



# Ziehl IV – 11. März 2014

---

## Hochtemperatur-Supraleitung für industrielle Hochstromschienen

# Namensgebung



- Technologieführer in Hochstromanwendungen
- Stromschienenprojekte mit hohen Strömen auf fünf Kontinenten
- Zugang zu vielen Industrieanlagen und deren Entscheidern

## Super Conductors

- Leitermaterial nicht Cu oder Al, sondern Hochtemperatur-Supraleiter
- Einbeziehung der Kryotechnik
- Berechnungsmodelle für zielgenaues Engineering von SL-Stromschienen

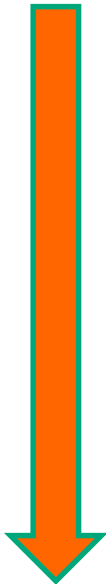
# Aufgaben und Ziele

- Entwicklung, Produktion und Vertrieb von supraleitenden Stromschiensystemen mit Nebenanlagen und Ingenieurtätigkeiten auf diesem Gebiet.
- Zeitraum zur Entwicklung der ersten Produkte bis zur Marktreife: Zwei Jahre
- Entwicklungsprojekte:
  - Effiziente Stromzuführung (geringe Verluste) bis 20 kA DC
  - Aufbau einer Demonstratorstrecke 20 kA DC zum Test unter industriellen Betriebsbedingungen
  - Stromzuführung bis 200 kA DC
  - diverse Anwendungsentwicklungen

# Stromschienensysteme

## Vielfältige Ausprägung:

kleine Ströme  
(wenige A)



hohe Ströme  
(mehrere 100 kA)

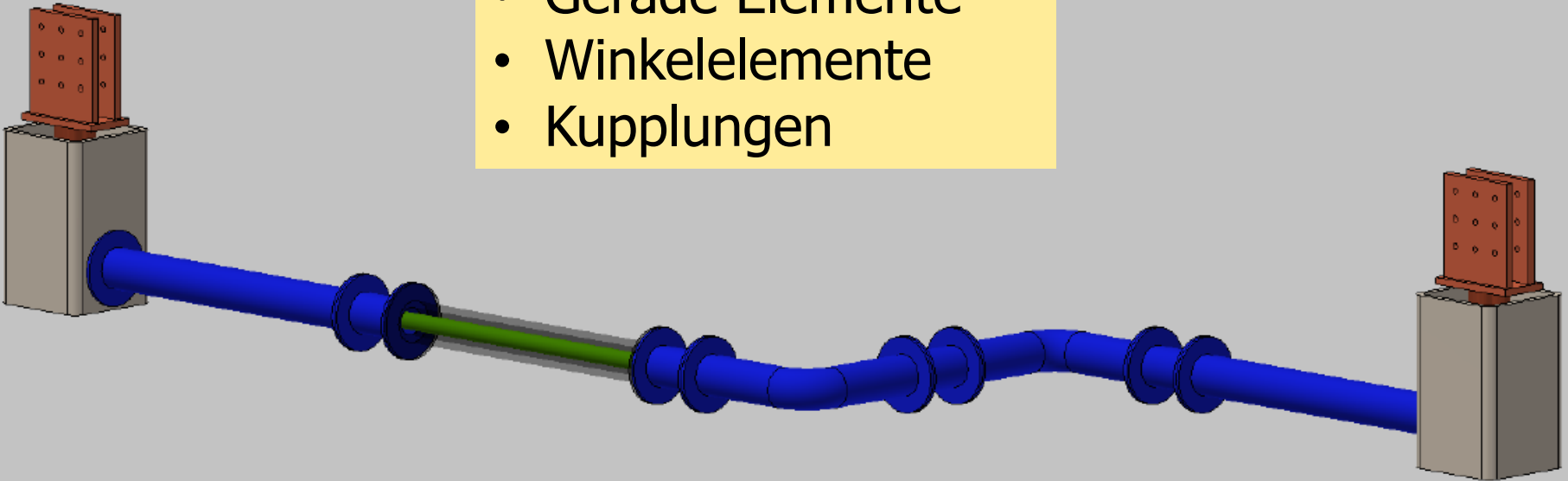
1. Lichttechnik → viele Lampen an beliebiger Stelle
2. Fördertechnik → mobiler Abgriff von elektrischer Energie über Schleifkontakte
3. Gebäudetechnik → Versorgung von Etagen über Stromschienen-Steigetrassen
4. Netzverteiltechnik / Stromerzeugung → Verbindung von Transformatoren / Generatoren und Schaltanlagen im NS- und MS-Netz
5. Industrie → Anbindung von großen Verbrauchern
6. Grundstoffindustrie → Hochstromverbindungen

