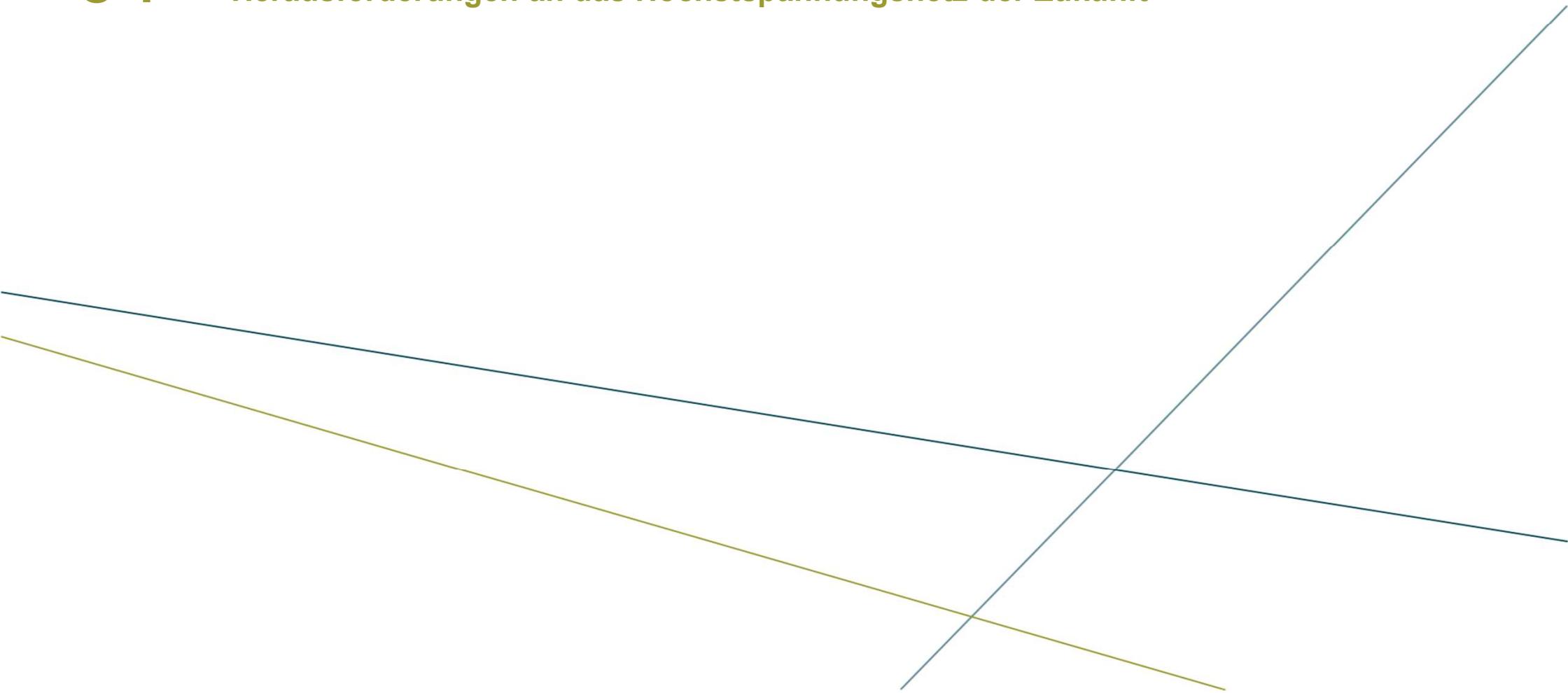
---

**04**

Fazit

# 01

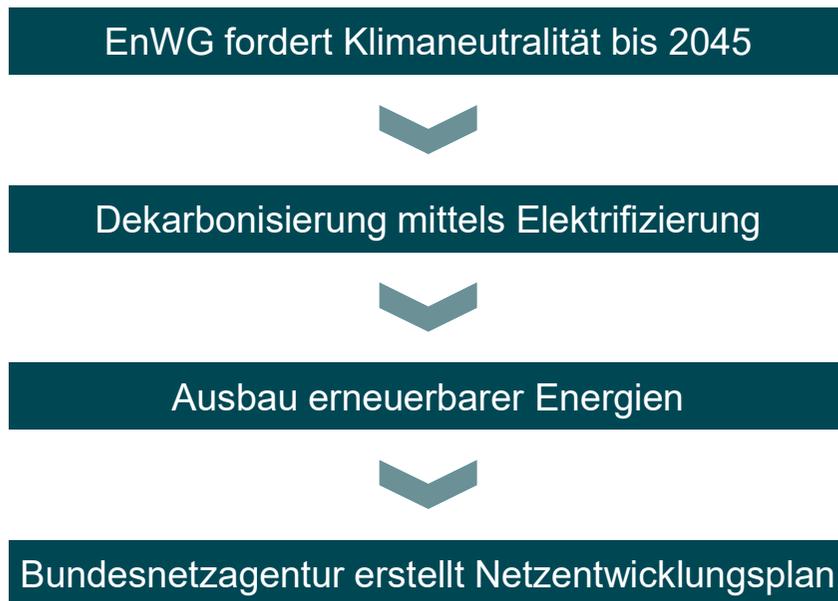
## Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz der Zukunft



01 Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz der Zukunft

# IM AUFTRAG DER ENERGIEWENDE

## GESETZLICHER RAHMEN



## AUFTRAG AN DIE ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER



01 Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz der Zukunft

# DOPPELTER STROMVERBRAUCH ERFORDERT DREIFACHE ERZEUGUNGSLEISTUNG

	Referenz 2020/2021	NEP 2037/2045
Bruttostromverbrauch [in TWh]	533	1079 - 1303
Summe Erzeugung [in GW]	232	685 - 750
- davon regenerativ	139	638 - 703
Höchstspannungsnetz [in km]	37.000	+ 9200 (AC+DC onshore, NEP Zubaunetz+Startnetz)

