

Kopernikus-Projekt

ENSURE

Neue EnergieNetzStruktURen für die
Energiewende



Bewertung des Einsatzes von supraleitenden 380kV Kabeln

ZIEHL VI, Berlin 2018

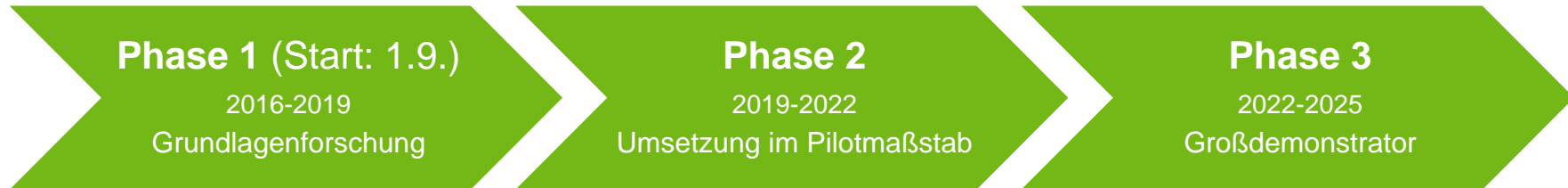
TenneT: Dr.-Ing. Hanno Stagge

KIT: B. Eng. Dustin Kottonau, Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe

Übersicht

- ❖ Kurzübersicht ENSURE-Forschungsprojekt
- ❖ 380kV Zwischenverkabelungen bei TenneT
- ❖ Standardvorgaben herkömmliche Kabelanlagen
- ❖ Auslegung Hochtemperatursupraleiter für 380kV
- ❖ Zusammenfassung und Ausblick

Kopernikus-Projekt ENSURE – Neue EnergieNetzStruktURen für die Energiewende

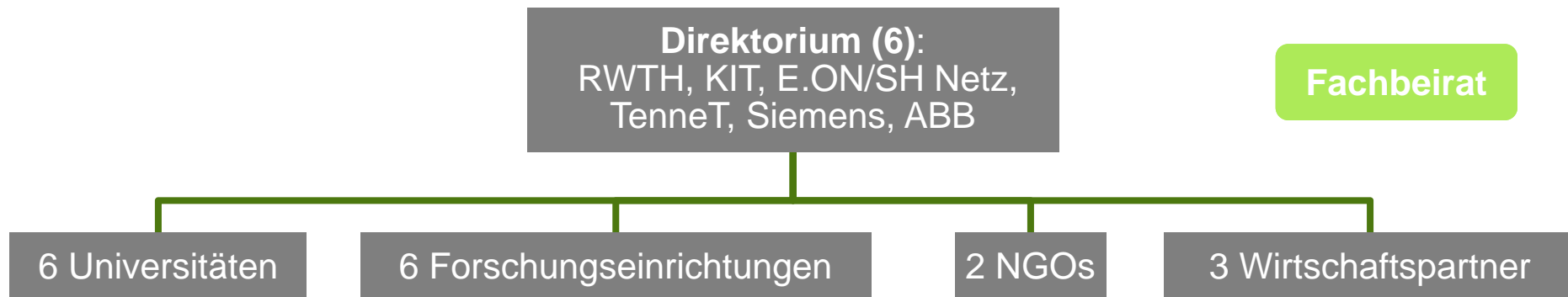


23 Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft

40 Mio. EUR Budget für die erste Förderperiode (2016-2019)

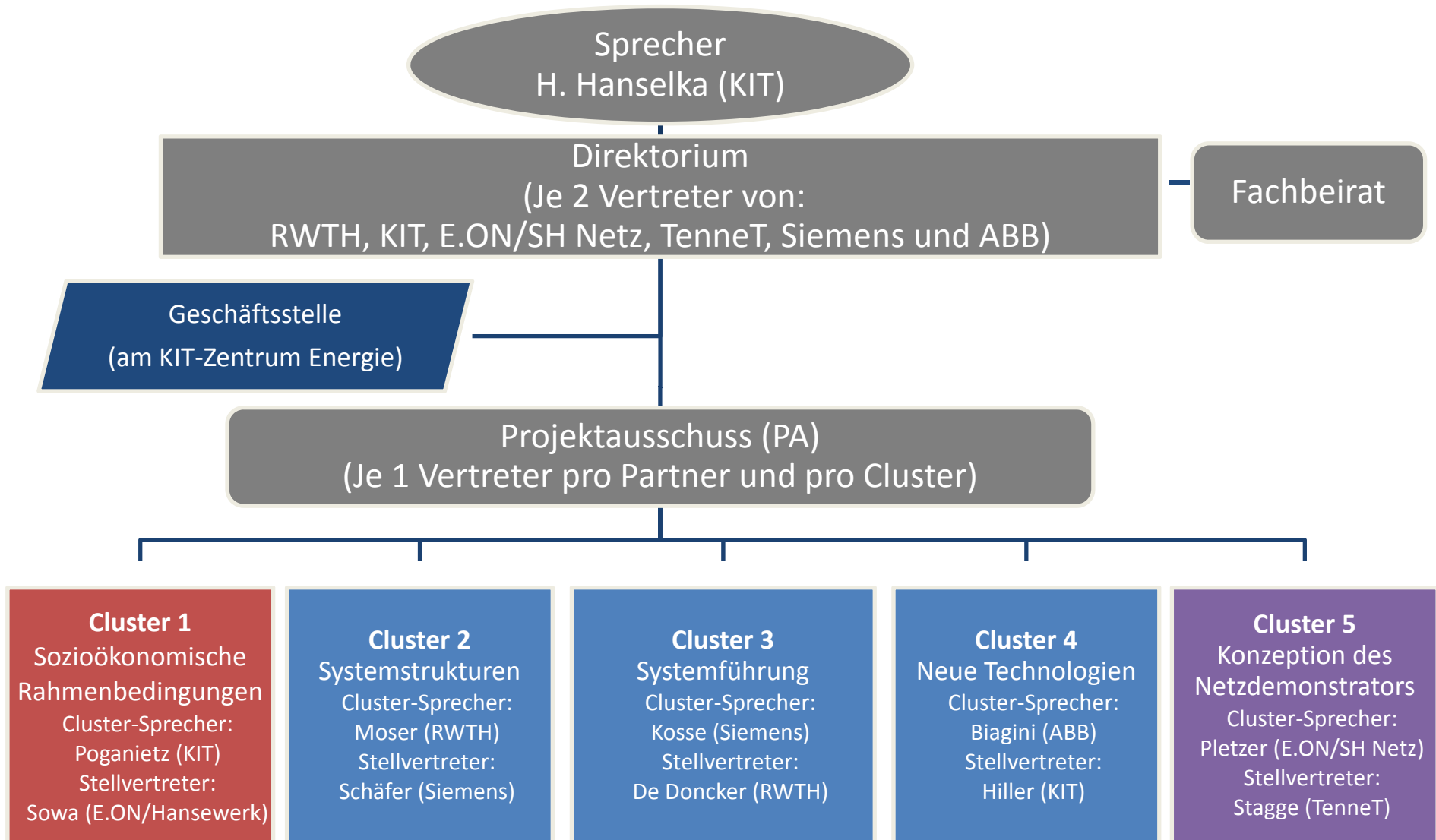
Davon 30 Mio. EUR Förderung durch das BMBF

