Leibniz Institute for Solid State and Materials Research Dresden

ScIDre
Scientific Instruments Dresden GmbH

Technische Universität Dresden
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik

Entwicklung eines supraleitenden Präzisionslagers für eine Flüssighelium-Pumpe

Dirk Lindackers, Christoph Mühsig (IFW Dresden)
Christoph Haberstroh, Steffen Klöppel, Nico Dittmar (TU Dresden)
Robert Schöndube, Paul Sass, Stefan Zielke (Scientific Instruments Dresden, ScIDre GmbH)

(BMWi gefördertes ZIM-Projekt ***HePump***)

Gliederung

Einleitung

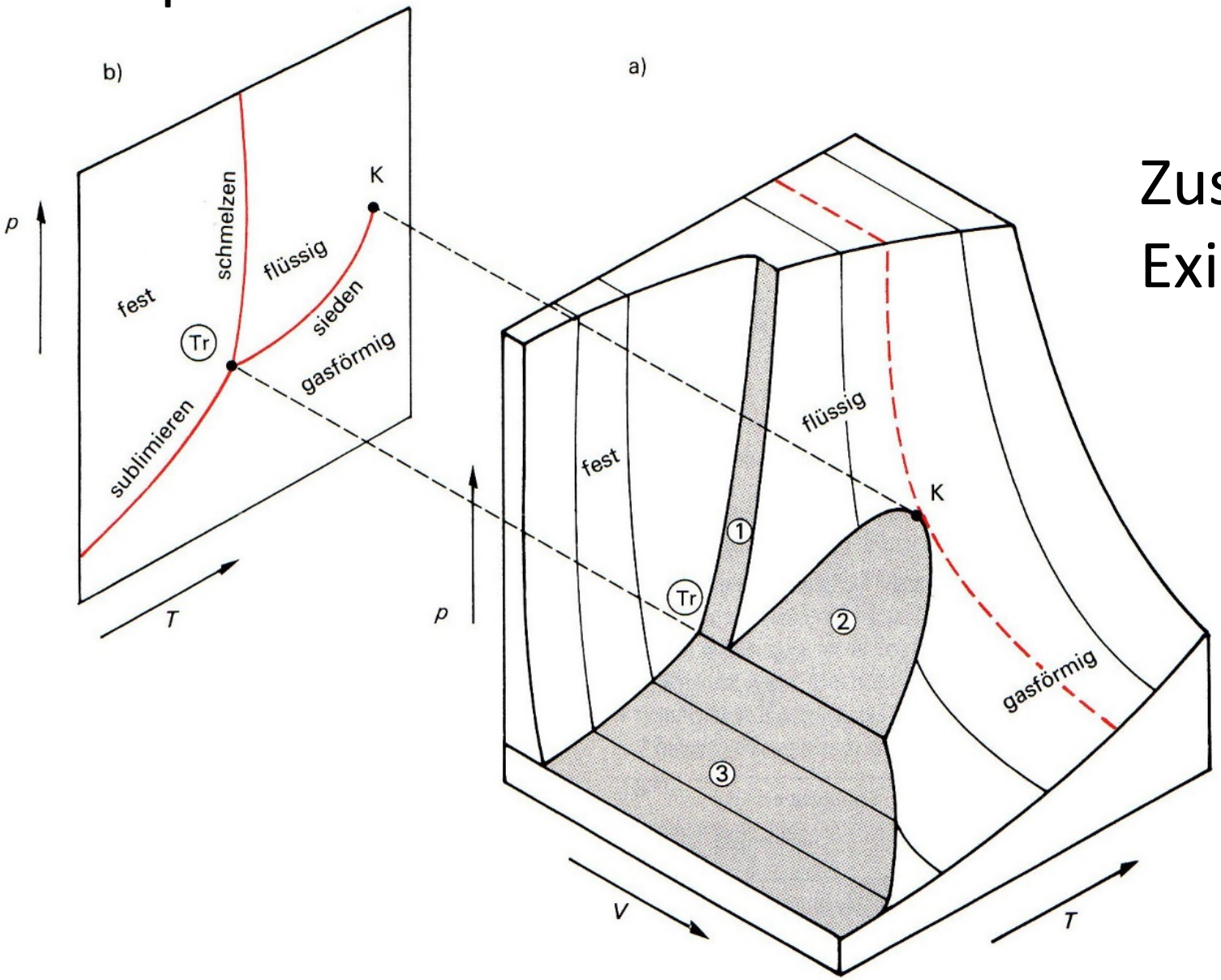
Motivation:
- **zum Bau einer Flüssigheliumpumpe**
- **zum Bau supraleitender Lager**