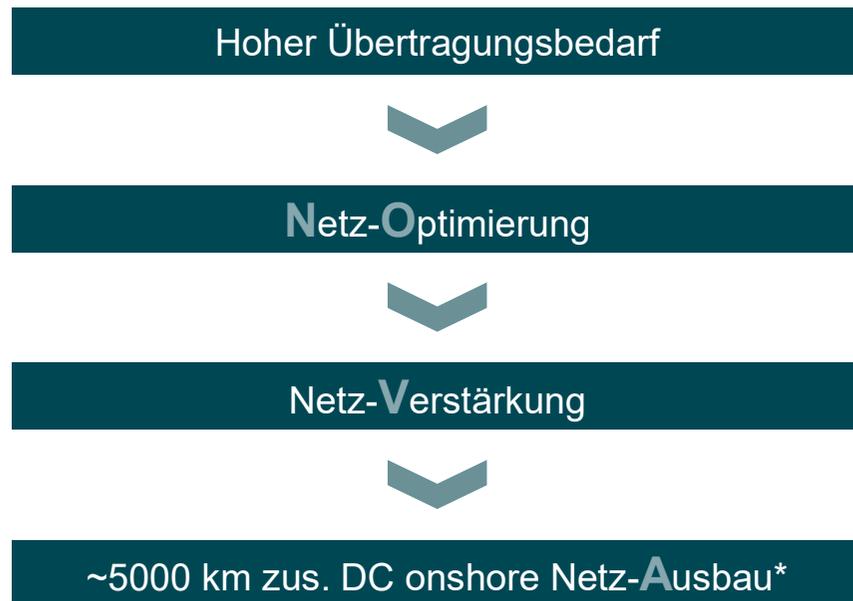
01 Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz der Zukunft

# ANSTIEG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN

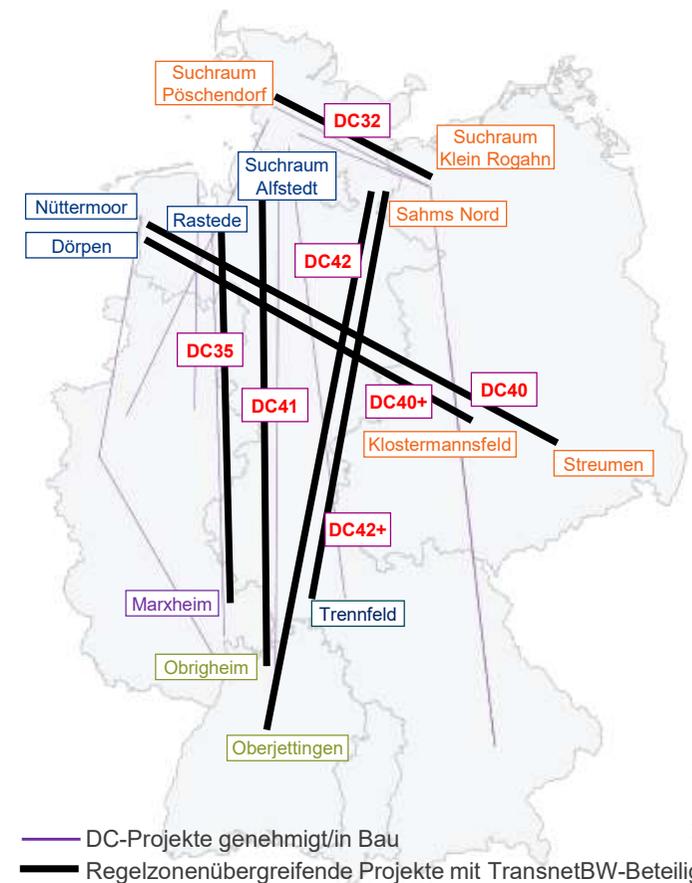
		Bestand	2037	2045
	<p><b>Photovoltaik</b> (Faktor 8)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>/ Starker Zuwachs, Verdopplung des Ausbauziels nach Koalitionsvertrag</li> <li>/ Gleiche Anteile Freiflächen-/Gebäude-PV beim Zubau</li> </ul>	59 GW	345 GW	400 GW - 445 GW
	<p><b>Offshore-Windenergie</b> (Faktor 9)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>/ Anhebung des Ausbaupfads unter Berücksichtigung des Koalitionsvertrags</li> <li>/ Schwerpunkt auf Nordsee, Anlagen auch außerhalb der dt. AWZ</li> </ul>	8 GW	50,5GW - 58,5GW	70 GW
	<p><b>Onshore-Windenergie</b> (Faktor 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>/ Anhebung des Ausbaupfads im Vergleich zum vorherigen Szenariorahmen</li> <li>/ Orientierung des regionalen Zubaus überwiegend an Flächenpotentialen</li> </ul>	56 GW	158 GW - 162 GW	160 GW - 180 GW
	<p><b>Biomasse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>/ Rückgang der Erzeugungsleistung</li> <li>/ Nutzung der Biomasse vorzugsweise in anderen Sektoren</li> </ul>	10 GW	4,5 GW	2 GW

01 Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz der Zukunft

# NEUE GLEICHSTROMVORHABEN SIND DERZEIT GEM. BBPLG VORRANGIG ALS ERDKABEL AUSZUFÜHREN



\*Quelle: BNetzA-Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für die Zieljahre 2037/2045, Gesamter DC-Zubau im Onshore-Netz abzüglich Maßnahmen, die schon in Bau oder Genehmigung sind („Startnetz“)