Geplante Gesamtlaufzeit: 10 Jahre (Volumen ca. 10 Mio. EUR pro Jahr)



<https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/neue-netzstrukturen>

Organisation



Übersicht

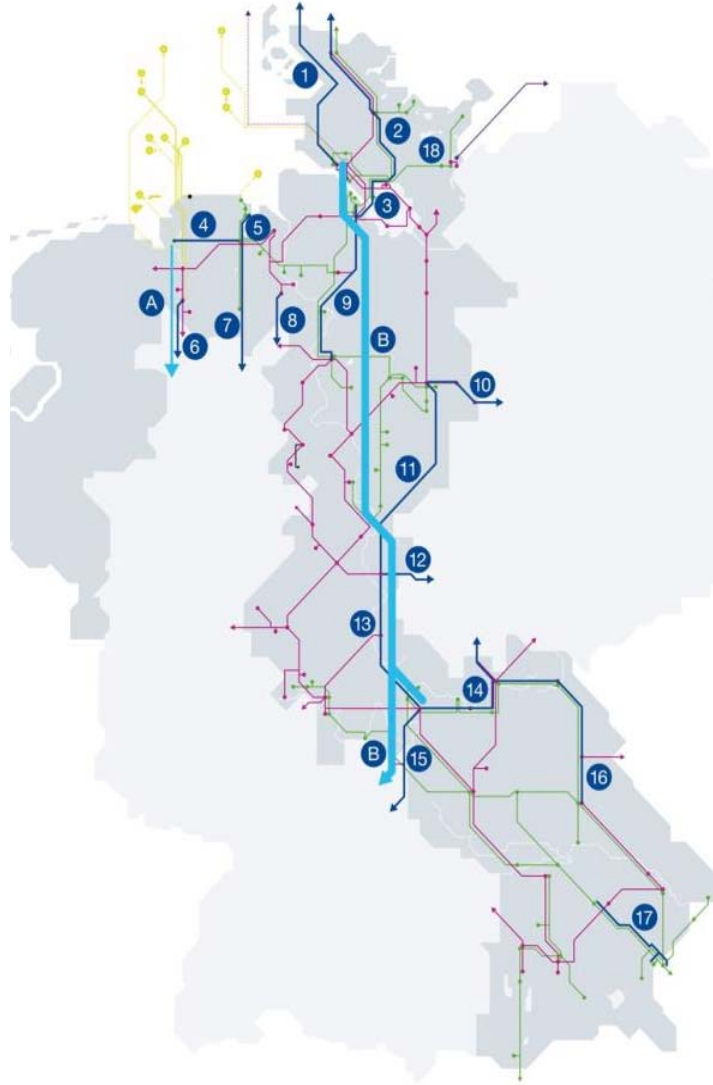
- ❖ Kurzübersicht ENSURE-Forschungsprojekt
- ❖ 380kV Zwischenverkabelungen bei TenneT
- ❖ Standardvorgaben herkömmliche Kabelanlagen
- ❖ Auslegung Hochtemperatursupraleiter für 380kV
- ❖ Zusammenfassung und Ausblick

Voraussetzungen Kabel



- Im Drehstromnetz in Deutschland werden standardmäßig auf Neubauleitungen weiterhin Freileitungen bei 380 kV eingesetzt
- Nur bei konkret im Gesetz benannten Leitungen muss geprüft werden, ob Kabelabschnitte „technisch und wirtschaftlich effizient“ sind
 - Einzelfallprüfung; die Behörden in unterschiedlichen Bundesländern haben verschiedene Ansätze, so dass deutschlandweit keine einheitliche Regelung existiert
- Im Allgemeinen sind Kabelabschnitte von 3 bis 7 km lang
- Die geplanten Gleichspannungsleitungen werden vorrangig als Erdverkabelung ausgeführt und nur im Ausnahmefall als Freileitung