Das Projekt *“HePump”*

Zusammenfassung

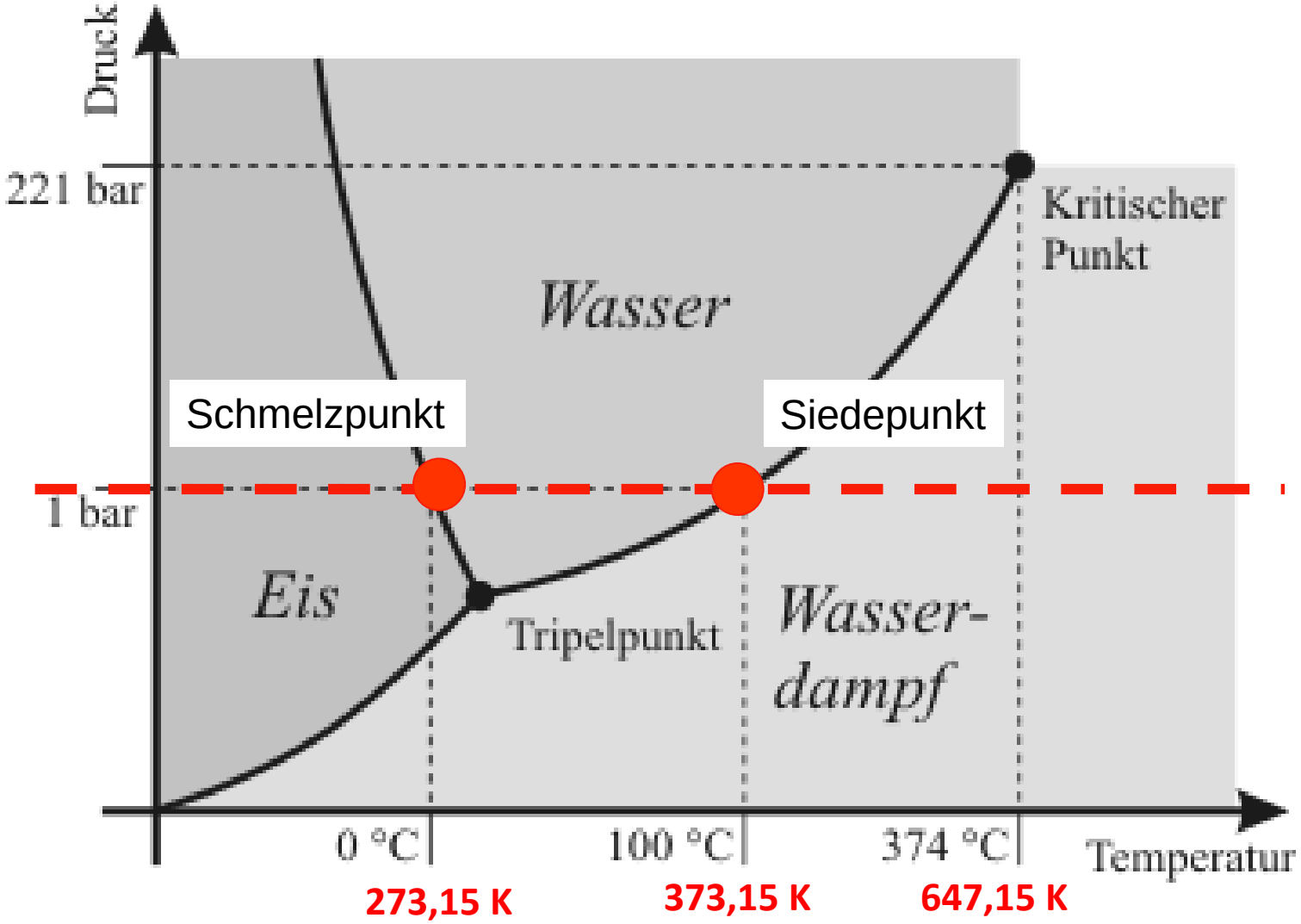
gasförmig
fest
flüssig

Phasendiagramm oder Dampfdruckkurve

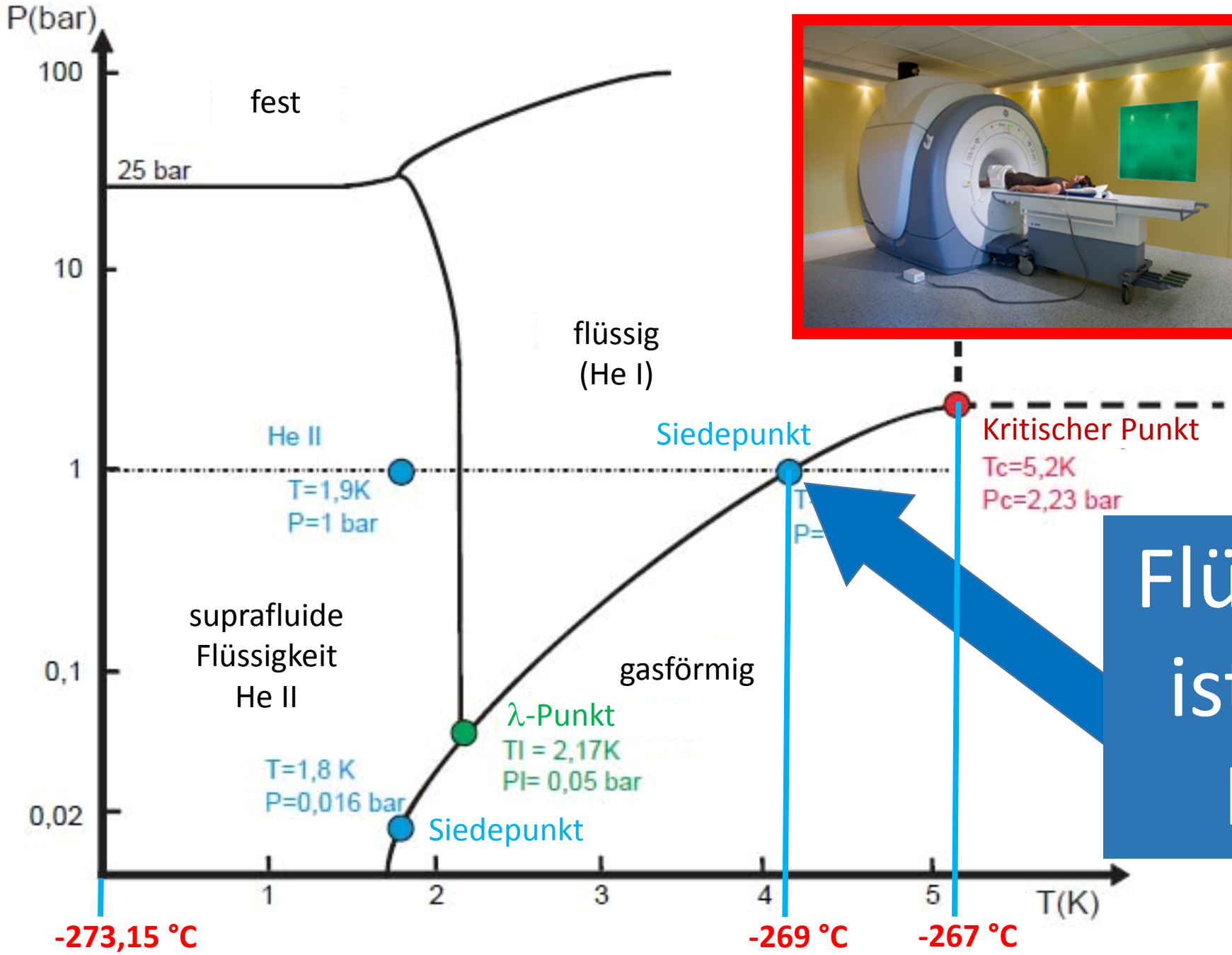


Zustandsfläche realer Gase: Existenz dreier Phasen

Phasendiagramm: Beispiel Wasser



Phasendiagramm von Helium



Anwendungen:

- **Forschung**
- **Raumfahrt**
- **Medizintechnik**
- **…**

Flüssiges Helium ist das kälteste Kältemittel!

Quelle: CERN

80% mit Wasser bedeckt

78 % N_2
21 % O_2
Rest: Ar, CO_2, Ne,….

Das Heliumproblem
Teil I:
- Kein Luftgas

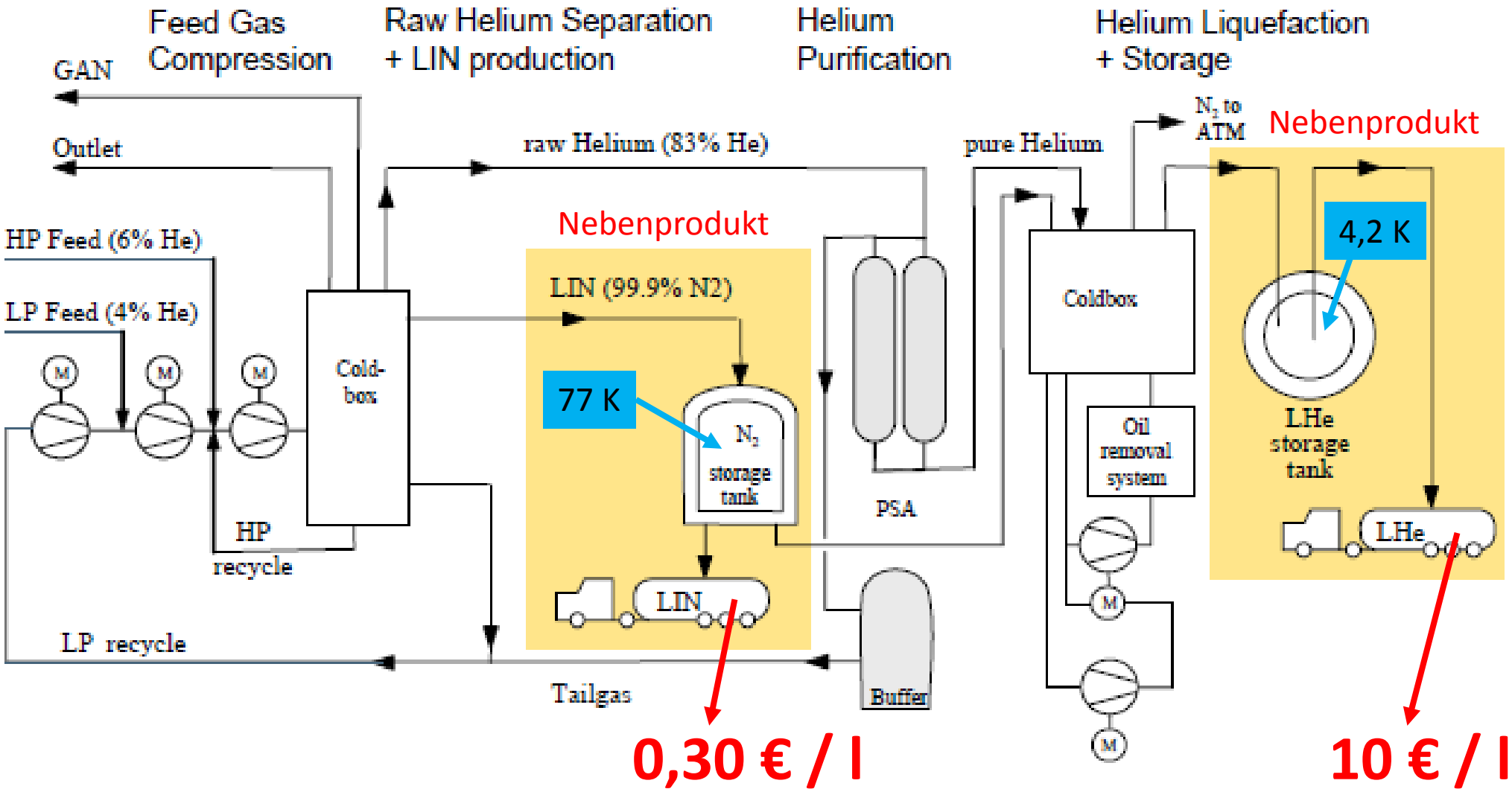
5 ppm He

Woher bekommen wir das Helium?

Natürliche Vorkommen:0,1% bis 0,4% Helium im Erdgas

0,1% bis 0,4% Helium im Erdgas

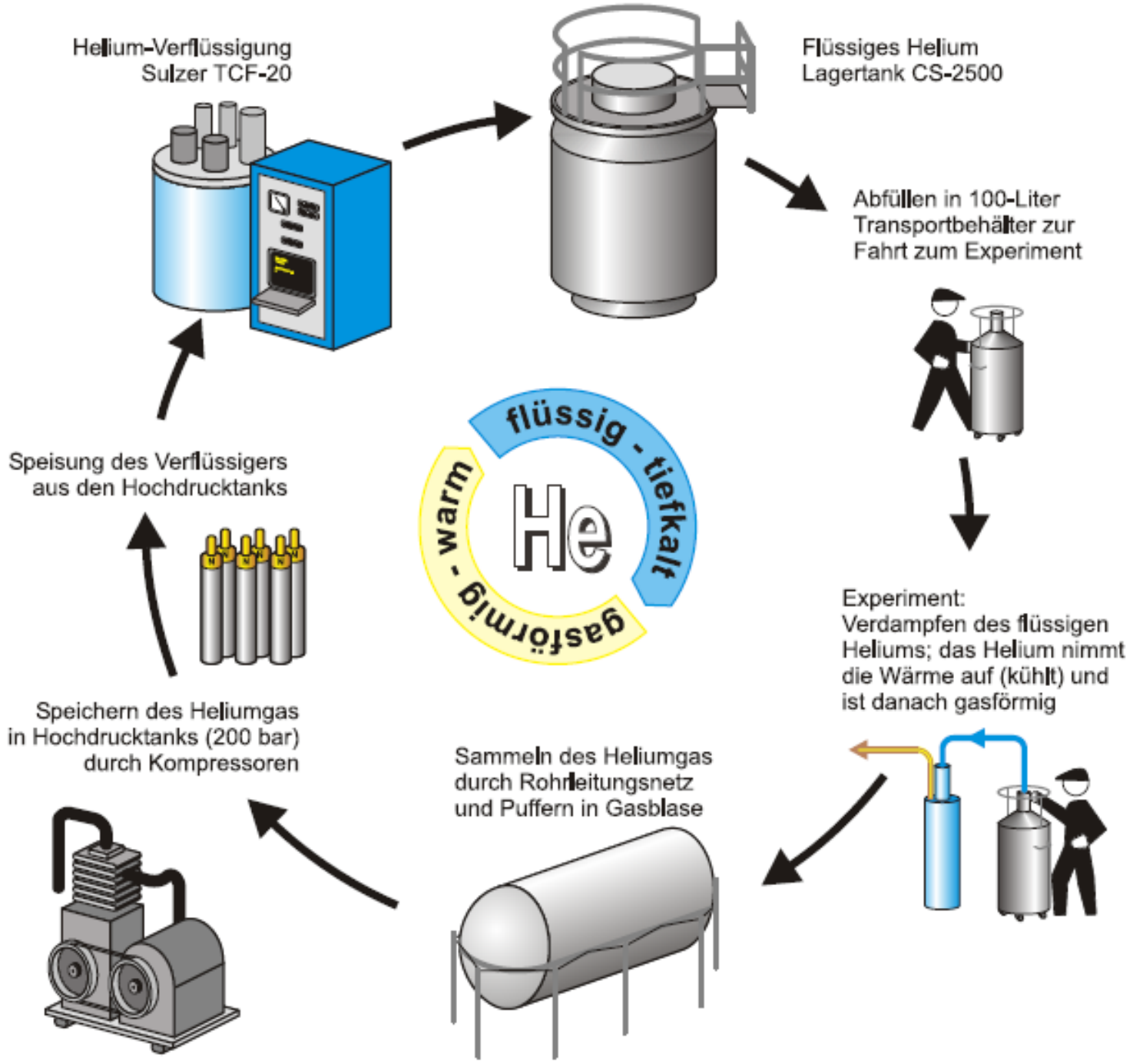
(Schema der Heliumabtrennung)