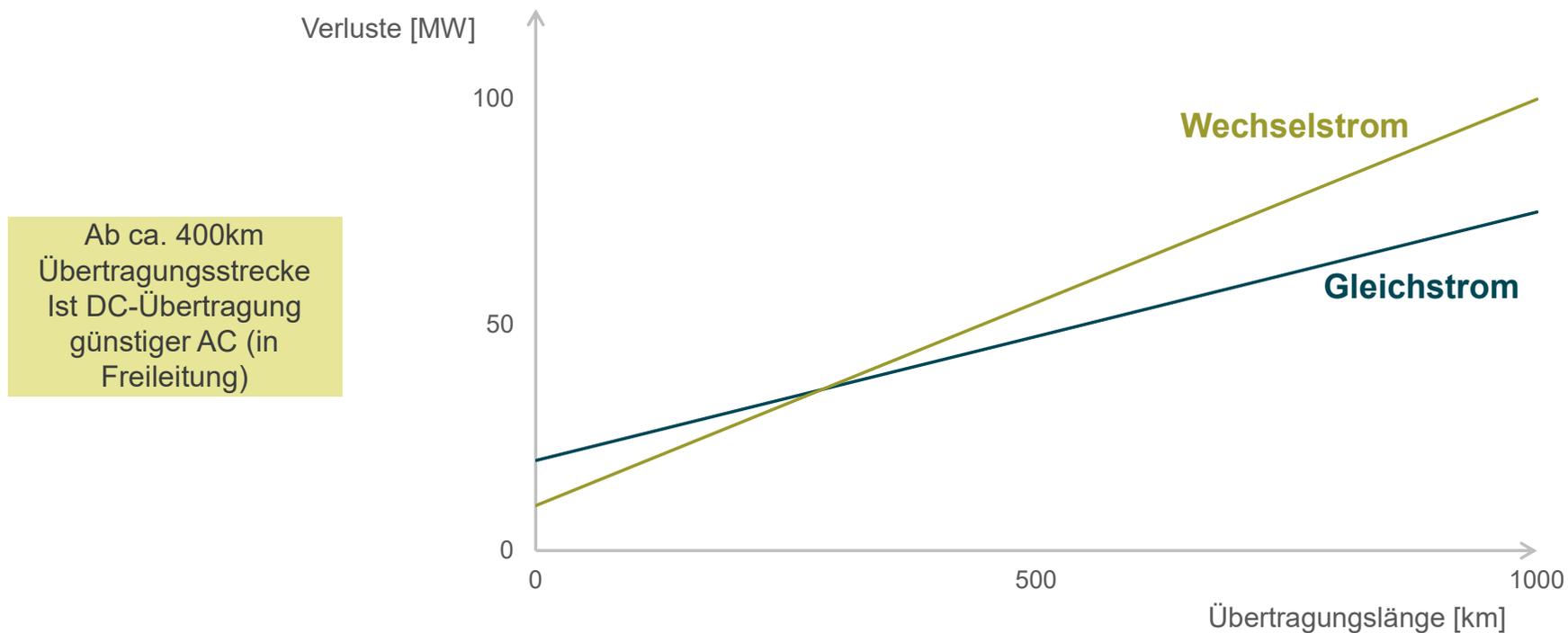


# 02 Technische Ausführung



02 Technische Ausführung

# JE LÄNGER DIE STRECKE, DESTO GRÖßER DIE VORTEILE DER GLEICHSTROMÜBERTRAGUNG

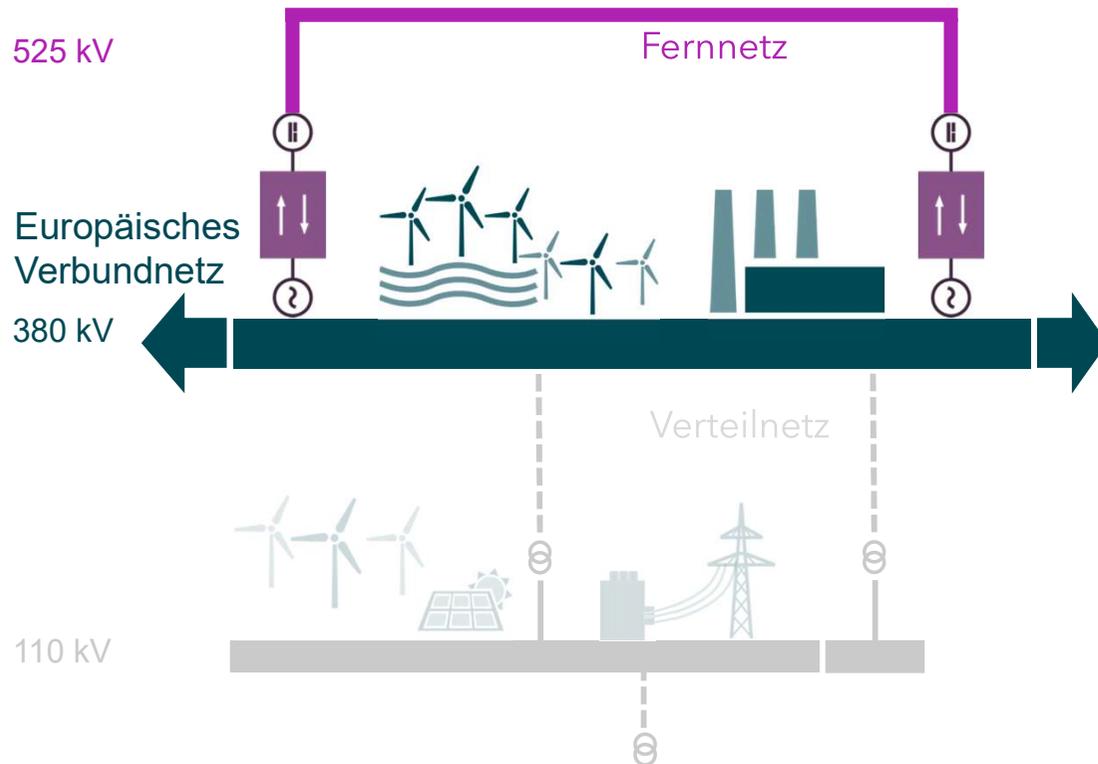


Ab ca. 400km  
Übertragungsstrecke  
Ist DC-Übertragung  
günstiger AC (in  
Freileitung)

Spannung 400 kV  
Übertragungsleistung 1200 MW

02 Technische Ausführung

# UNTERSCHIEDLICHE ANFORDERUNGEN ERFORDERN UNTERSCHIEDLICHE LÖSUNGEN



## GLEICHSTROM (DC = DIRECT CURRENT)

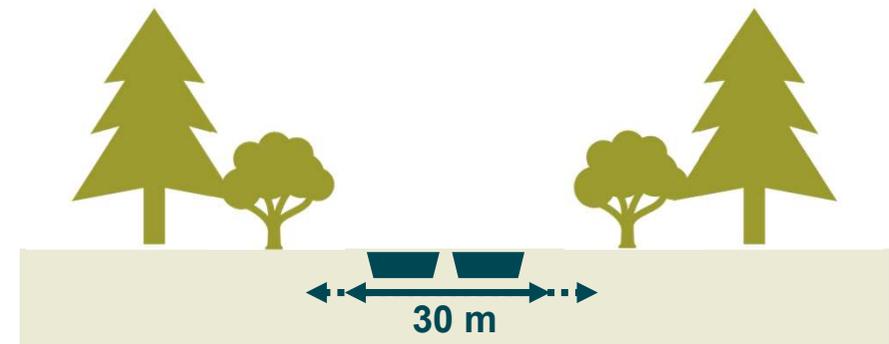
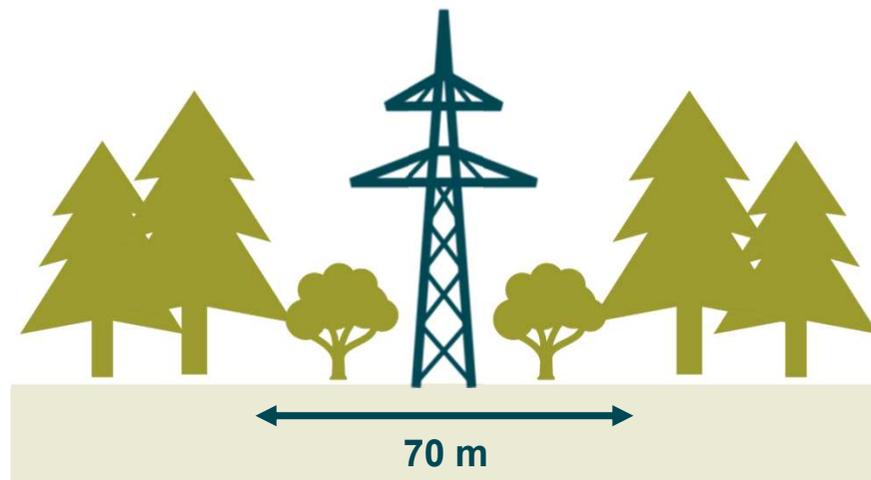
- / Punkt-zu-Punkt-Verbindung großer Leistungen
- / Nahezu blindleistungsfreier Stromtransport
- / Konverter an Netzverknüpfungspunkten