# Hochstrom-Schienensysteme

- Transport hoher Ströme (10 kA bis 350 kA) innerhalb von kurzen Entfernungen (ab 20 m bis einige km) unter Berücksichtigung von
  - Kurzschlussfestigkeit, Impedanzen, etc.
  - Temperaturdehnungen und Anlagenbewegungen
  - Isolationsanforderungen LV, MV, etc.
  - Verlustleistung, Spannungsfall, Magnetfeld, etc.
  - Montagebedingungen, Sonderanforderungen
  - Betriebsanforderungen, z.B. Personenschutz, Brandschutz, etc.

# Aufbau Stromschienensystem

- Stromzuführungen
- Gerade Elemente
- Winkelelemente
- Kupplungen



- Anbindung Kühlkreislauf
- Kältemaschine & -reservoir
- Messtechnik & Bediener-Interface
- Anbindung an elektr. Betriebsmittel

# Verlustleistungsbetrachtung

- Betrachtung:

$$I = 20 \text{ kA DC, 2-polig, } L = 100 \text{ m}$$

- Annahme der Verluste:

- Oberfläche der Elemente: 1 (– 2) W/m
- Kupplungsverluste: 40 W/Kupplung
- Stromzuführung: 40 (20 - 50) W/(kA Pol)
- SUMME: 3.540 W

# Verlustleistungsbeachtung

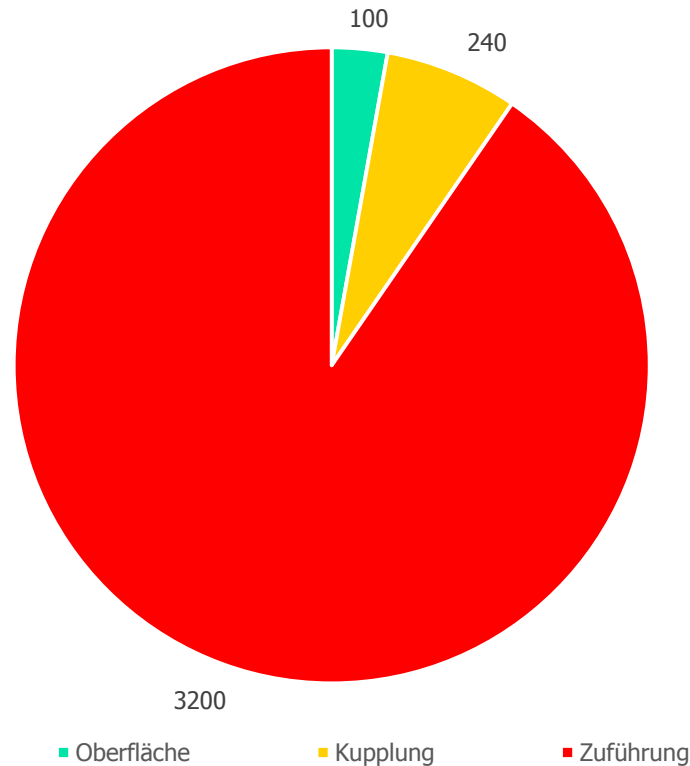
Summe: 3.540 W

3% Oberfläche

7% Kupplung

90% Zuführung

Verlustverteilung





# Stromzuführung VESC

- Effiziente, skalierbare Stromzuführung mit Kryostat (Übergang 350K → 77K)
  - Reduzierte Vollastverluste (niedriger elektrischer Widerstand) → -25% bis -50%
  - Niedrige Leerlaufverluste (hoher thermischer Widerstand) → -50%
  - Niedrige Herstellkosten
    - → einfache Bauteile, einfache Produktion
    - → 30% bis 50% Kostenreduktion
  - Kleine Baugröße
  - Zusätzlich: kleinere Kältemaschinen