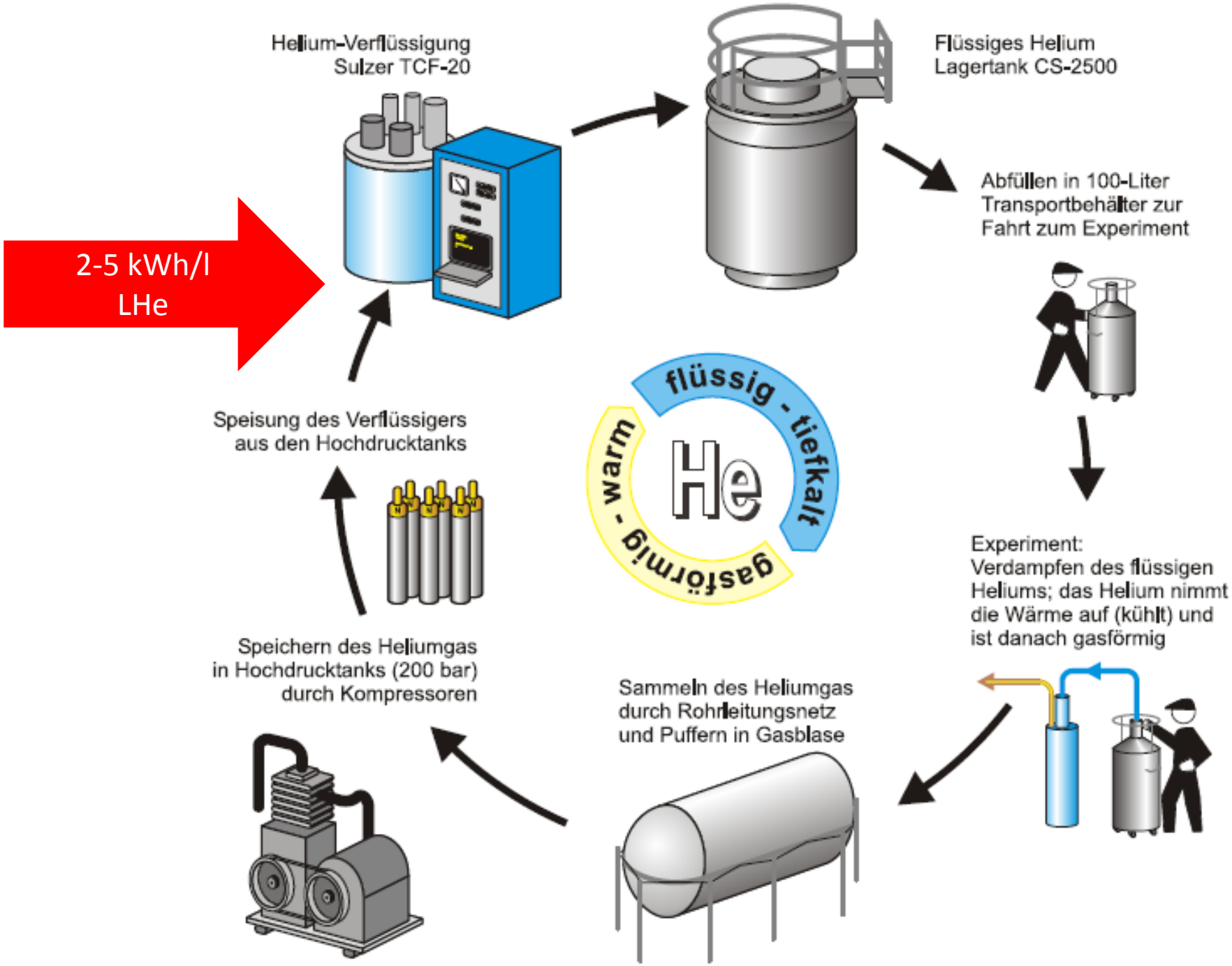
Das Heliumproblem

Teil II:

- teuer
- knapp
- **endlich**
- **flüchtig**



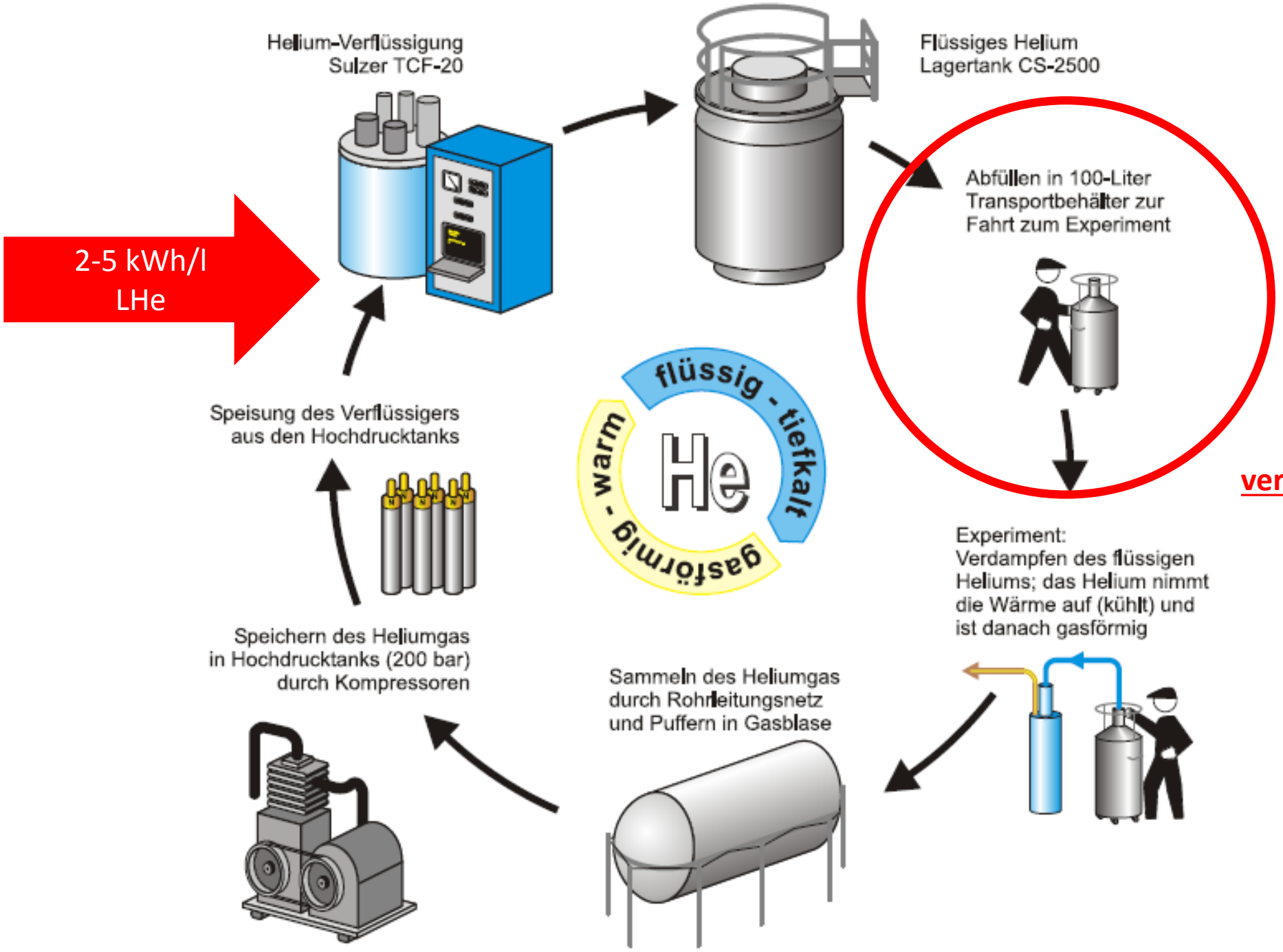
LHe-Nutzer: Vollständiges „Recycling“ von Flüssighelium durch geschlossenen Kreislauf