Large Cable Projects



Project (AC 380 kV underground cable)	Commis- sioning (GDP) Year	Route length <i>km</i>	Cable cores <i>No.</i>	Cable sections (plan) <i>km</i>
A120 Wahle - Mecklar	Q3 2021	153,3	12	21,7
A210 Emden/Ost – Conneforde	Q4 2021	63	24	16
A220 Wilhelmshaven – Conneforde	Q4 2020	34,2	12	9,2
A240 Conneforde- Cloppenburg-Merzen	Q4 2023	90	12	27
A250 Stade – Landesbergen Section 2-4	Q4 2023	160	12	23
A250 Bereich Stade Section 1			24	0
A260 Dörpen/West – Niederrhein	Q2 2019	31,3	12	3,1
A280 Ganderkesee - Wehrendorf	Q2 2021	60,7	12	12,5
A310 Ostküstenleitung	Q2 2022	120	12	12
Sum (km) of AC 380 kV cable required	2019 - 2023			1.686

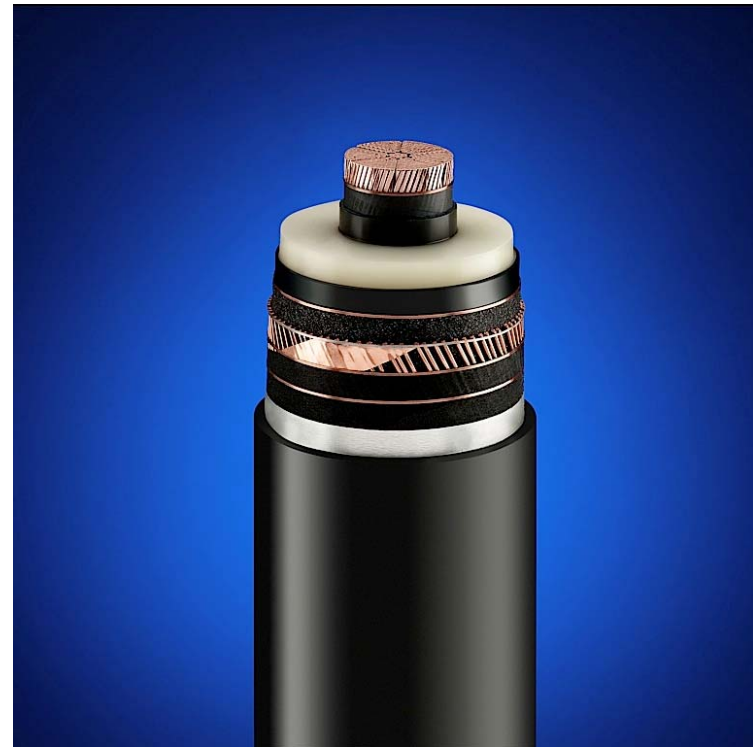
Übersicht

- ❖ Kurzübersicht ENSURE-Forschungsprojekt
- ❖ 380kV Zwischenverkabelungen bei TenneT
- ❖ **Standardvorgaben herkömmliche Kabelanlagen**
- ❖ Auslegung Hochtemperatursupraleiter für 380kV
- ❖ Zusammenfassung und Ausblick