## WECHSELSTROM (AC = ALTERNATING CURRENT)

- / Vermaschte Netze mit diversen Ein- und Ausspeisepunkten möglich
- / Kostengünstige Umspannung ins Verteilnetz

02 Technische Ausführung

# ÜBER- ODER UNTERIRDISCH?



*„Bei der Entscheidung, ob eine Leitung unterirdisch verlegt werden soll, ist zwischen der Notwendigkeit des Stromtransportes zu minimalen Kosten unter Verwendung einer erprobten Technologie einerseits und den Umweltverhältnissen und Umweltsanierungsmaßnahmen entlang der Trasse andererseits abzuwägen.“*

ETSO (heute ENTSO-E)

02 Technische Ausführung

# ERDKABEL - ABMESSUNGEN

2 Systeme à ca. 2 GW Übertragungsleistung, Beispiel SuedLink

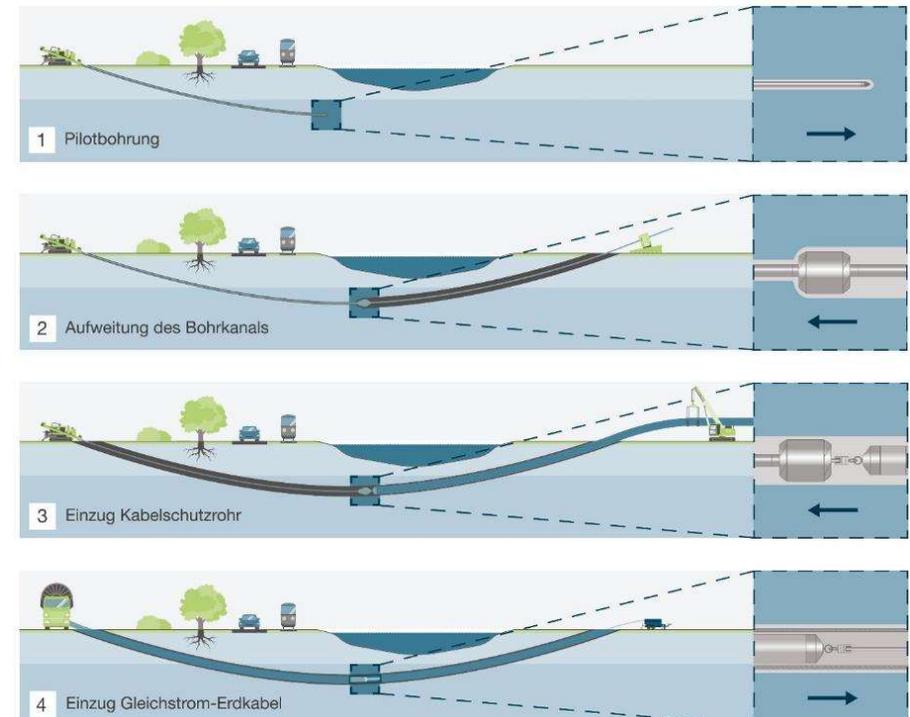


02 Technische Ausführung

# GESCHLOSSENE KABELVERLEGUNG AM BEISPIEL HDD-VERFAHREN IM PROJEKT SUEDLINK

## UMWELTSCHONENDE UNTERBOHRUNG MIT DEM HORIZONTAL-SPÜLBOHRVERFAHREN (HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING, HDD)

- / Ermöglicht die Kreuzung von Gewässern, Straßen, Naturschutzgebieten, Bahnstrecken etc.
- / Weniger Einfluss auf die Boden- und Oberflächenstruktur, da kein Graben notwendig
- / Standardmäßig bis zu einer Länge von 1.000 m



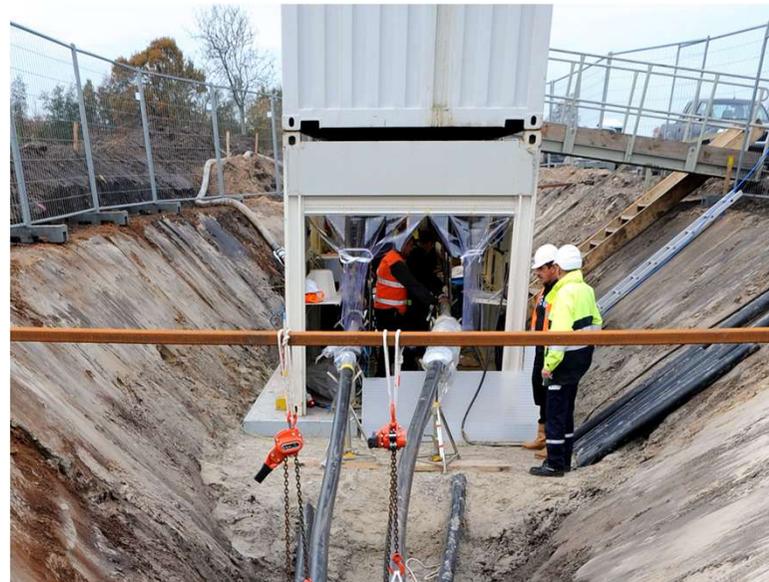
02 Technische Ausführung

# IMPRESSIONEN ERDKABELVERLEGUNG - OFFENE BAUWEISE



525 kV VPE-Kabel

Quelle: Projekt SuedLink



Muffengrube (max. alle 2 km)