Das Heliumproblem

Teil III:

- Hoher Energiebedarf



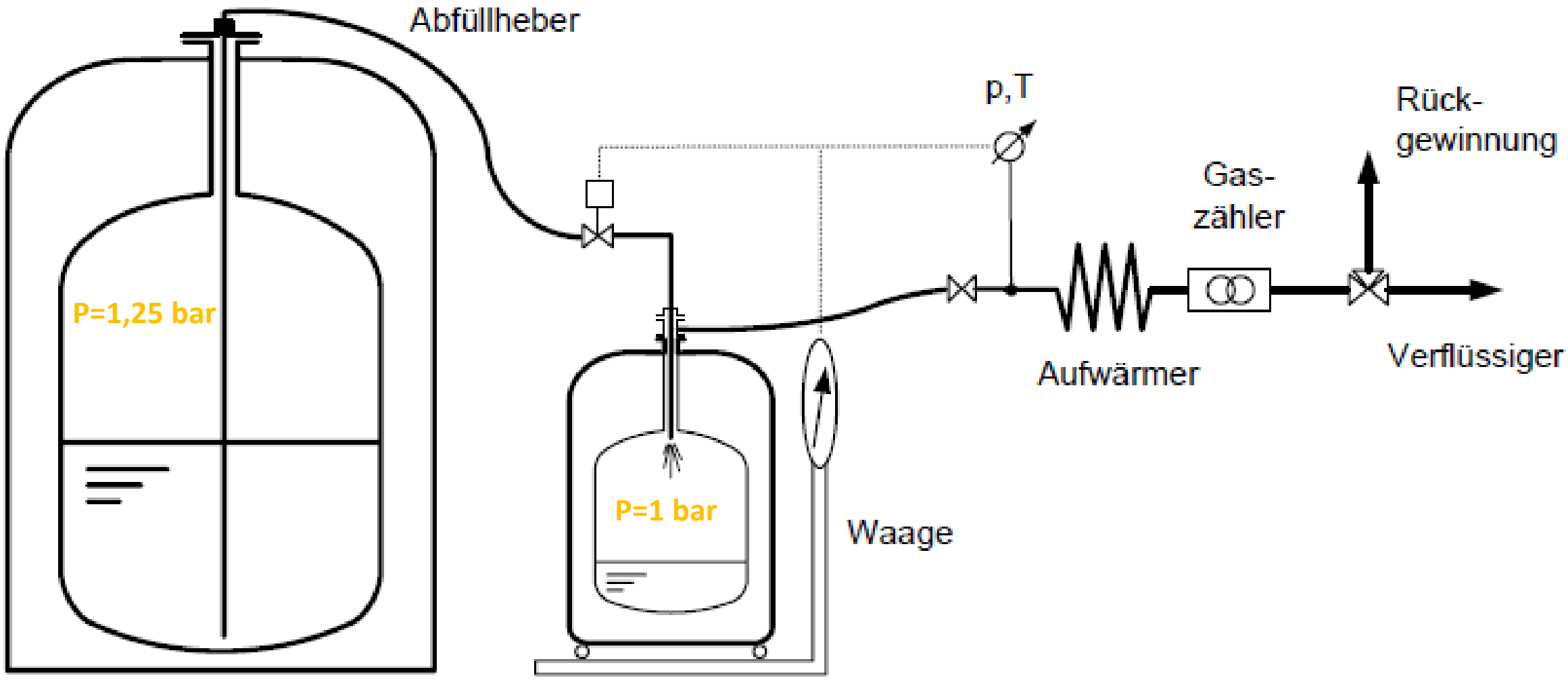
Das Heliumproblem

Teil III:

- Hoher Energiebedarf

Wo sind die größten, <u>vermeidbaren</u> Energieverluste?