Standardvorgaben - Kabel



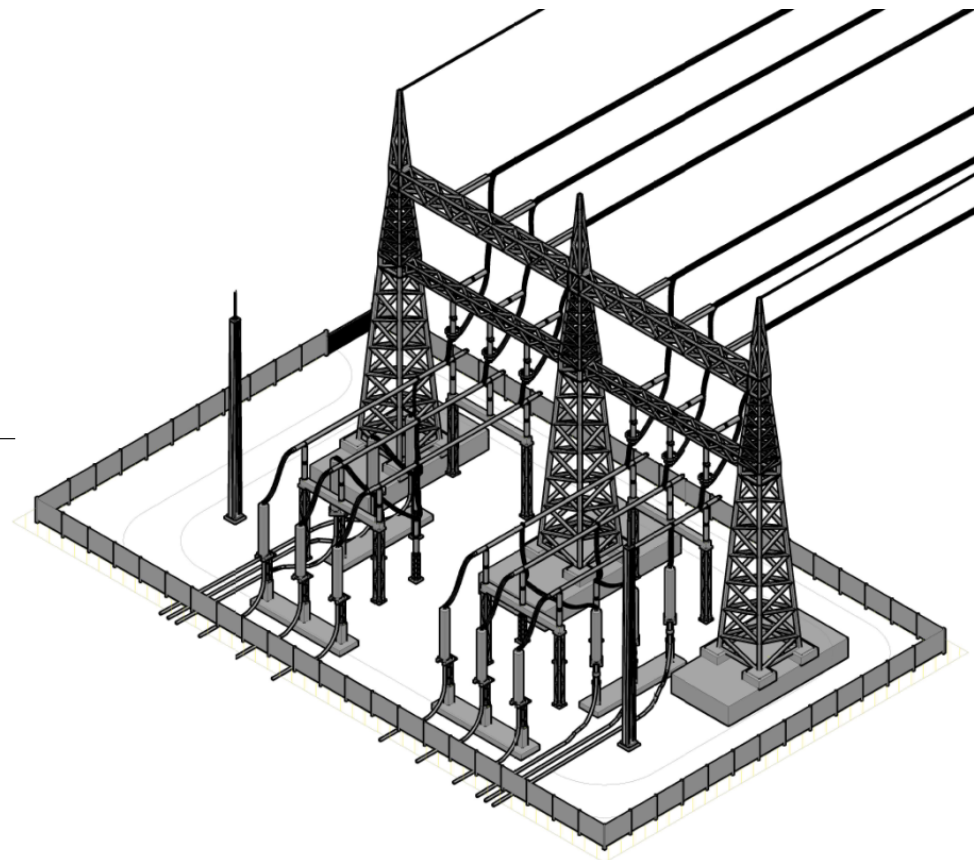
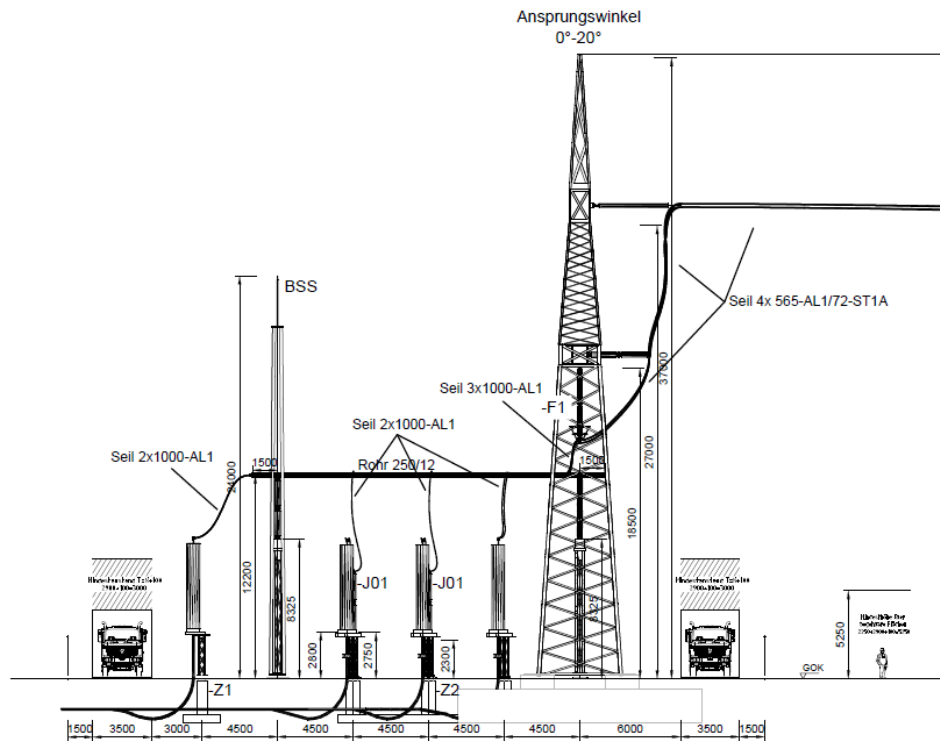
- Isolierung aus VPE
- Leiterquerschnitt 2.500 mm² Kupfer
- Gesamtdurchmesser ca. 145 mm
- Masse knapp 40 kg/m
- LWL für Kabelmonitoring integriert



Quelle: Nexans



Kabelübergangsanlage



Beispielvariante

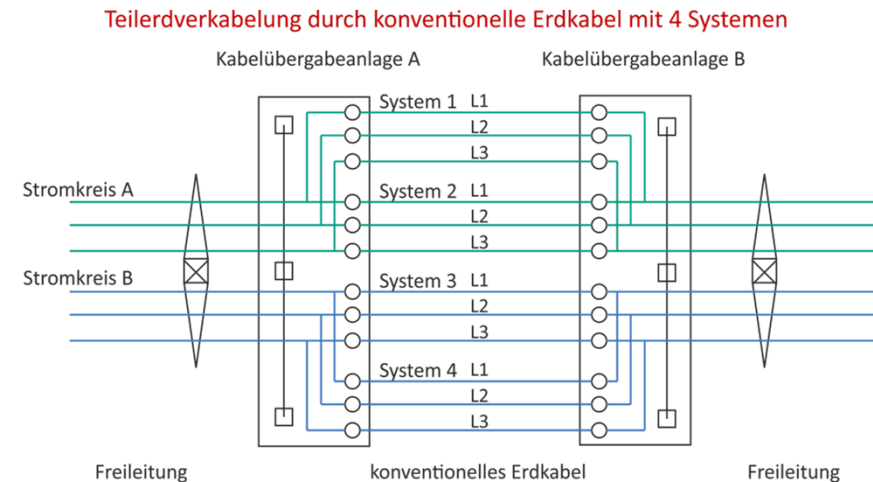
Übersicht

- ❖ Kurzübersicht ENSURE-Forschungsprojekt
- ❖ 380kV Zwischenverkabelungen bei TenneT
- ❖ Standardvorgaben herkömmliche Kabelanlagen
- ❖ **Auslegung Hochtemperatursupraleiter für 380kV**
- ❖ Zusammenfassung und Ausblick