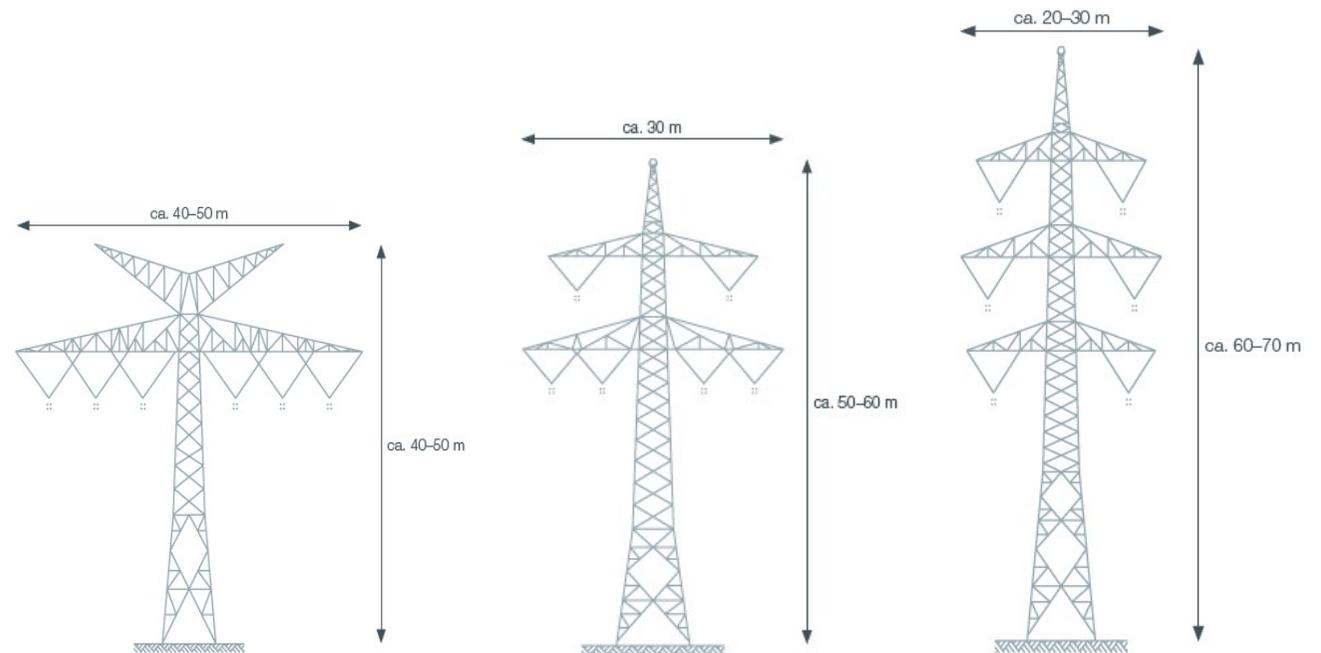


Arbeitsfläche

02 Technische Ausführung

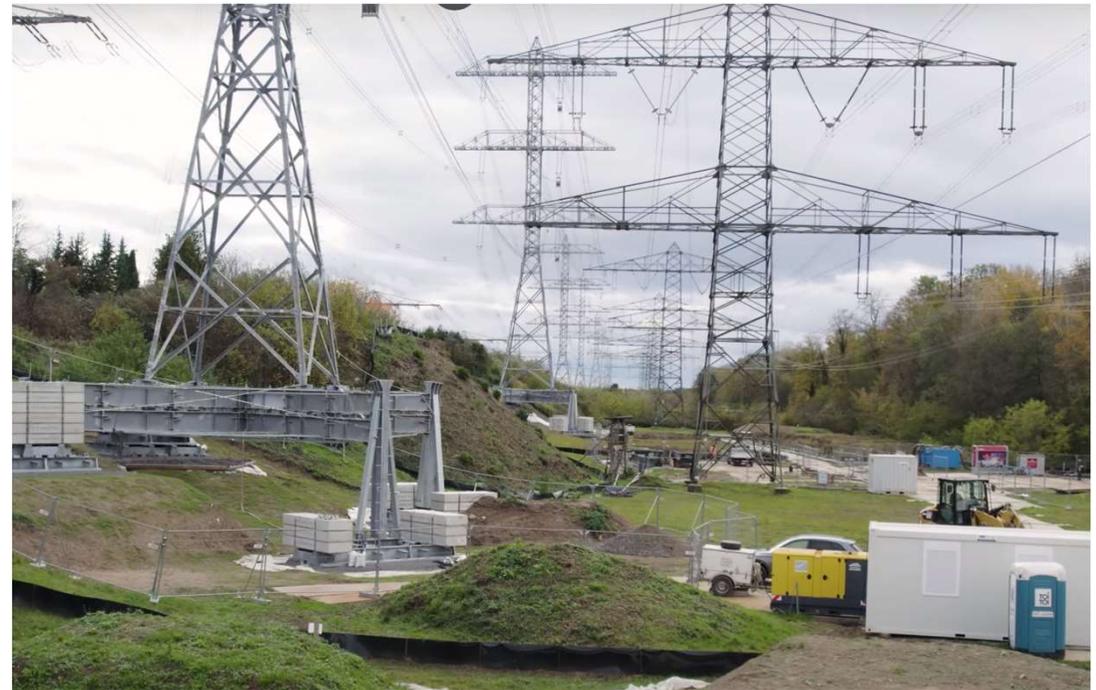
# FREILEITUNG - ABMESSUNGEN

Doppelleitung mit 2 Systemen und ca. 4 GW Übertragungsleistung



02 Technische Ausführung

# IMPRESSIONEN FREILEITUNG/BAUSTELLE



# 03

## Erdkabel oder Freileitung



03 Erdkabel oder Freileitung

# ENTSCHEIDENDE DIMENSIONEN LASSEN SICH AUS DEM ZIELDREIECK ABLEITEN



03 Erdkabel oder Freileitung - Umweltverträglichkeit

# AUSWIRKUNGEN AUF SCHUTZGÜTER SCHWIERIG GEGENEINANDER AUFWIEGBAR



Vorteil für XX

**baubedingt**

**anlagen- und betriebsbedingt**

Menschen	Beeinträchtigung der Wohn- und Erholungsqualität durch Baustellen	+FL	Subjektive Beeinträchtigung durch oberirdische Bauten sowie Geräuschimmissionen	+EK
Tiere und Pflanzen	Lebensraumbeeinträchtigung und Trassenfreiräumung	+FL	Kollisionen mit der Anlage Auswirkungen auf Wälder und Biotope	+EK +FL
Landschaft/Fläche	Arbeiten im Trassenraum	+FL	Anspruch der Fläche im Trassenbereich	+FL
Boden und Wasser	Auswirkungen durch Abgrabung, Versiegelung, Bodenverdichtung sowie Bodenumlagerung spielen überwiegend nur bei Erdkabeln eine signifikante Rolle			+FL



