

# Kühlkonzepte für Hochtemperatursupraleiter HTSL

- **Sven Asmus**
  - Geschäftsführender Gesellschafter
- **ERT Refrigeration Technology GmbH**, Beutnerring 5 - 21077 Hamburg-Germany
- Gründung 1987, Industriekühlung und Tieftemperaturtechnik
  
- Effiziente Energie- und Systemlösungen für Klima-, Kälte- und Kryotechnik.
  - Kryotechnik, Verflüssigung technischer Gase
  - Verdunstungskühlung, adiabate Kühlung, Hybridkühlung,
  - Wassertechnik,
  - Trockenkühlung,
  - Absorptionskälte, Kompressionskälte,
  - natürliche Kältemittel und -Träger (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, Ar, He,...),
  - Industrierärmepumpen,
  - Energieeffizienz, Engineering, Systembau
  - Industriekühlung und Gebäudetechnik
  - Forschungsinstitute und Forschungsschiffe (LN<sub>2</sub>)

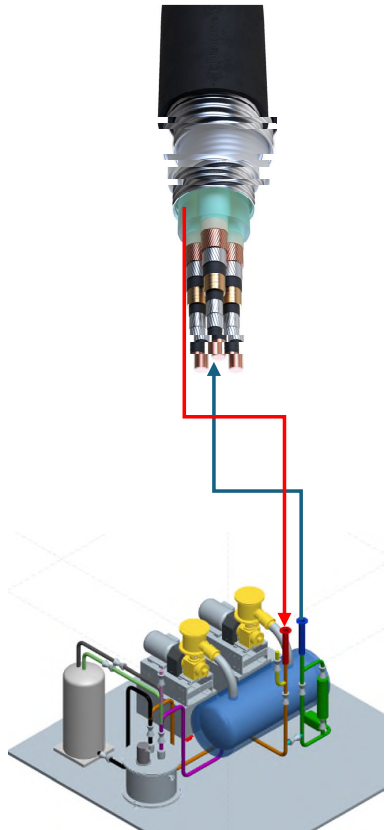


# Kurze Einführung Supraleiter

- Die **Entdeckung von Hochtemperatur-Supraleitern** in den 1980er Jahren durch **Georg Bednorz** und **K. Alex Müller**, für die sie 1987 den **Nobelpreis** erhielten, revolutionierte das Feld.
- **Hochtemperatur-Supraleiter können bei Temperaturen von flüssigem Stickstoff (ab ca. -196°C) supraleitend werden.**
- Im Gegensatz zu den **traditionellen Supraleitern, die nur bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (ca. -273°C) funktionieren.**
- Diese Entdeckung eröffnete **neue Möglichkeiten** für praktische Anwendungen, einschließlich der Energieübertragung, in der Medizintechnik und bei Industrieanwendungen.
- Aktuelle Anwendungen mit Hochtemperatursupraleiter nutzen im Wesentlichen den Temperaturbereich von 20 K bzw. ca. -253°C bis 77 K bzw. ca. -196°C
- Die Forschung in der Supraleitung zielt weiterhin darauf ab, Materialien zu entwickeln, die bei noch höheren Temperaturen und **unter technisch realisierbaren Bedingungen supraleitend** werden. Ein weiterer Durchbruch in in in diesem Bereich könnte zu revolutionären Veränderungen in der Energieübertragung und -speicherung, und in vielen anderen Technologiefeldern führen.



# Kühlung von Supraleitern



- **Kühlung von Supraleitern - Warum ?**
  - Die Kühlung erweckt die Eigenschaften eines Supraleiters
  - Die besonderen Eigenschaften der heute verfügbaren und technisch realisierbaren Hochtemperatursupraleiter HTSL wären ohne angemessene Kühlung nicht nutzbar
  - Ohne ausreichende Kühlung zeigen die Materialien keinen supraleitenden Zustand
- 
- **Erreichen der Supraleitfähigkeit:**
    - Bei HTSL beträgt diese Temperatur ca.  $-196\text{ °C}$  oder  $77\text{ K}$ .
    - Bei klassischen LTSL liegt diese Temperatur bei ca.  $-269\text{ °C}$  oder  $4\text{ K}$ .