Schema HTS-Anlage

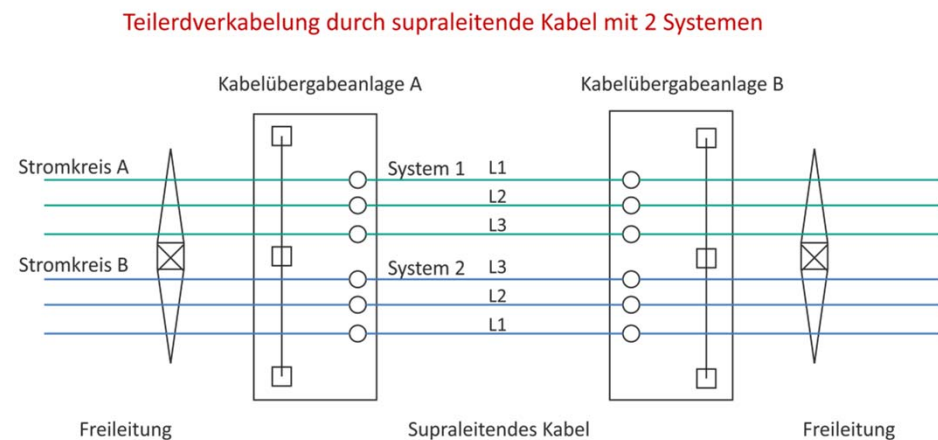
❖ Konventionelle Kabel

- Pro Phase zwei parallele Kabel erforderlich
- Insgesamt 12 Kabel



❖ HTS-Kabel

- Pro Phase ein Kabel erforderlich
- Insgesamt 6 Kabel



Warum HTS bei 380 kV?

❖ Gesicherte Vorteile

- Reduzierung der Trassenbreite der Kabelanlage, weil weniger Kabel benötigt werden
- Im Gegensatz zur herkömmlichen Kabelanlage keine Emission magnetischer Felder und kein Wärmeeintrag in die Umgebung
 - Höhere Akzeptabilität, einfachere Genehmigung
 - Höhere Auslastung möglich

❖ Potentielle weitere Vorteile gegenüber herkömmlicher Kabelanlage

- Geringere Verluste im Betrieb
- Wirtschaftlicherer Betrieb

❖ Untersuchung im Rahmen von ENSURE liefert Auslegung und ganzheitliche Systembetrachtung der für das Übertragungsnetz innovativen HTS-Technik

Auslegungsparameter

Bezeichnung	Symbol	Werte
Bemessungsspannung	U_m	420 kV
Nennspannung	U_N	380 kV
Bemessungsstrom	I_r	3,6 kA
Dauerkurzschlussstrom	I''_{kQ}	63 kA
Fehlerklärungszeiten	t_{KS}	300 ms

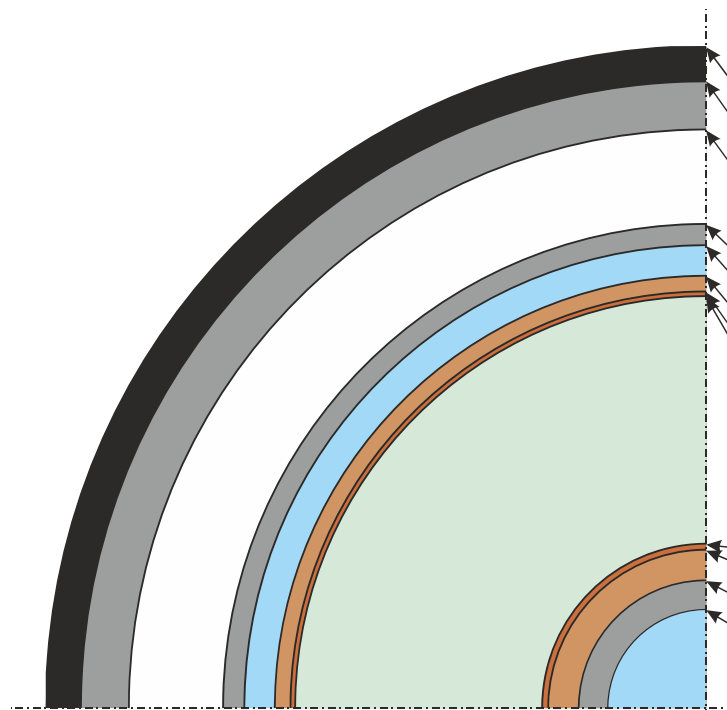
❖ Bemessungsstrom:

- bei herkömmlicher Anlage wird 3.600 A für 12 Stunden gefordert
- HTS-Anlage muss den Strom dauerhaft tragen können, da bei HTS technologiebedingt keine Überlast möglich

Aufbau HTS-Kabel

❖ Variante mit Hohlleiter

Nennweite Innenrohr	DN 32	DN 40	DN 50
Dicke der elektrischen Isolation (Tyvek™)	25,85 mm	24,15 mm	24,25 mm
Elektrische Feldstärke - äußere Leitschicht	5,6 kV/mm	6,3 kV/mm	6,5 kV/mm
Elektrische Feldstärke - innere Leitschicht	12,5 kV/mm	12,5 kV/mm	11,9 kV/mm