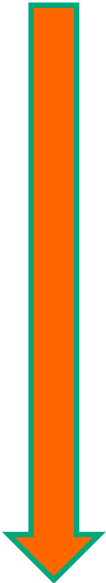
# DC-Stromschienen im Niederspannungsbereich

Anwendung	typischer Strombedarf	Längen
Chlorelektrolysen	ca. 20 kA	30 - 300 m
Rechenzentren	15 - 40 kA	40 - 200 m
Kupferelektrolysen	40 - 80 kA	200 . 400 m
Zinkelektrolysen	120 - 200 kA	100 - 300 m
Aluminiumhütte	200 - 350 kA experimentell 500 kA	100 - 500 m

# Weitere Anwendungen

- Windparks: Ableitung Gondel zum Netzeinspeisepunkt
- Anbindung von Solarparks
- Generatorableitungen (AC)
- Netzverbindungen (DC und AC-MS)
- Hochleistungsverbindungen über weite Entfernungen - Ersatz für 110 kV / 380 kV
  - 20 kV Drehstromnetz mit 30 kA → 1000 MVA
  - 30 kV DC mit 50 kA → 1500 MVA

mittelfristig



langfristig

# Vergleich HTS – Cu/Al

	HTSL	Cu / Al
Raumbedarf	gering	hoch
äußeres Magnetfeld	klein	stark
äußere Wärmeentwicklung	sehr gering	hoch
Betriebskosten	niedrig	hoch
Investitionskosten	sehr hoch	hoch
Personen- und Anlagenschutz	sehr gut	schwierig
Wartung	hoch	niedrig
Anlagenkomplexität	hoch	niedrig

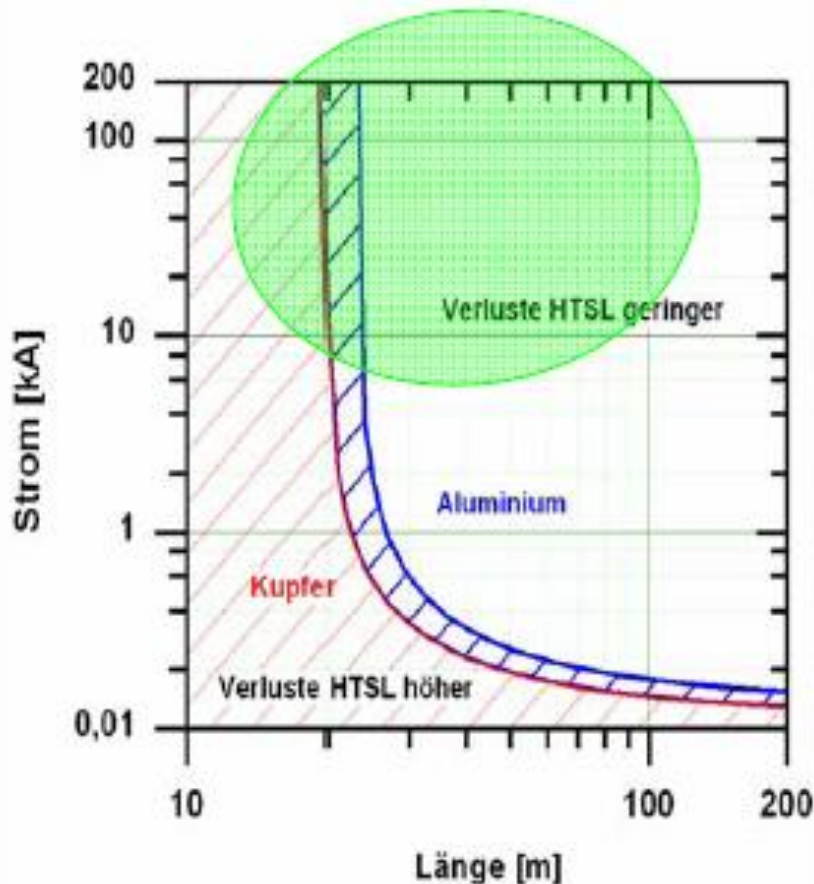
HTSL = Hochtemperatursupraleiter  
Ziehl IV - 11.3.2014