Kannenabfüllung

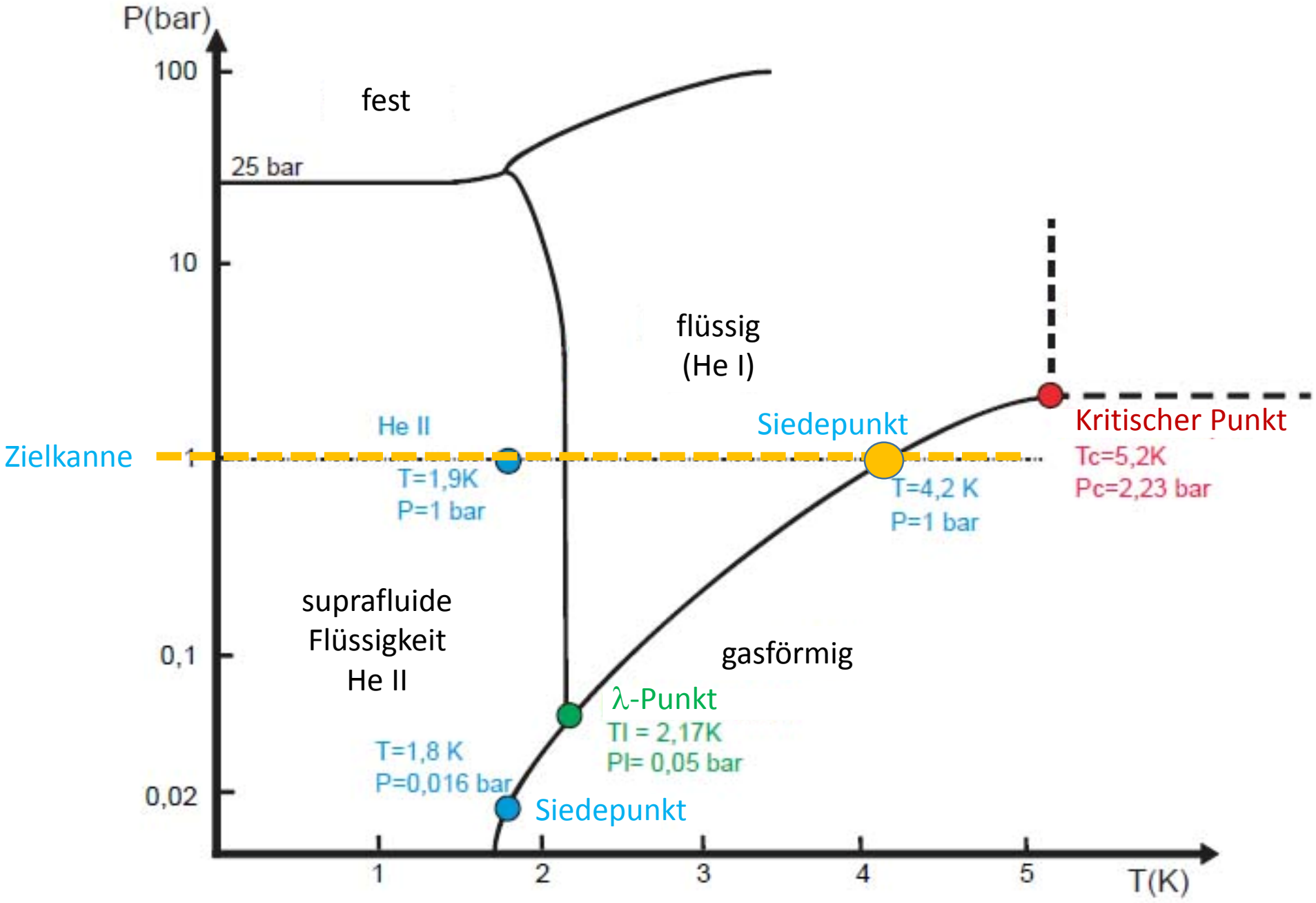


stationärer LHe-Speicherdewar

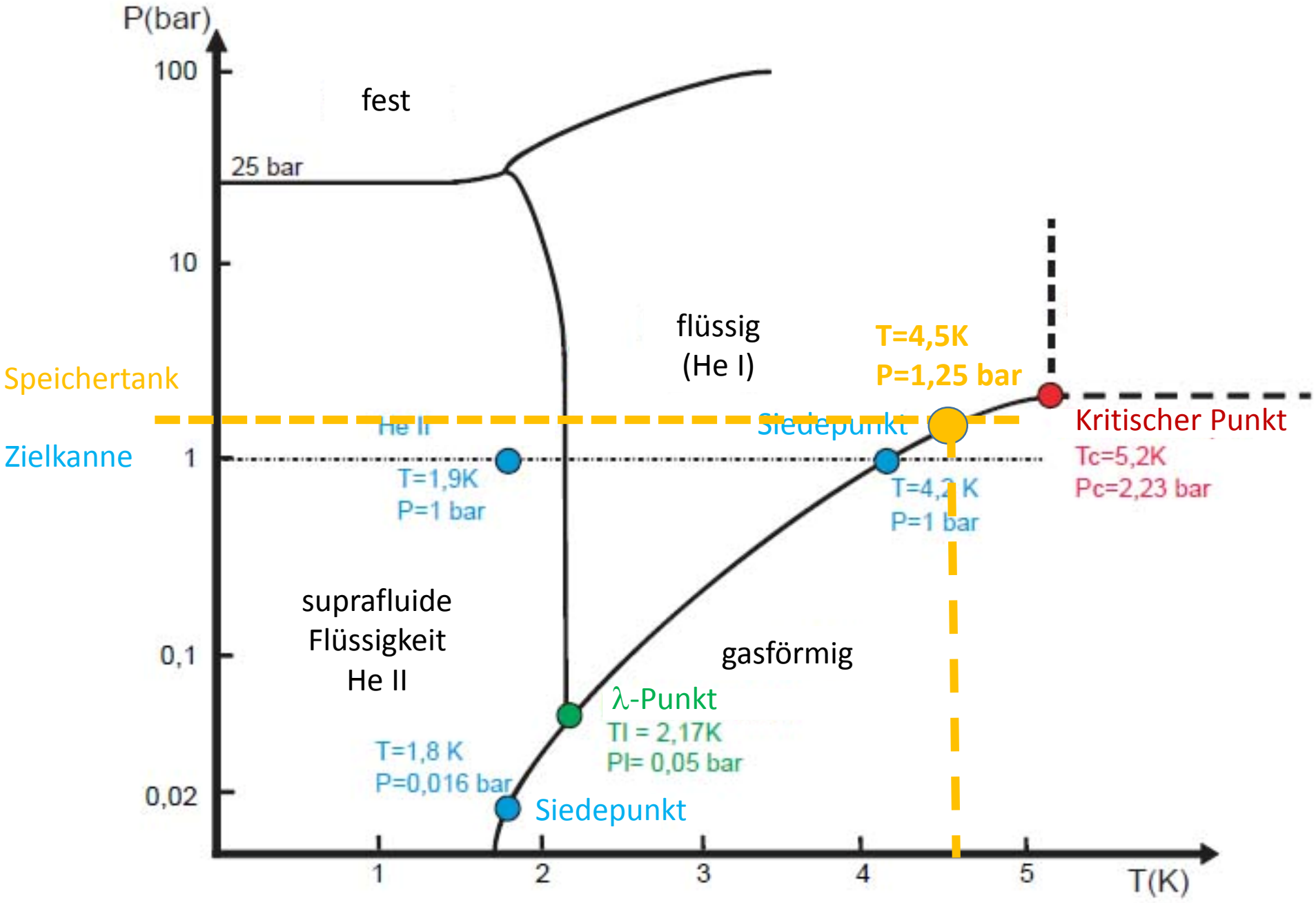
5000 l

mobile LHe-Kanne

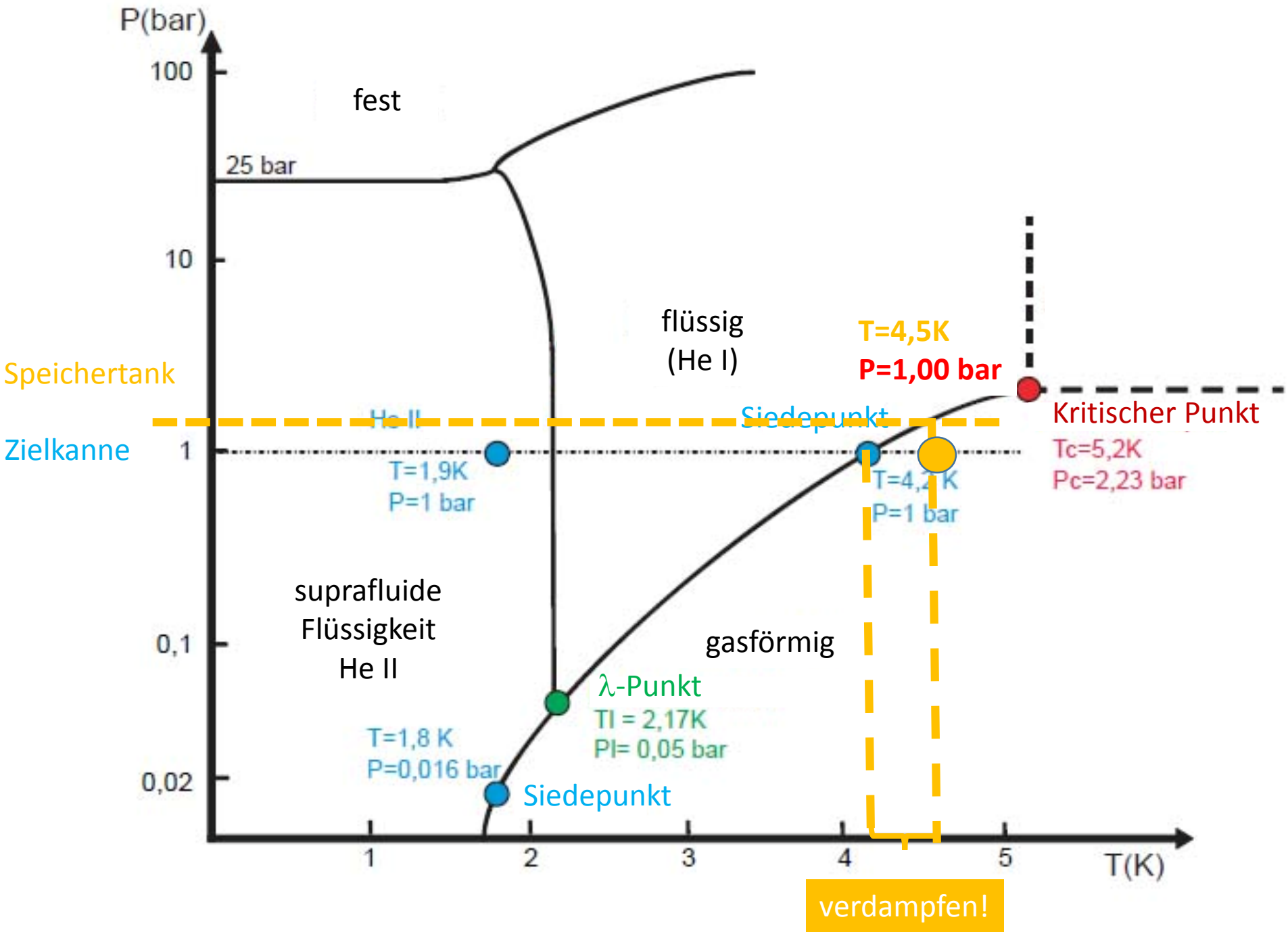
100 l


P(bar)
100
10
1
0,1
0,02
fest
25 bar
flüssig
(He I)
He II
Zielkanne
T=1,9K
P=1 bar
Siedepunkt
T=4,2 K
P=1 bar
Kritischer Punkt
Tc=5,2K
Pc=2,23 bar
suprafluide
Flüssigkeit
He II
gasförmig
λ-Punkt
Tl = 2,17K
Pl= 0,05 bar
T=1,8 K
P=0,016 bar
Siedepunkt
1
2
3
4
5
T(K)

Quelle: CERN

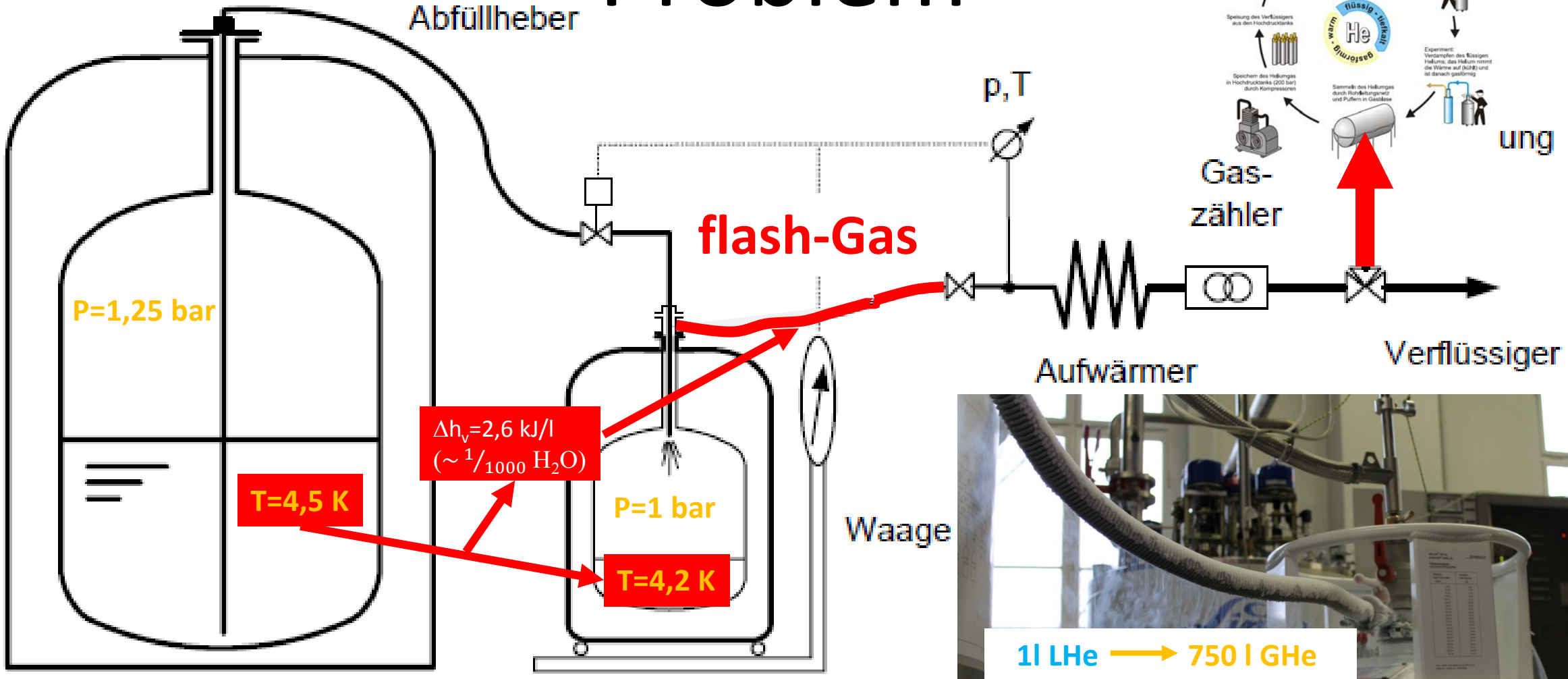

P(bar)
100
10
1
0,1
0,02
fest
25 bar
flüssig
(He I)
T=4,5K
P=1,25 bar
Speichertank
Zielkanne
He II
T=1,9K
P=1 bar
Siedepunkt
T=4,2 K
P=1 bar
Kritischer Punkt
Tc=5,2K
Pc=2,23 bar
suprafluide
Flüssigkeit
He II
gasförmig
λ-Punkt
Tl = 2,17K
Pl= 0,05 bar
T=1,8 K
P=0,016 bar
Siedepunkt
1
2
3
4
5
T(K)