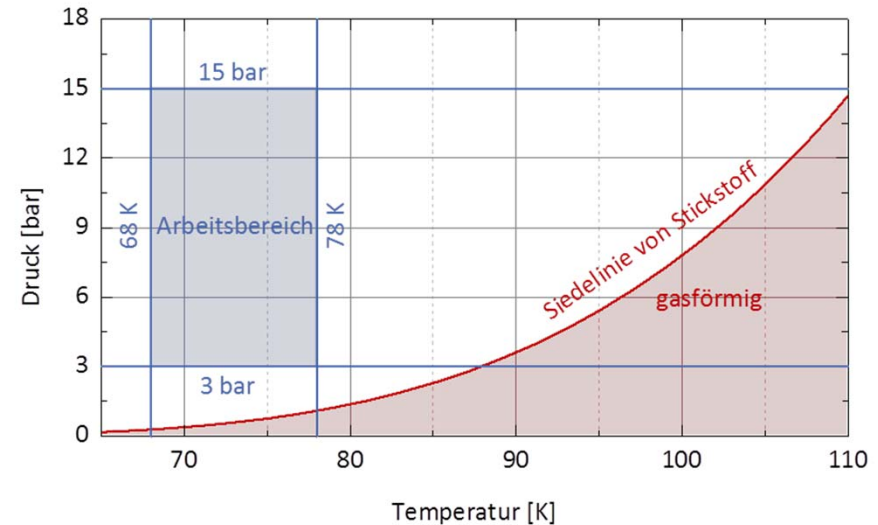


Viertelschnitt

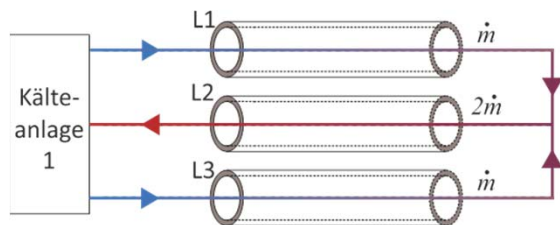
Bezeichnung	Symbol	Durchmesser in mm		
		Träger Nennweite - DN 32	Träger Nennweite - DN 40	Träger Nennweite - DN 50
Mantel (AD)	$d_{M,a}$	172,0	172,0	172,0
Mantel (ID)	$d_{M,i}$	162,0	162,0	162,0
Äußere Kryostatwand (ID)	$d_{AK,i}$	150,0	150,0	150,0
Innere Kryostatwand (AD)	$d_{IK,a}$	130,2	130,2	130,2
Innere Kryostatwand (ID)	$d_{IK,i}$	125,0	125,0	125,0
Neutralleiter (AD)	$d_{NL,a}$	97,9	101,6	111,1
HTS Schirm (AD)	$d_{S,a}$	93,9	97,6	107,1
Elektrische Isolation (AD)	$d_{EI,a}$	93,5	97,2	106,7
HTS Leiter (AD)	$d_{L,a}$	41,8	48,9	58,2
Hohlleiter (AD)	$d_{HL,a}$	41,0	48,1	57,4
Träger (AD)	$d_{T,a}$	36,0	44,0	54,0
Träger (ID)	$d_{T,i}$	32,0	40,0	50,0

Arbeitsbereich HTS-Kabel

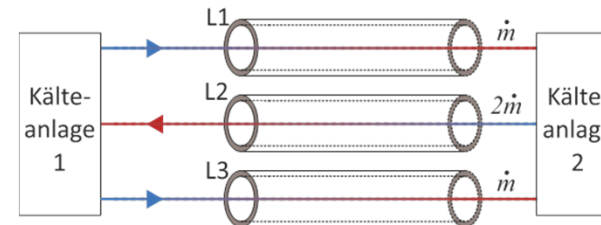
- ❖ Arbeitsbereich des flüssigen Stickstoffs durch Druck und Temperatur begrenzt



- ❖ Kühlstationen einseitig oder beidseitig möglich



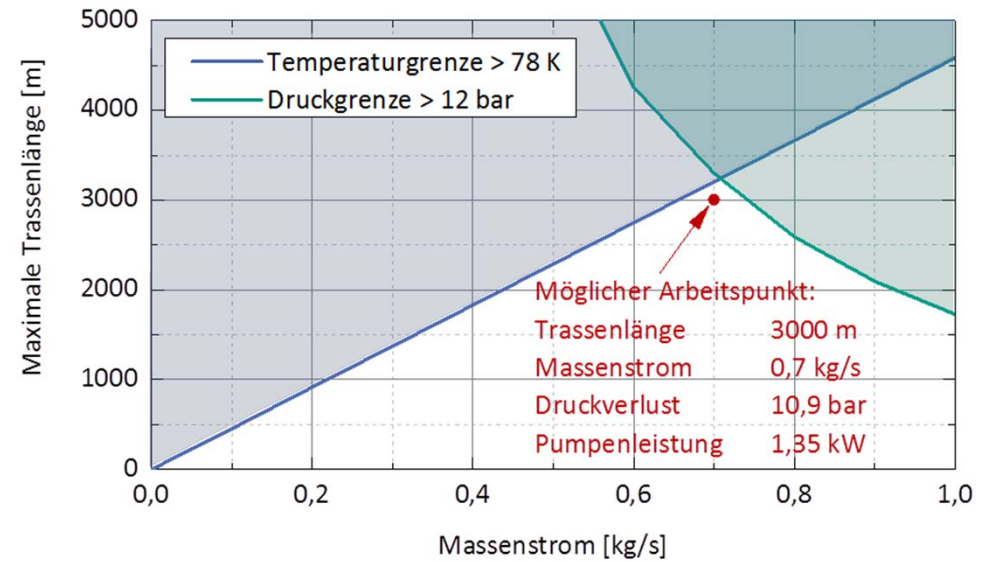
Legende:
■ kalt (68 K)
■ warm (< 78 K)
▶ Hinfluss (< 15 bar)
◀ Rückfluss (> 3 bar)
 \dot{m} Massenstrom