03 Erdkabel oder Freileitung - Umweltverträglichkeit

# DIE BETROFFENHEIT VERLAGERT SICH

## ERDKABEL



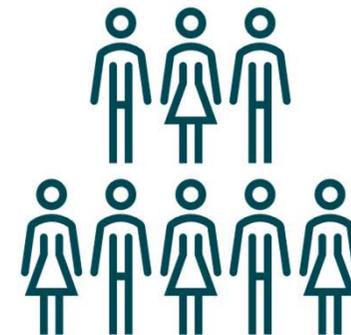
*Landwirte und Eigentümer*



## FREILEITUNG



*Bevölkerung (Nah- und Fernbetroffenheit)*





### 03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

## TECHNISCHE MERKMALE

### ERDKABEL

- / Isolierung durch Kabelisoliationsmedium und Erdreich
  - aufwändigere **Fehlerbehebung**
  - Temperaturbeschränkung schärfer als bei FL
  - Teilentladungen zerstören die Isolierung
- / Kapazitiv wirkende Betriebsmittel
  - AC: enorme **Blindleistungskompensation** durch induktive Betriebsmittel notwendig

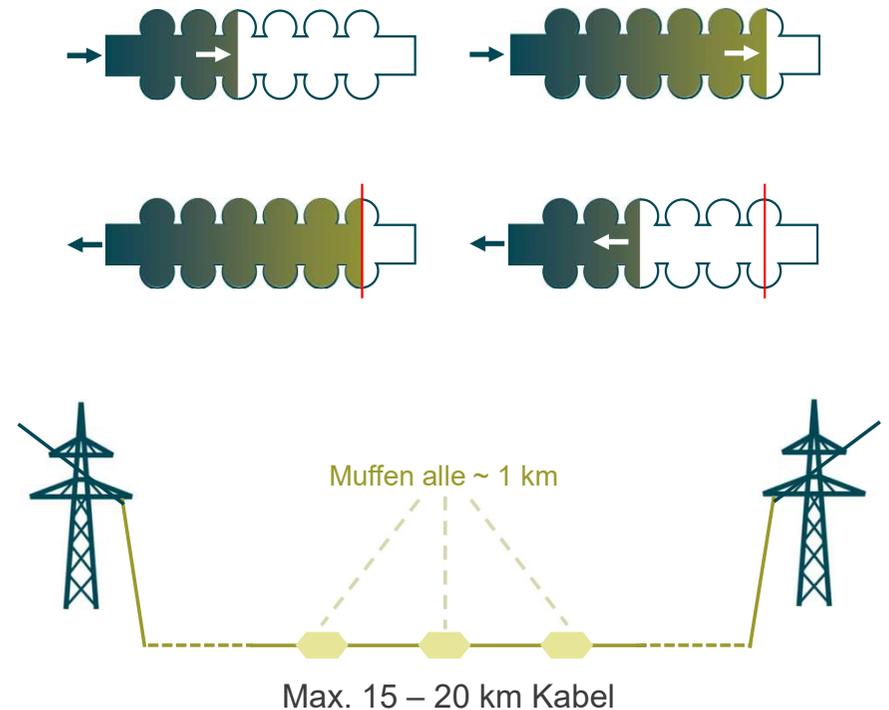
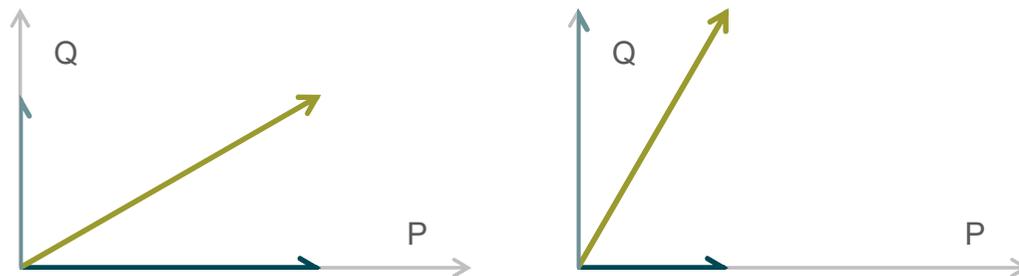
### FREILEITUNG

- / **Selbstheilende** Isolierung durch Luft
  - z.B. bei Blitzeinschlägen
- / Ausgleich kapazitive und induktive Eigenschaften möglich
  - Betrieb mit natürlicher Leistung möglich
- / **Höherauslastung** möglich durch WAFB

03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

# BEGRENZTE VERKABELUNGSLÄNGE IM WECHSELSTROMNETZ DURCH BLINDLEISTUNG

- / Aufladung der Erdkabelkapazität notwendig, um Wirkleistung zu übertragen
- / Kontinuierliche Auf- und Entladung durch Polaritätsänderung des Wechselstroms (alle 10 ms, 50 Hz) bindet Strom in Form von Blindstrom
- / Dadurch wird ein bedeutender Anteil der Stromtragfähigkeit für die Bereitstellung von Blindleistung aufgewendet  
→ keine Übertragung von Wirkleistung mehr möglich





03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

# BETRIEBSMITTEL ZUR KOMPENSATION VON BLINDLEISTUNG

/ Kapazitive wirkende Betriebsmittel steigern und induktiv wirkende Betriebsmittel senken die Spannung im Netz → Kompensation benötigt



Kompensationskondensator  
(Umspannwerk Engstlatt)



Kompensationsdrosselspule  
(Werksabnahme)

AC-Erdkabel als kapazitiv wirkende Betriebsmittel erfordern Kompensation durch Drosselspulen



03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

# ERDKABEL ERHÖHEN DIE KOMPLEXITÄT IM BETRIEB

**Automatische Wiedereinschaltung (AWE) nach kurzzeitigem Fehler stellt Isolierstrecke wieder her**

**Erdkabel**

**Kurzzeitige Unterbrechungen**

AWE nicht möglich für Erdkabel, da Risiko Totalschaden  
 → Fehler führen in jedem Fall zur automatischen Abschaltung

**Inspektion und Störungsbehebung**

Fehlerortung durch Monitoringsysteme notwendig  
 Austausch des defekten Teilstücks durch Tiefbau-  
 maßnahme

**Freileitungen**

**Kurzzeitige Unterbrechungen**

Die meisten kurzzeitigen Fehler (Erdschlüsse durch Blitzeinschläge etc). können durch AWE behoben werden

**Inspektion und Störungsbehebung**

Inspektion durch visuelle Betrachtung (Begehung, Drohnen) möglich  
 Viele Defekte durch kleinere Baumaßnahmen behebbar