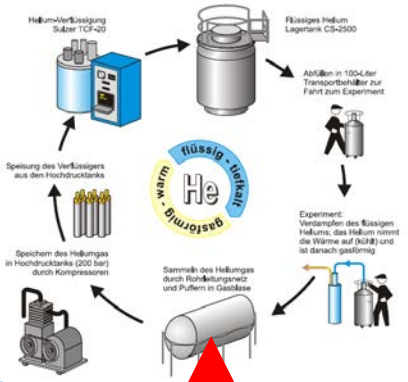
Quelle: CERN

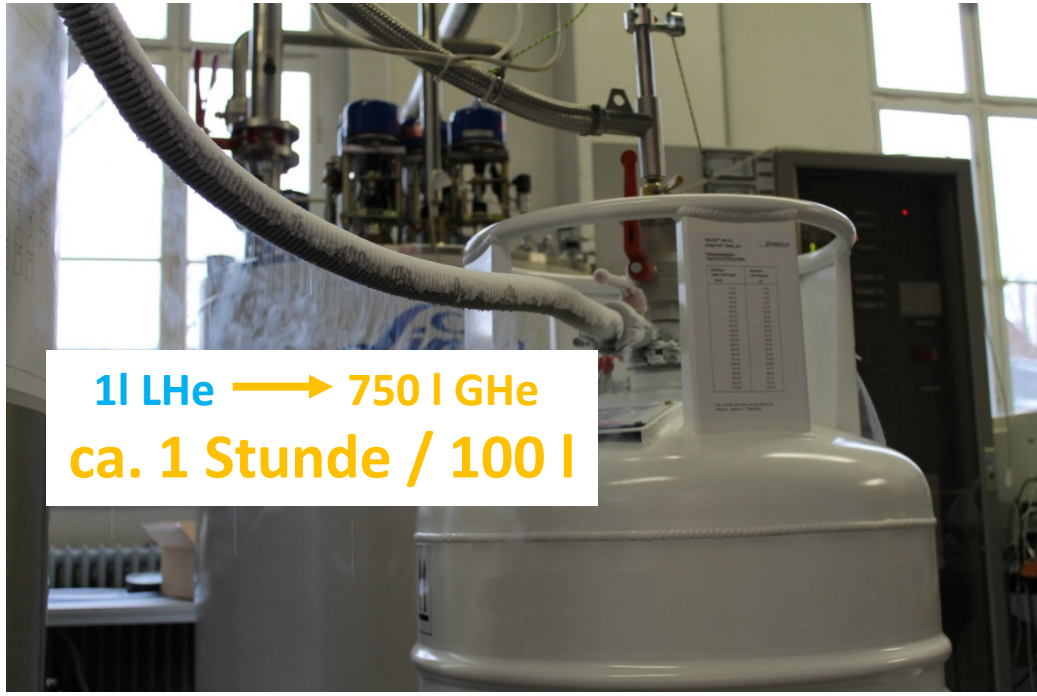

P(bar)
100
10
1
0,1
0,02
fest
25 bar
flüssig
(He I)
T=4,5K
P=1,00 bar
Speichertank
Zielkanne
He II
Siedepunkt
Kritischer Punkt
Tc=5,2K
Pc=2,23 bar
T=1,9K
P=1 bar
T=4,2 K
P=1 bar
suprafluide
Flüssigkeit
He II
gasförmig
λ-Punkt
Tl = 2,17K
Pl= 0,05 bar
T=1,8 K
P=0,016 bar
Siedepunkt
1
2
3
4
5
T(K)
verdampfen!