# Konzepte für die Kühlung von Hochtemperatursupraleitern:

- A) Kühlung mit Medien:

**kryogene Flüssigkeiten** zur Supraleiterkühlung  
(z.B. flüssiger Stickstoff LN2):

- **A1) Kryogeneratoren mit kryogenen Flüssigkeiten**

- Der Kältebedarf wird durch Kryogeneratoren erzeugt, die dem Medium im geschlossenen Kreislauf Kälteenergie zuführen. Geschlossene Kryokühlsysteme sind autark, elektrisch angetrieben.



- **A2) Tank mit flüssigem Stickstoff LN2**

- Der Kältebedarf wird durch Verbrauch / Verdampfen von Stickstoff LN2 (Nachfüllen per LKW) aus einem Tank gedeckt



# Konzepte für die Kühlung von Hochtemperatursupraleitern:

- B) Kühlung mit Medien:

**technische Gase tiefkalt** zur Supraleiterkühlung  
(z.B. Helium He)

- **B1) Kryogeneratoren mit technischen Gasen**

- Der Kältebedarf wird durch Kryogeneratoren erzeugt, die dem Medium im geschlossenen Kreislauf Kälteenergie zuführen. Geschlossene Kryokühlsysteme sind autark, elektrisch angetrieben.



# Konzepte für die Kühlung von Hochtemperatursupraleitern:

- C) Kühlung ohne Medien

**Direkter Kontakt** mit Kaltfinger / Coldplate zur Supraleiterkühlung

- C1) **Kryokühler überträgt die Kälte direkt**

- Der Kältebedarf wird durch Kryokühler erzeugt, der die Kälte direkt auf den Supraleiter überträgt und auch mit unbewegten Fluiden oder Gasen als Übertragungsmedium arbeiten kann. Kryokühler sind autark, elektrisch angetrieben.

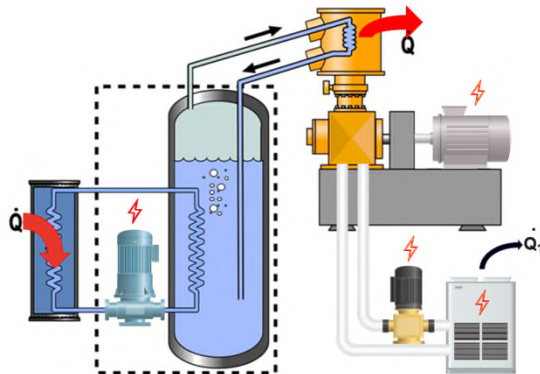




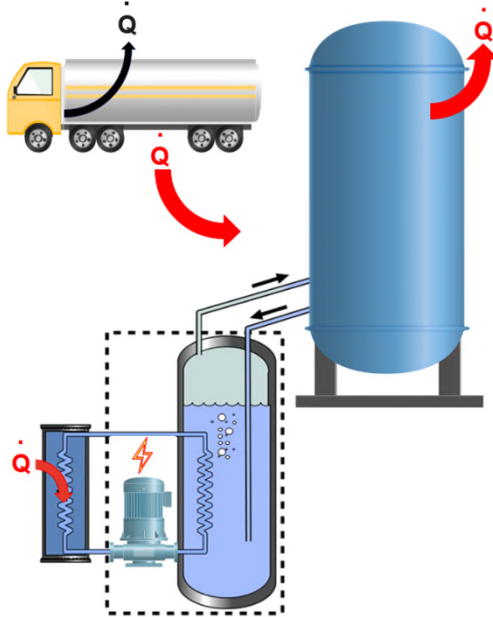
# Kühlkonzepte im Überblick

Verwendung von Medien: **kryogene Flüssigkeiten** und / oder **technische Gase-tiefkalt** zur Kühlung von HT-Supraleitern

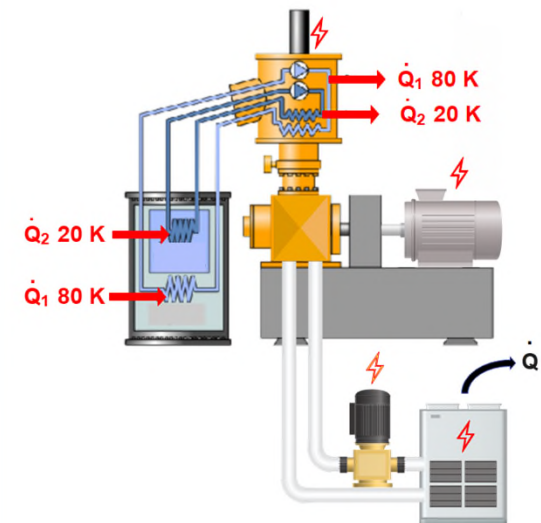
- A1) Kühlung mit z.B. flüssigem Stickstoff **LN2** als Kälteüberträgermedium im geschlossenen Kreislauf mit Kryogeneratoren 1-stufig:



- A2) Kühlung z.B. mit flüssigem Stickstoff **LN2** als Kälteüberträgermedium im offenen Kreislauf:

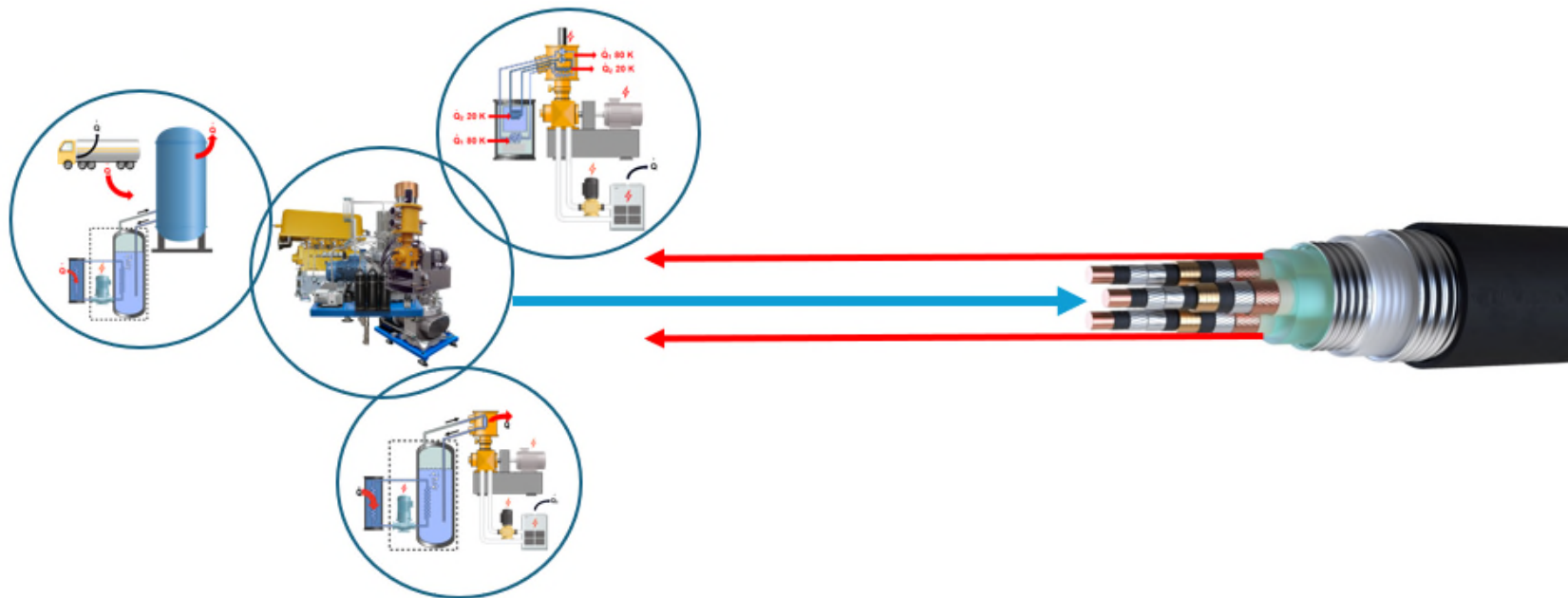


- B1) Kühlung z.B. mit Heliumgas **He**, als Kälteüberträgermedium im geschlossenen Kreislauf mit Kryogeneratoren 2-stufig:



# Kombination von Kryokühlern und Kühlkonzepten

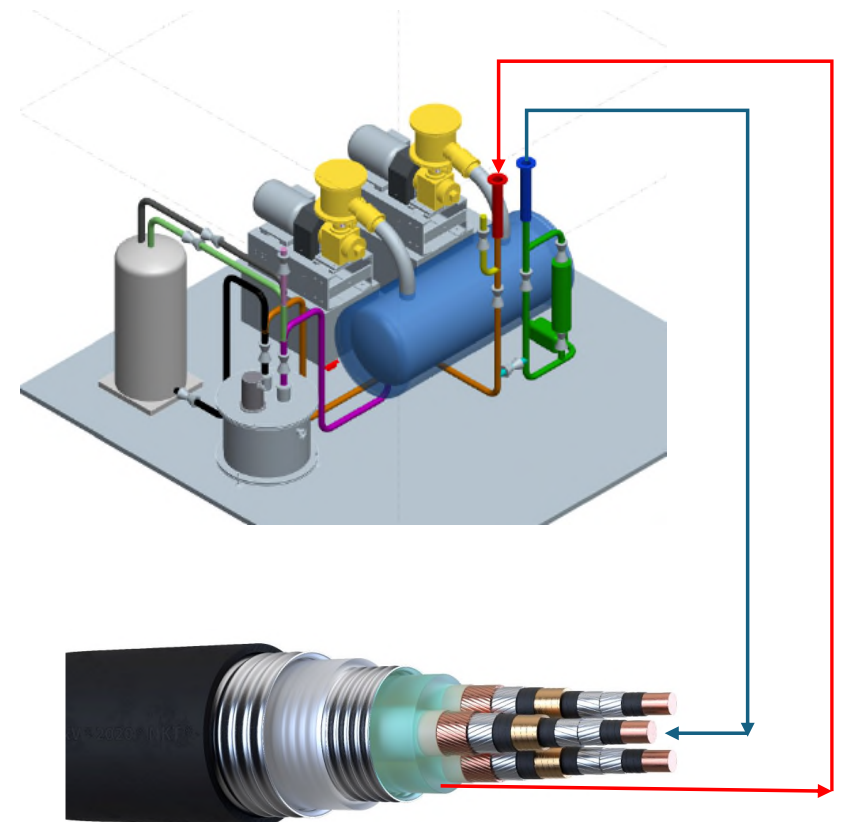
- Die Kühlsysteme können aus verschiedenen Kühlkonzepten und auch mit unterschiedlichen Kryokühlern kombiniert werden
- Die Kombination dient zur Erzielung von möglichst hohen, über die Anwendung relativ konstanten Kühltemperaturen, mit insgesamt kleinem  $dT$  – nahe an der Sprungtemperatur der HTSL, bei minimalem Energieaufwand.



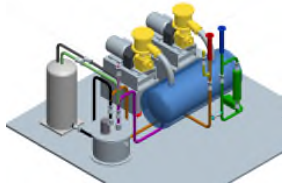


# Einflussfaktoren und Wechselwirkung zwischen Kühlung und HTSL

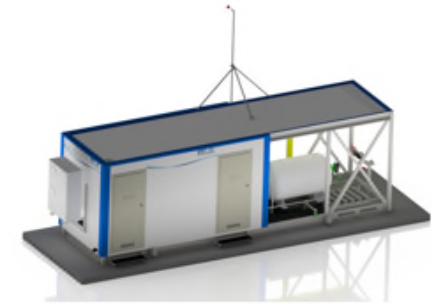
- **Kühlsystem:** je niedriger die Temperatur desto größer sind Energiebedarf und Investitionskosten
- **HT-Supraleiter:** je niedriger die Temperatur desto weniger Supraleitermaterial und Investitionskosten



# Einflussfaktoren und Wechselwirkung zwischen Kühlung und HTSL



- Material des HT-Supraleiters
- Kühltemperatur des HTSLs
- Wahl des Kühlkonzeptes und des Mediums/der Medien
- Geometrie des Kryostaten / HT-Supraleiters
- Volumenstrom & Druckverlust - bei Fluiden / Gasen
- Kryopumpen- oder Ventilatorleistung
- Subsysteme Wärmeeintrag > Kühlleistung
- Anzahl der Kühlstellen (bei Kabelinstallationen)
- .....



# Kühlung von Hochtemperatursupraleitern

Beispiel: Verflüssigungscontainer



# Kühlung von Hochtemperatursupraleitern

Beispiel: Verflüssigungscontainer





# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

## Sven Asmus

**ERT Refrigeration Technology GmbH**

Beutnerring 5

21077 Hamburg

Germany

+49 40 761048-0

[www.ertgmbh.de](http://www.ertgmbh.de)

[cryo@ertgmbh.de](mailto:cryo@ertgmbh.de)