03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

# ZUGÄNGLICHKEIT ENTSCHIEDET ÜBER DIE VERFÜGBARKEIT IM BETRIEB

	Erdkabel	Freileitung
Fehlerrate pro Jahr und 100km gem. CIGRE-Statistiken/ÜNB-Auswertung	0,11 (DC) – 0,5 (AC)	0,25
Reparaturzeit in Tagen (höchster Wert muss beherrschbar sein)	8,5 - 30	2
Durchschnittliche Nichtverfügbarkeit (pro Jahr und 100 km)	2,2 Tage (0,6%) – 8,1 Tage (2,2%)	0,5 Tage (0,14%)



Verfügbarkeit Freileitung ca. 3-14 mal so hoch wie Erdkabel

03 Erdkabel oder Freileitung - Versorgungssicherheit

# ZUGÄNGLICHKEIT ENTSCHIEDET ÜBER DIE VERFÜGBARKEIT IM BETRIEB



## Beispiel einer DC-Verbindung, Länge ca. 700 km

Bis zu ca. 60 Tage im Jahr statistisch nicht verfügbar



Ca. 4 Tage im Jahr statistisch nicht verfügbar



Durchschnittliche Nichtverfügbarkeit (pro Jahr und 100 km)

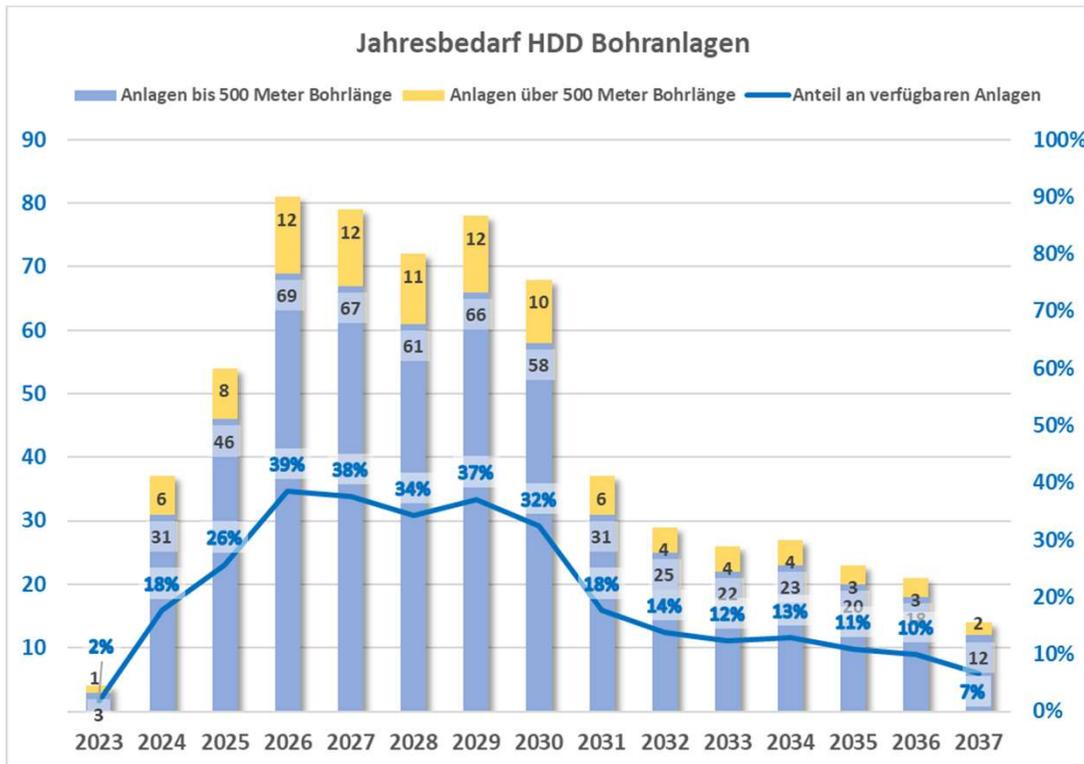


■ Erdkabel ■ Freileitung



03 Erdkabel oder Freileitung - Wirtschaftlichkeit

# VERFÜGBARE MARKTKAPAZITÄTEN BEEINFLUSSEN DIE UMSETZBARKEIT



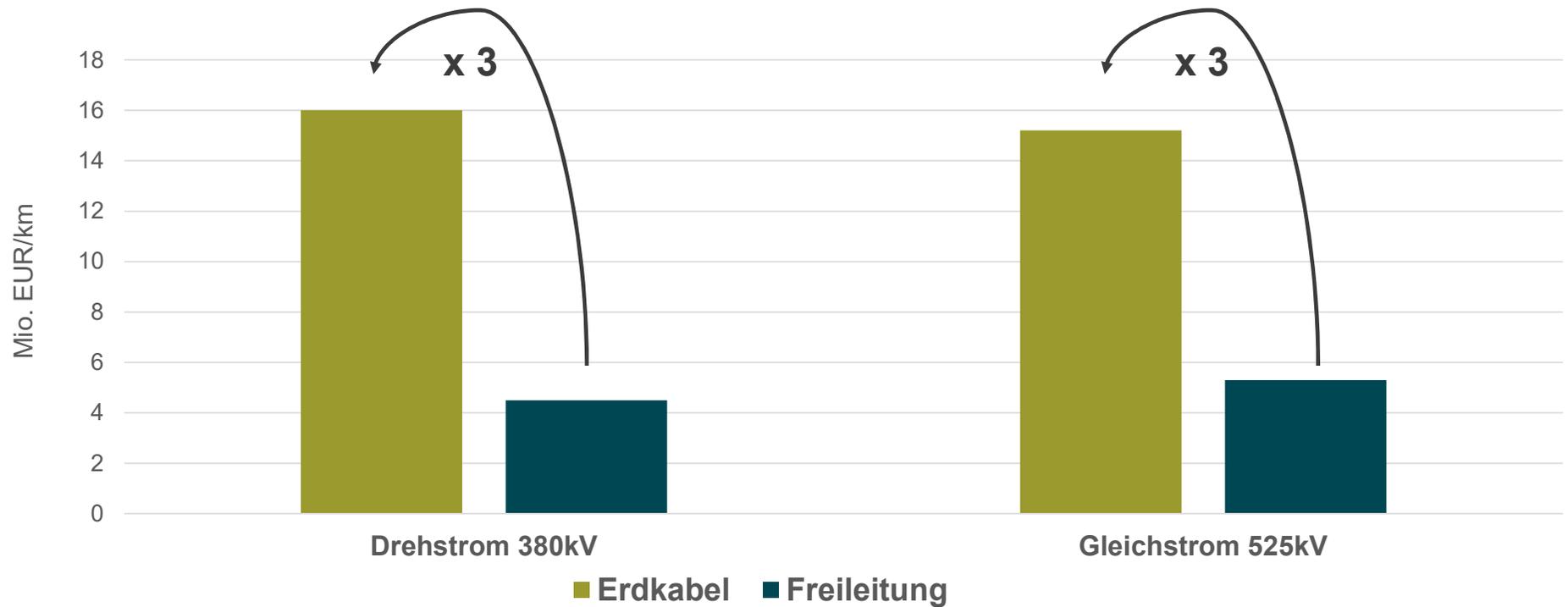
- / Spülbohrverfahren (HDD) wird verwendet für Hindernisse wie Infrastruktur, Flüsse oder schwieriges Gelände
- / Ebenfalls angewendet für diverse Infrastruktur-Baumaßnahmen
- / Grobe Marktabschätzung der ÜNB ergibt, zeitweilig bis zu einem Drittel der aktuell verfügbaren HDD-Anlagen ausgelastet werden können
- / Markt baut bereits Kapazitäten auf, aber die größte Herausforderung ist der Mangel an Fachpersonal