Dr. Wolfgang Reiser

# Vergleich der Verluste

- Cu / Al – Leiter
  - Ohm'sche Verluste  $P_V = I^2 \times R$ ;  $R = f(T)$
  - Kontaktübergänge  $R_K = f(t)$
- HTSL
  - Stromzuführungen
  - thermische Verluste  $P_T = f(A)$
  - Wirkungsgrad der Kälteanlage

# Vergleich der Verluste



- HTSL vorteilhaft gegen Cu / Al
- oberhalb von 10 kA
- über 20 m Länge
- Industrieanwendungen → grüner Bereich

# Vergleich der Investitionen

- Cu / Al
  - Leiterkosten (börsenabhängige Tagesnotierung)
  - Isolation und Halterung, ev. Gehäuse
- HTSL
  - HTSL-Bandleiter
  - Stromzuführung
  - Thermische Isolation
  - Kälteanlage

# Vergleich der Investitionen

- weitere Faktoren
  - Wärmeabgabe an die Umgebung
  - Raumbedarf
  - Kurzschlußverhalten, -gefahr
  - Hochspannungs-/Niederspannungskosten
  - äußere Magnetfelder
  - Berührungsschutz



# Investitionen / Amortisation

- Investitionen
  - Im Allgemeinen: Faktor 2 – 5
  - In speziellen Fällen gleich
  
- Amortisationszeit 5 Jahre
  - Cu: 100 kA / 50 – 80 m
  - Al: 100 kA / 100 – 150 m

# HTS-Stromschienensysteme

## Voraussetzungen für die Akzeptanz

- technische Fragen werden beantwortet
  - Betriebszuverlässigkeit (→ Kryotechnik)
  - Betriebsverhalten (Oberwellen, Überlast, KS)
  - Übergänge Normal – Supraleitend
  - HTSL Produktionskapazität
- kommerzielle Faktoren werden gelöst
  - Kosten und Verfügbarkeit HTSL
  - Kosten Kryotechnik

# Potenzial für HTSL- Stromschienensysteme

- 2 Beispiele mit speziellen Anforderungen:
  1. Montage und Magnetfeld →  
Aluminiumhütte
  2. Trassenverlauf und Personenschutz →  
Chlorelektrolyse

# Beispiel Alu-Hütte

- Installiertes Schienensystem
  - Nennstrom: 40 kA / 80 kA
  - Spannung: ca. 700 V DC
  - Material: Aluminium
  - Installationshöhe: ca. 6 m
  - Länge: ca. 350 m
- Lieferumfang, zusätzlich:
  - 20 Schalter (Trenner)
  - Strommessung
  - Stahlkonstruktionen mit Isolation, Halterung und Fundamenten

# Verluste / Betriebskosten

- konventionell, normalleitend
  - Material: Alu 400 x 180 mm pro Phase
  - Verlustleistung: 780 kW
- HTSL
  - Oberfläche, Kupplung + Zuführung: 40 kW
  - Wirkungsgrad Kälteanlage 0,085% → 500 kW
- HTSL hat niedrigere Verluste als Alu
  - 15 €/MWh → 35.000 €/a

# Investitionskosten

## ■ Normalleitend, Alu

- Masse: ca. 1200 t Alu, Stahl, etc.
- Kosten: 4.100 T€
- Montage: 1.600 T€
- **Summe: 5.700 T€**

## ■ HTSL

- Leiter, Kälte, Kryostat, Zuführung, etc.
- Kosten: 5.780 T€
- Montage: 100 T€
- **Summe: 5.580 T€**