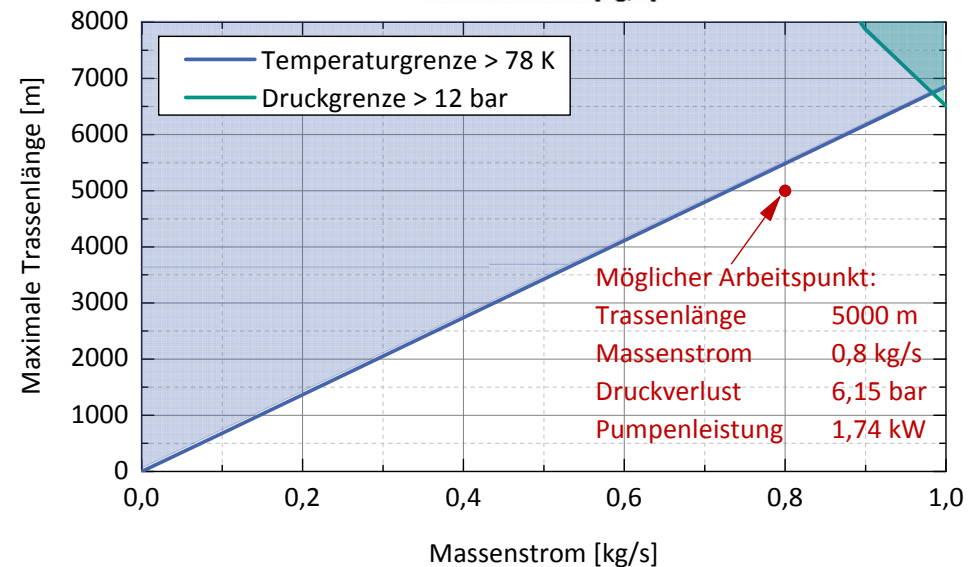
Legende:
■ kalt (68 K)
■ warm (< 78 K)
▶ Hinfluss (< 15 bar)
◀ Rückfluss (> 3 bar)
 \dot{m} Massenstrom

Ergebnisse Trassenlänge

❖ Arbeitspunkt für DN40
einseitige Kühlung



❖ Arbeitspunkt für DN50
beidseitige Kühlung

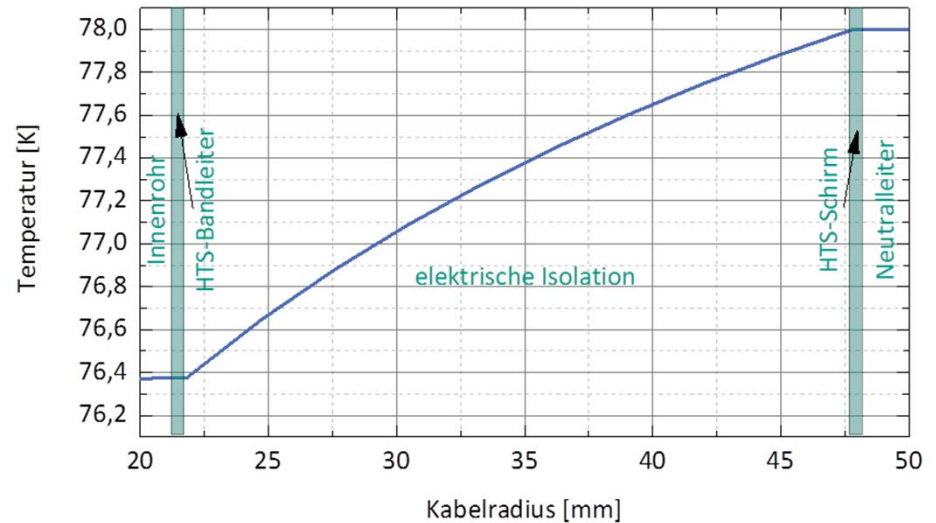
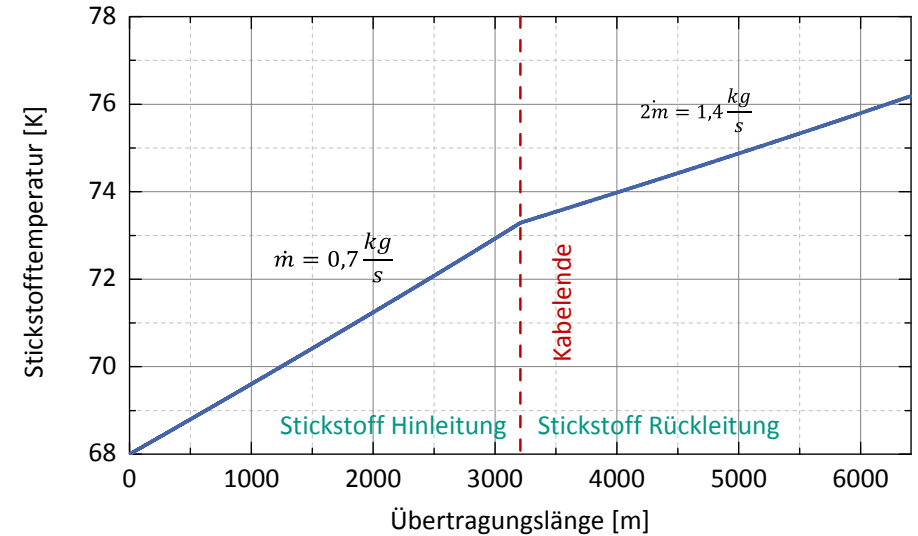