Quelle: Projektbeauftragung Tiefbau: Verfügbarkeiten von Material und Maschinen, Beschleunigungsmöglichkeiten, SG Asset (2023)

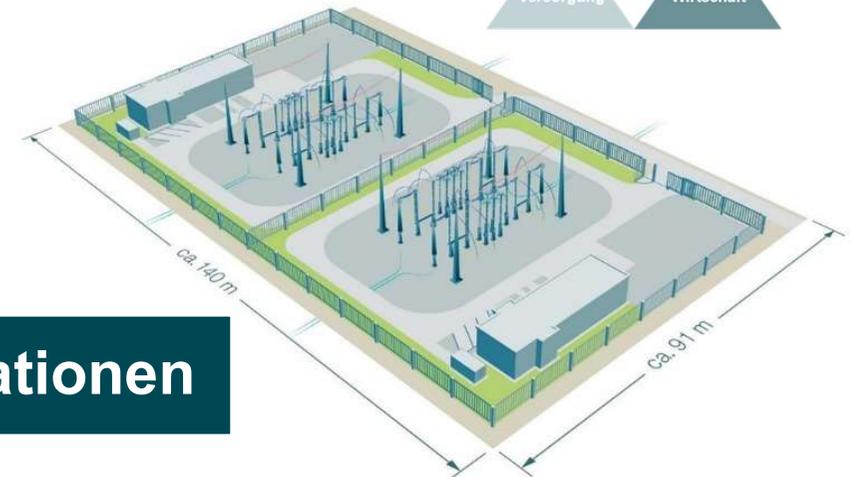


03 Erdkabel oder Freileitung - Wirtschaftlichkeit

# INVESTITIONSKOSTEN FÜR ERDKABEL ETWA DREIMAL HÖHER



# IST TEILERDVERKABELUNG BEI AC DIE LÖSUNG?



**Erfordert Zwischenverkabelungsstationen**

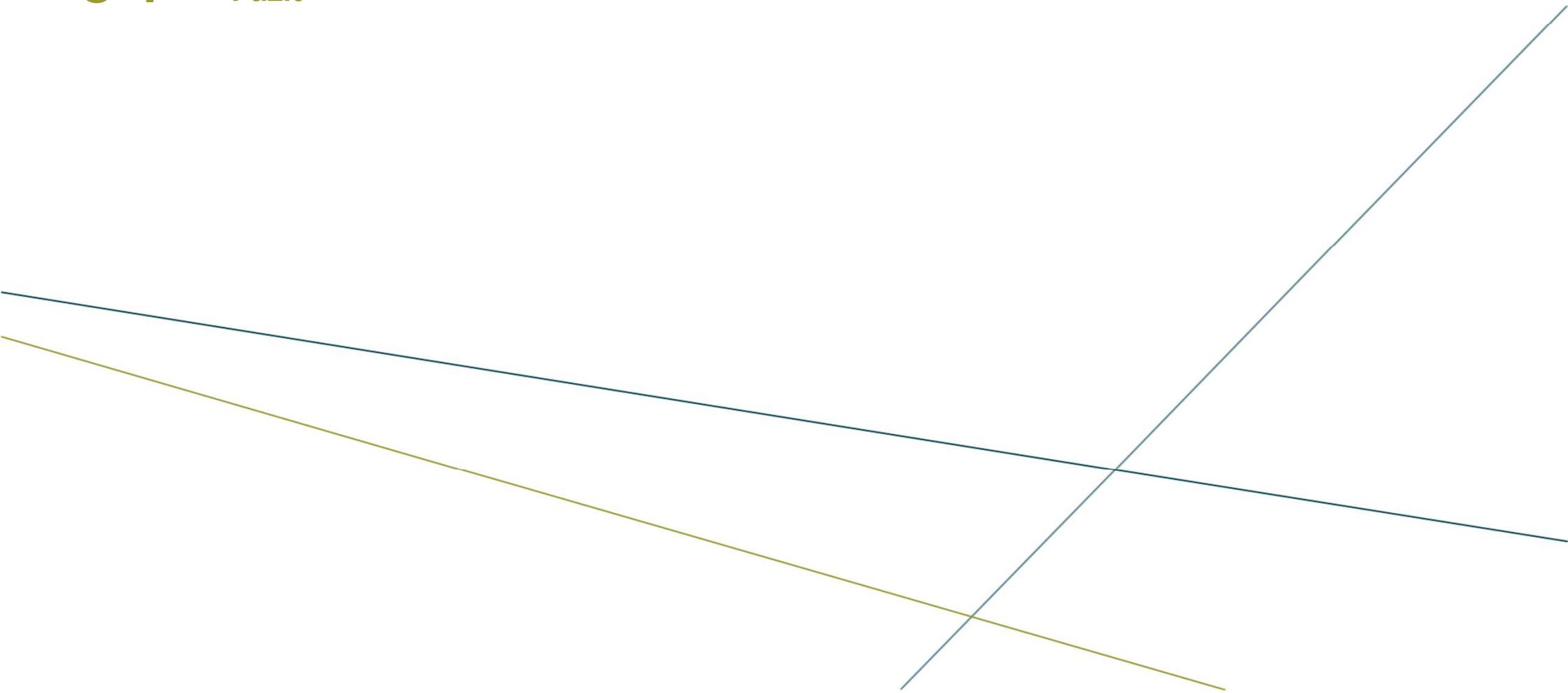


**Erhöht die technischen Anforderungen**



**Kann die Akzeptanz punktuell erhöhen**

# 04 Fazit



04 Fazit

**AC: KEINE REALISTISCHE OPTION FÜR ERDKABEL  
DC: ABWÄGUNG AUF VIELEN EBENEN NOTWENDIG**