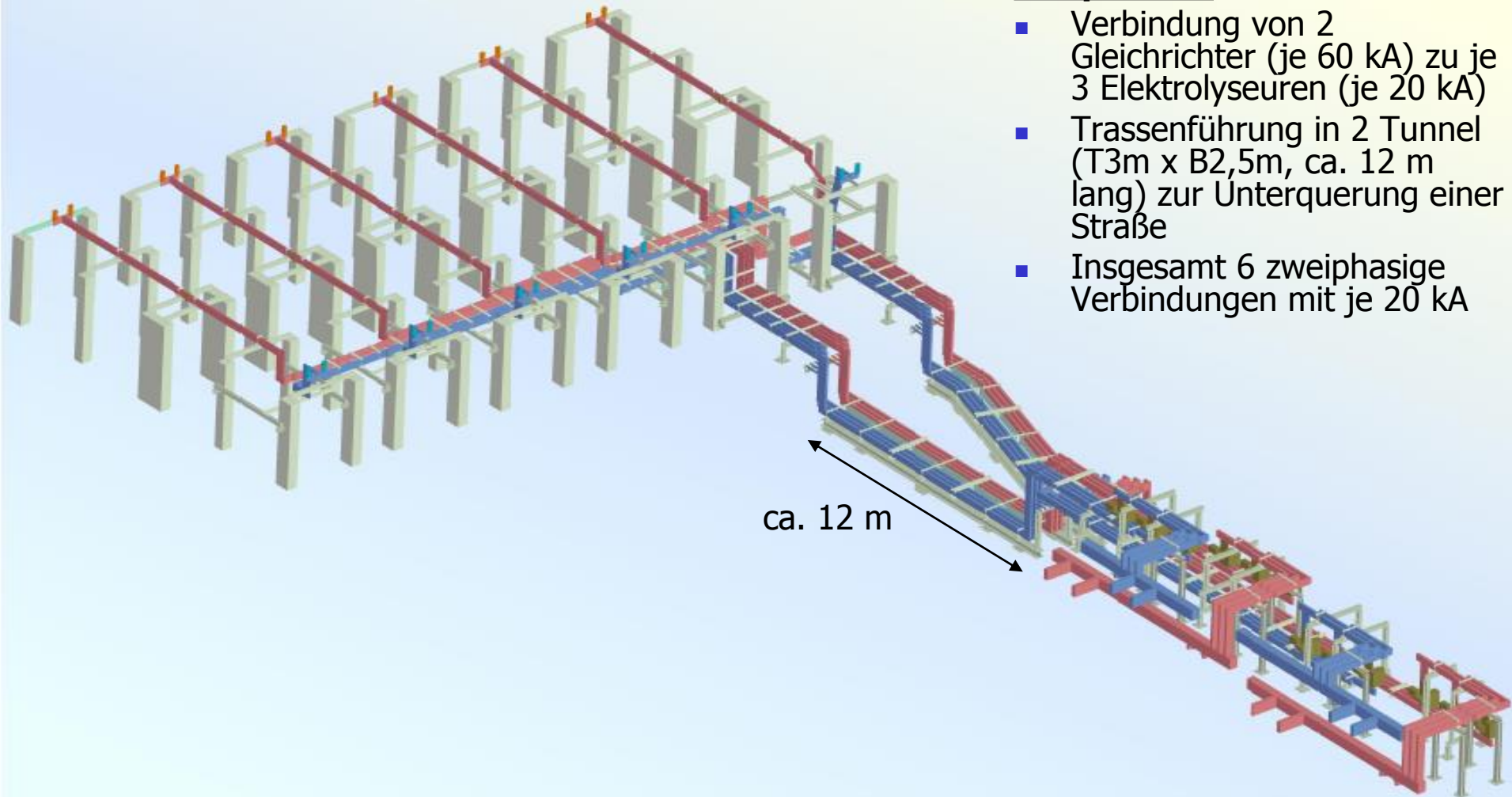
## 2. Beispiel Chlor-Elektrolyse

- Installiertes Schienensystem
  - Nennstrom: 6 x 20 kA, 2-polig
  - Spannung: ca. 600 V DC
  - Material: Aluminium
  - Installationshöhe: + 3 / - 3 m
  - Länge: ca. 40 – 60 m
- Zusätzliche Anforderung:
  - Kurze Installationszeit
  - Wärmeabgabe im Tunnel (Belüftungsturm)
  - Berührungsschutz (Einhausung)
  - Schwierige Trassenführung