Darstellungen Temperaturverlauf

❖ Axialer Temperaturverlauf mit DN 40 bei einseitiger Kühlung

❖ Radialer Temperaturverlauf mit DN 40 bei einseitiger Kühlung

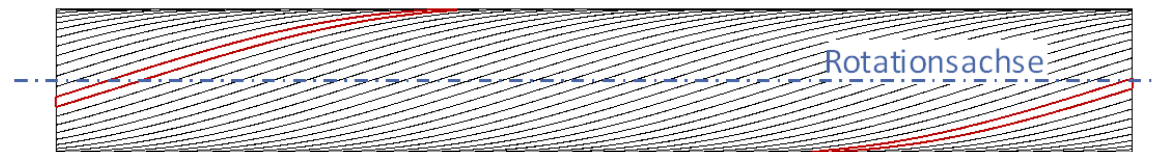
- Unterschied von 1,5 K über die elektrische Isolation



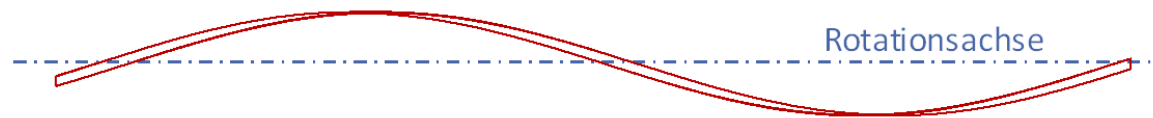
Bedarf HTS-Bandleiter

- ❖ Der Gesamtbedarf an HTS-Bandleiter beläuft sich inklusive Schirmschicht bei einer Trassenlänge 3,2 km mit zwei dreiphasigen Systemen auf 2.485 km Bandleiter
 - Die Schirmschicht stellt ca. 70% des Gesamtbedarfs

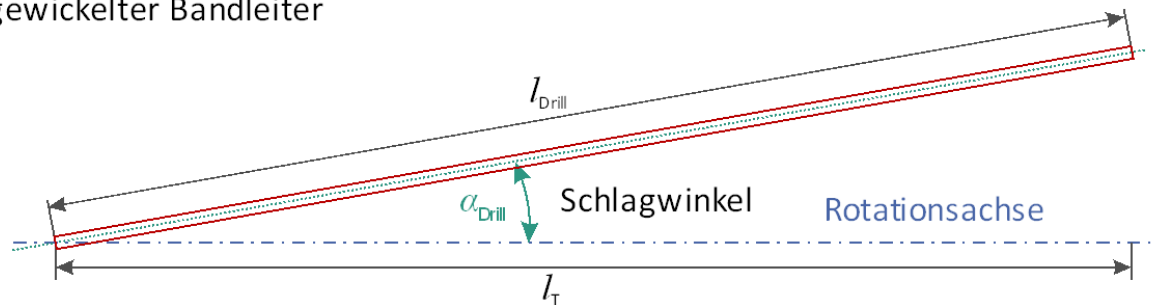
komplette Bandleiterschicht



einzelner Bandleiter



abgewickelter Bandleiter



Verluste

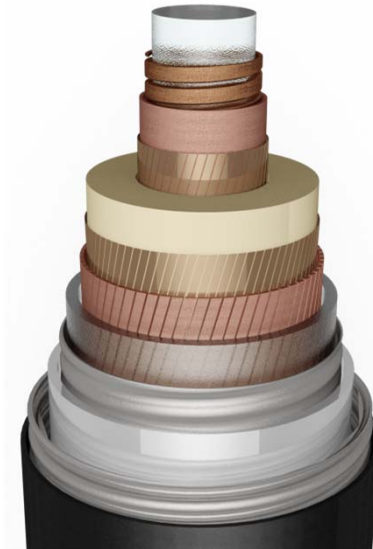
❖ Verluste eines Zwischenverkabelungsabschnitts

- Zwei HTS-Kabelsysteme bei einem Bemessungsstrom von jeweils 3,6 kA
- Trassenlänge von 3200 m
- Optimierte Leitungskryostatverluste (starrer Kryostat)

Verlustkomponente	Formelzeichen	Verlustleistung $0,1 \cdot I_N$	Verlustleistung $0,5 \cdot I_N$	Verlustleistung $1 \cdot I_N$
Kälteleistung	P_V	26129 W	27103 W	40606 W
Wechselstromverluste	$P_{V,SL}$	1,0 W	662 W	13188 W
Dielektrische Verluste	$P_{V,0,D}$	5956 W	5956 W	5956 W
Leitungskryostatverluste	$P_{V,0,LK}$	19200 W	19200 W	19200 W
Stromzuführungsverluste	$P_{V,SZ}$	732 W	1045 W	2022 W
Endverschlusskryostatverluste	$P_{V,0,EK}$	240 W	240 W	240 W
Verluste bei Umgebungstemp.	$P_{V,g}$	414,7 kW	430,2 kW	644,5 kW

Zusammenfassung

- ❖ Im Forschungsprojekt ENSURE betrachten KIT und TenneT den möglichen Einsatz von HTS-Kabeln für 380kV Zwischenverkabelungen
- ❖ Auslegung abgeschlossen



Ausblick

- ❖ Betriebseigenschaften der HTS-Kabel
- ❖ Fehlerverhalten und Reparatur
- ❖ Wirtschaftlicher Vergleich mit herkömmlichen Kabeln

Kontakt

- ❖ Dr.-Ing. Hanno Stagge
 - TenneT TSO GmbH
 - Hanno.Stagge@TenneT.eu
 - +49 921 50740-2096

- ❖ B. Eng. Dustin Kottonau
 - Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 - Institut für Technische Physik
 - Dustin.Kottonau@kit.edu
 - +49 721 608-26483