# Beispiel Chlorelektrolyse

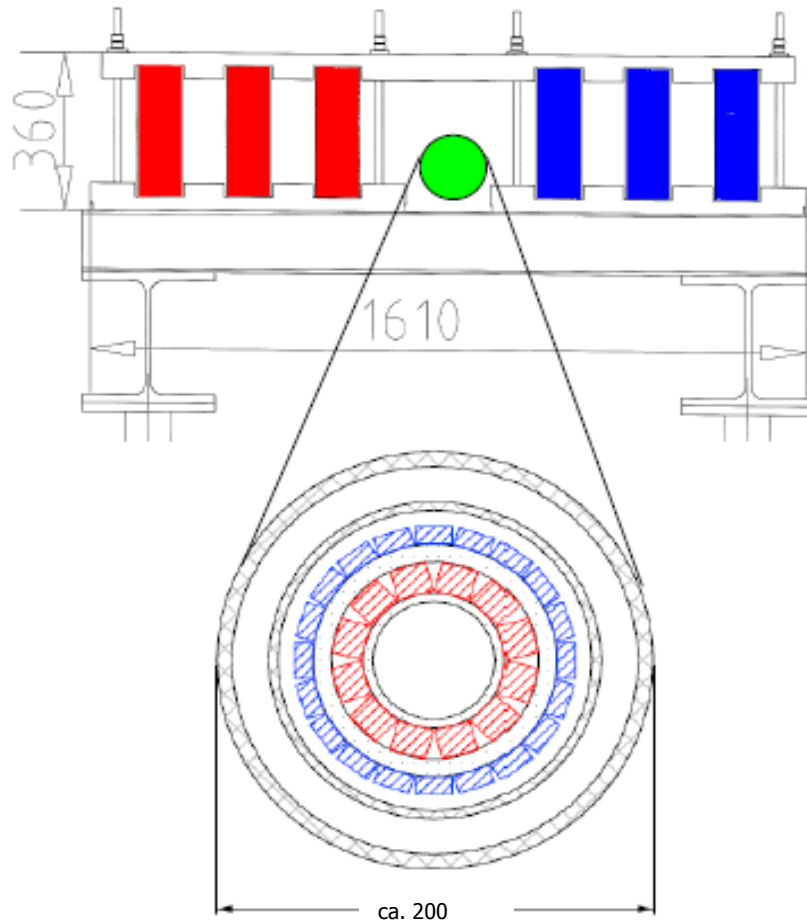
## Hauptdaten

- Verbindung von 2 Gleichrichter (je 60 kA) zu je 3 Elektrolyseuren (je 20 kA)
- Trassenführung in 2 Tunnel (T3m x B2,5m, ca. 12 m lang) zur Unterquerung einer Straße
- Insgesamt 6 zweiphasige Verbindungen mit je 20 kA





# Vergleich 60 kA zweipolig



Raumbedarf  
100:5

# Verluste / Betriebskosten

- konventionell, normalleitend
  - Material: Alu 300 x 100 mm pro Phase
  - Verlustleistung: 275 kW
- HTSL
  - Oberfläche, Kupplung + Zuführung: 15 kW
  - Wirkungsgrad Kälteanlage 10% → 150 kW
- HTSL hat niedrigere Verluste als Alu
  - 50 €/MWh → 55.000 €/a

# Investitionskosten

## ■ Normalleitend, Alu

- Masse: ca. 50 t Alu, Stahl, etc.
- Kosten: 470 T€
- Montage: 1.100 T€
- Tunnel: 1.200 T€
- **Summe: 2.770 T€**

## ■ HTSL

- Leiter, Kälte, Kryostat, Zuführung, etc.
- Kosten: 2340 T€
- Montage: 400 T€
- Kernloch: 100 T€
- **Summe: 2.840 T€**



---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Wolfgang Reiser  
Geschäftsführer

Vision Electric Super Conductors GmbH  
Trippstadter Str. 122 (DFKI-Gebäude)  
67663 Kaiserslautern

Tel 0631 20575-1070  
[www.vesc-superbar.de](http://www.vesc-superbar.de)