Quelle: CERN

Problem





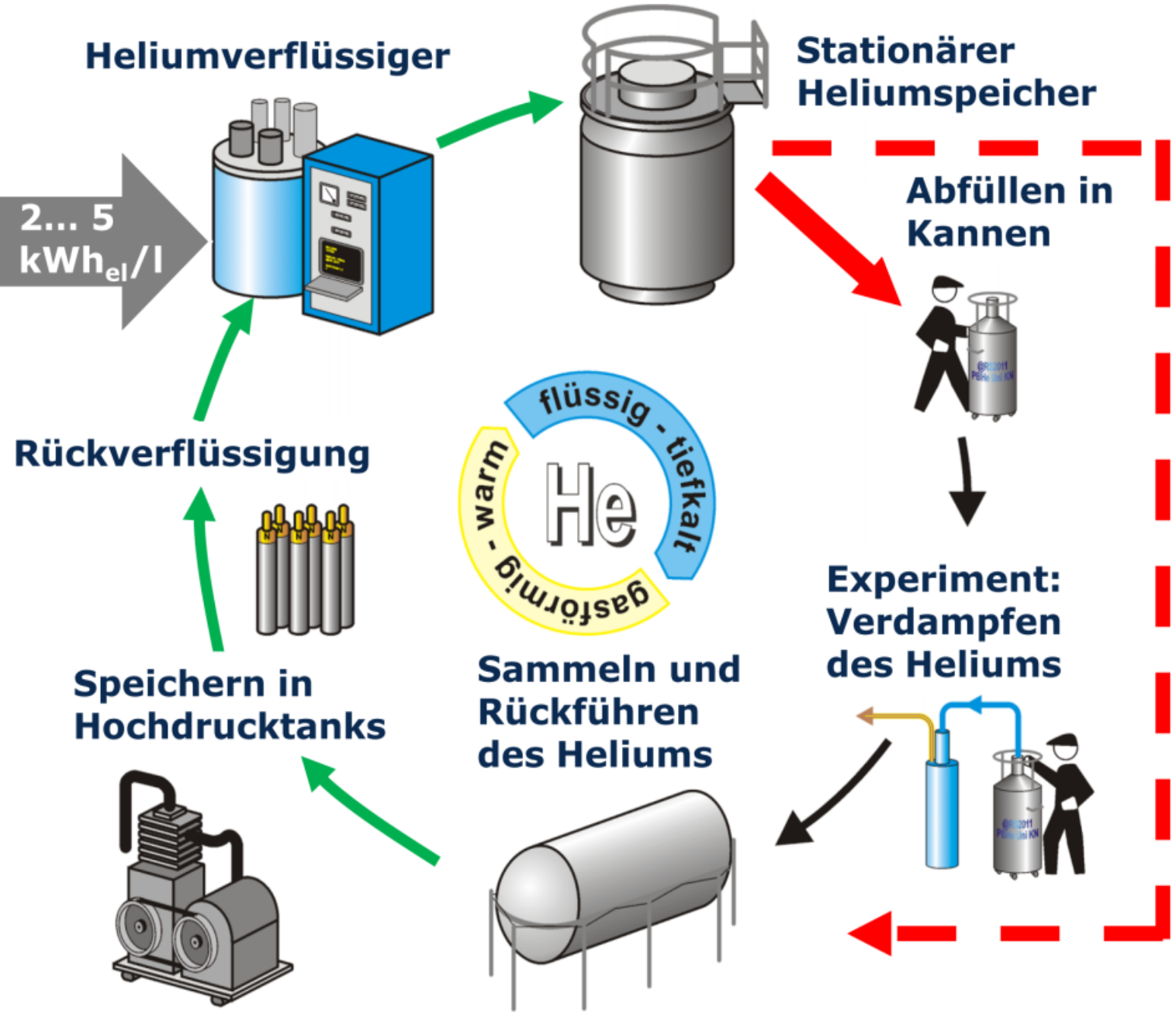


stationärer LHe-Speicherdewar

5000 l

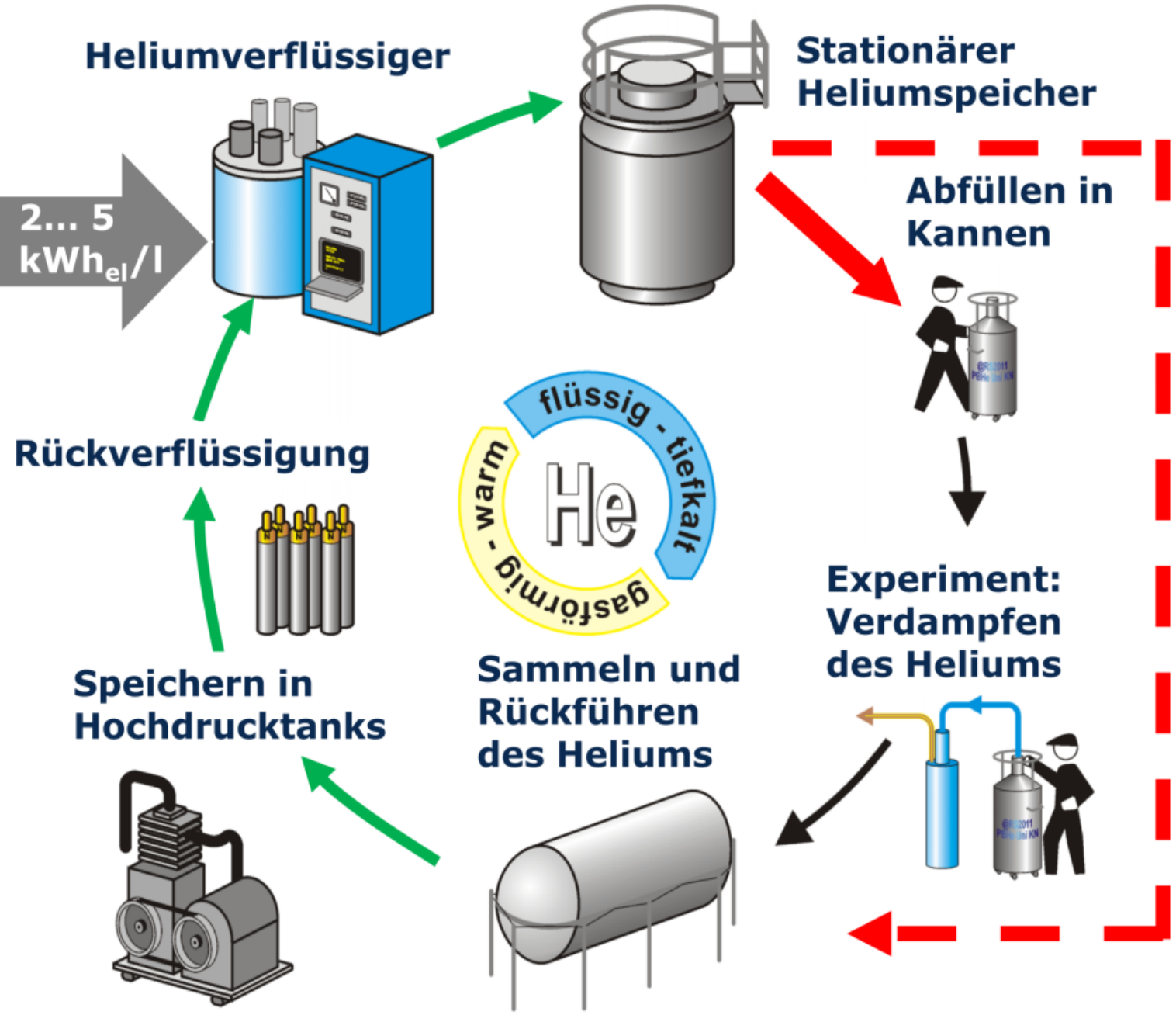
mobile LHe-Kanne

100 l



150.000 l LHe/a (IFW)
Stromkosten 64.000 €/a

POTENTIAL ZUR EFFIZIENZ-STEIGERUNG

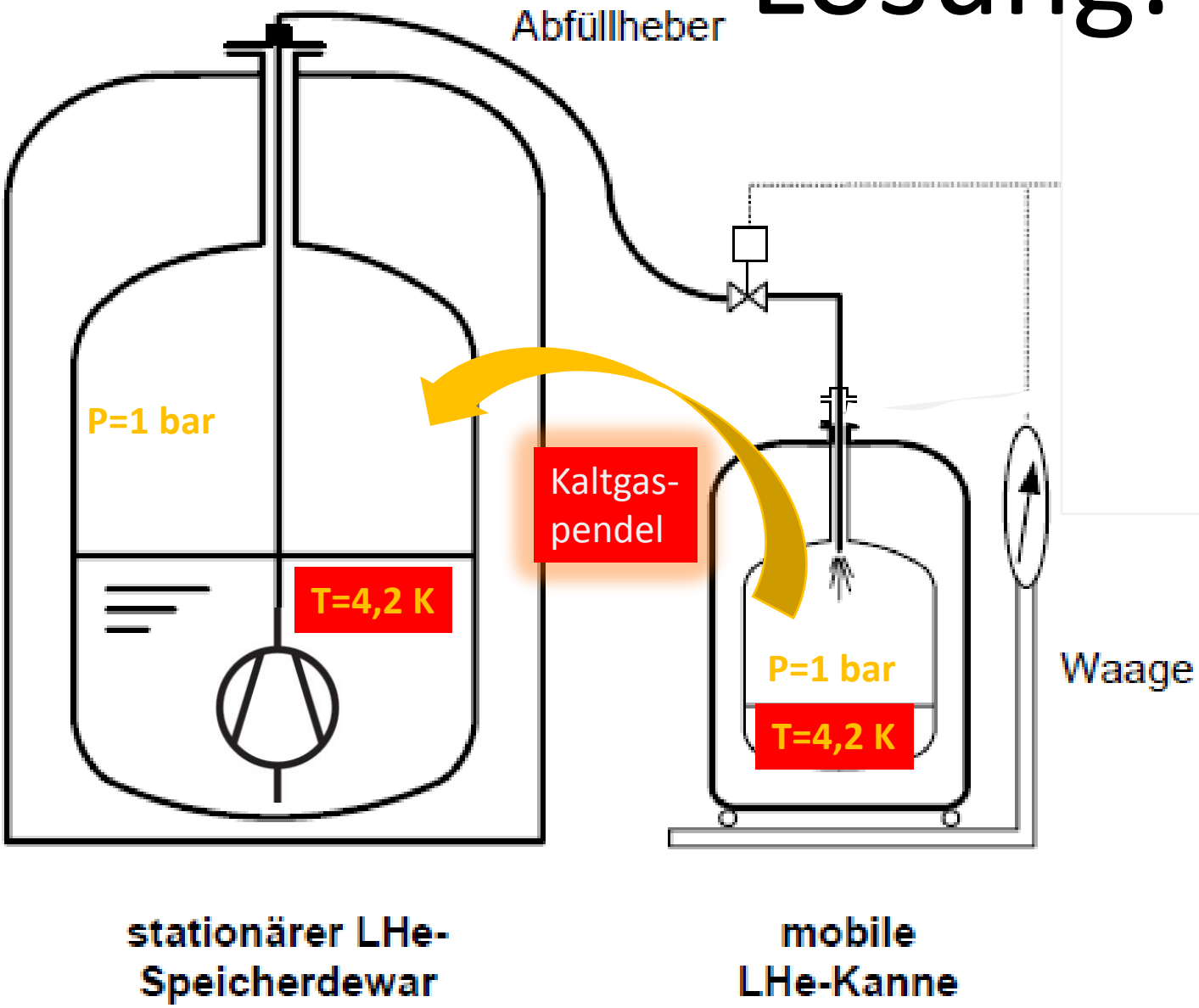


150.000 l LHe/a (IFW)

Stromkosten 64.000 €/a

Motivation zur Entwicklung eines alternativen Verfahrens

Lösung: LHe-Pumpe



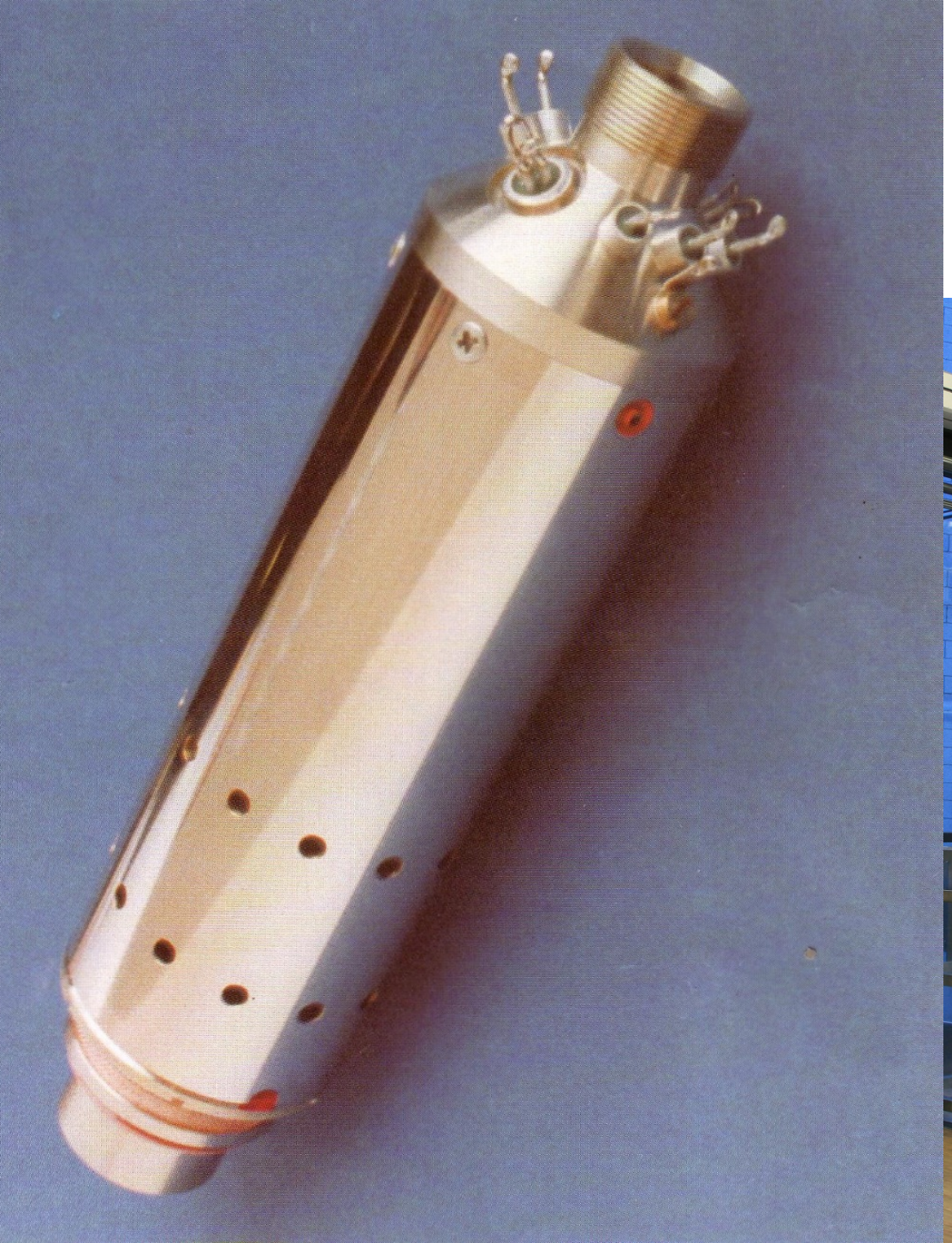
Anforderungen an die Pumpe:

$$\Delta p = 250\ mbar$$

$$\dot{V} = 1000\ bis\ 1500\ \frac{l}{h}$$

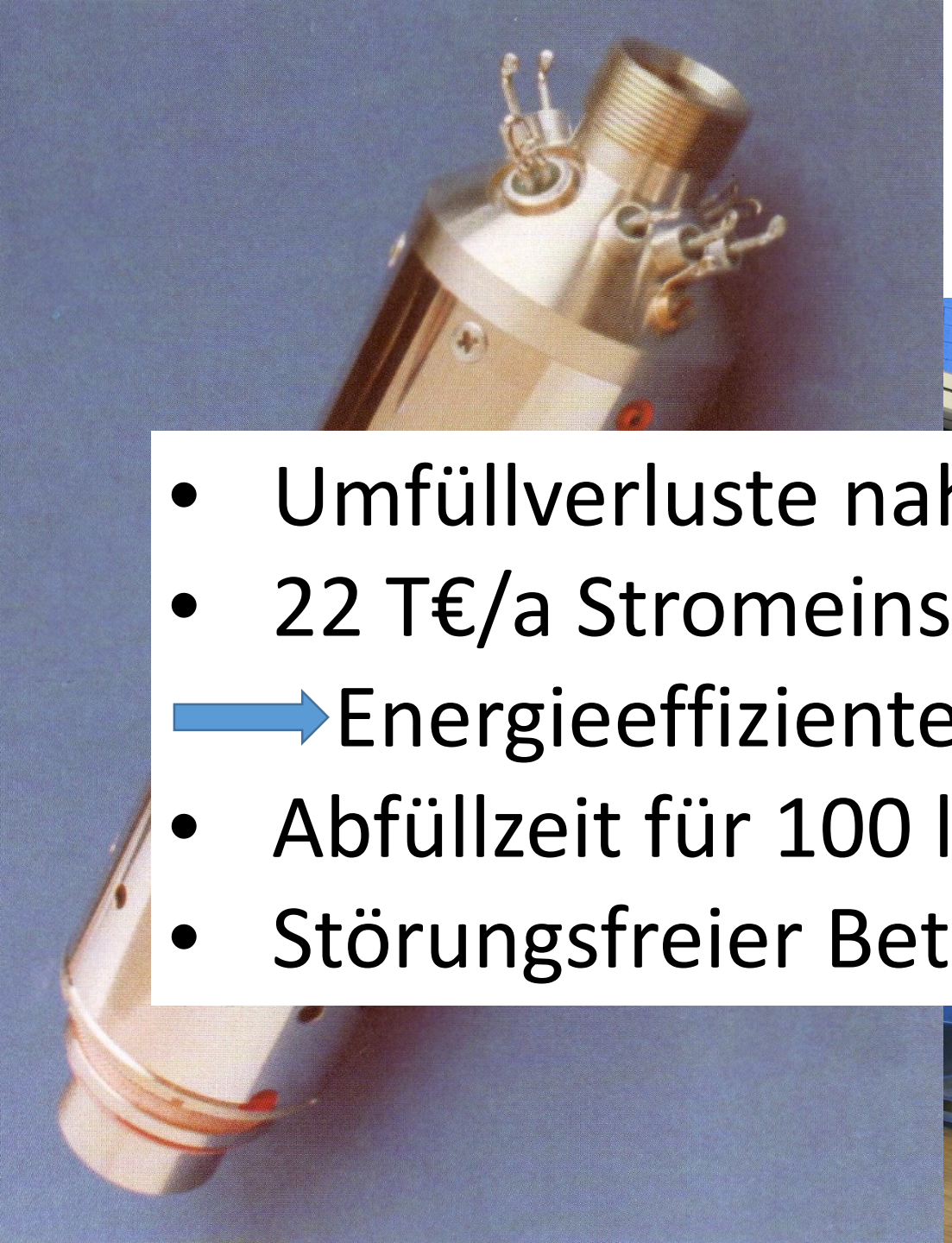
$$T_{op} = 4{,}2\ K$$

Gibt es da schon was auf dem Markt?



LHe-Abfüllung im IFW Dresden

LHe-Abfüllung im IFW Dresden

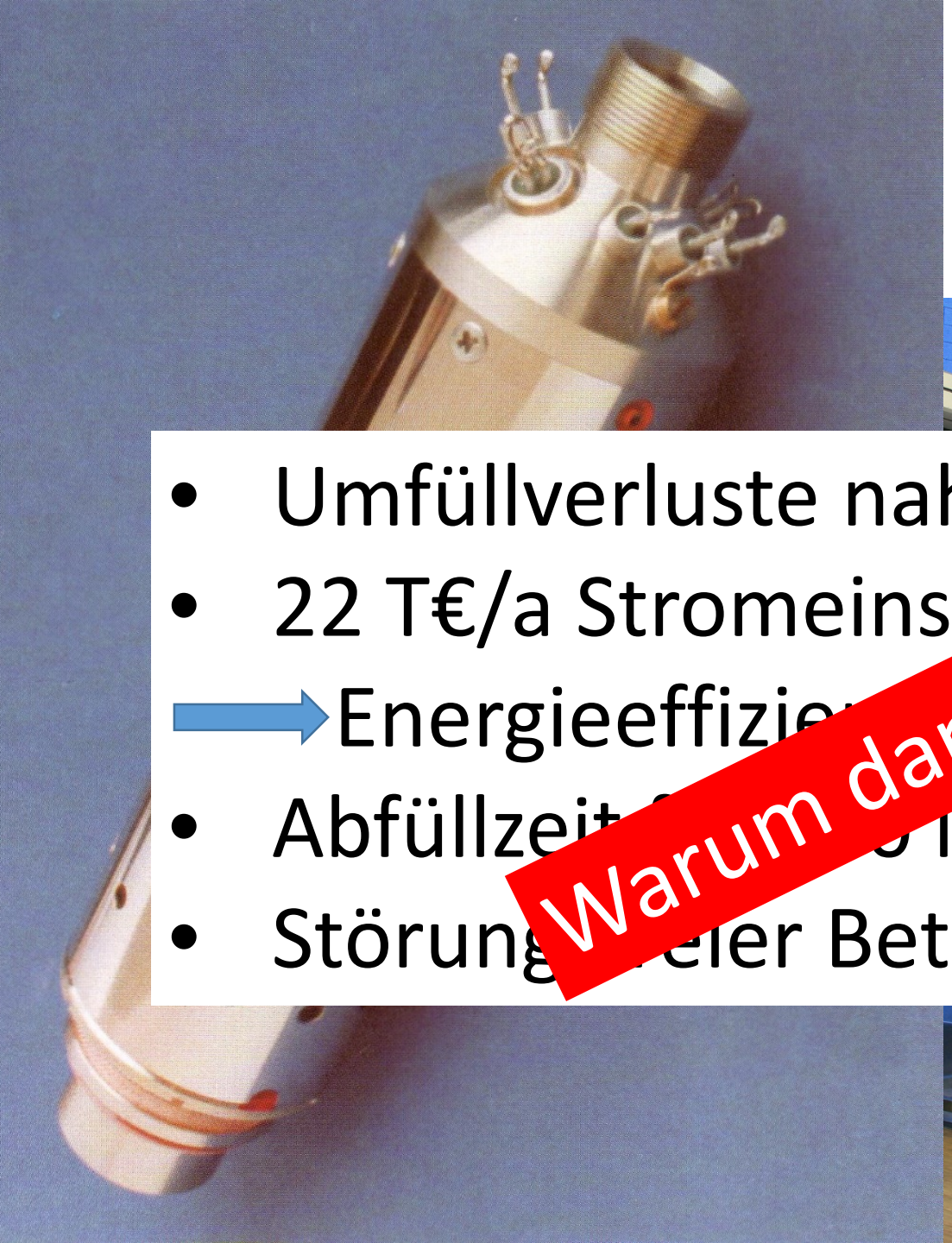


- Umfüllverluste nahezu Null!
- 22 T€/a Stromeinsparung!

→ Energieeffizienteste He-Anlage weltweit !!!

- Abfüllzeit für 100 l: 6 Minuten!
- Störungsfreier Betrieb seit 2009!

LHe-Abfüllung im IFW Dresden



- Umfüllverluste nahezu Null!
- 22 T€/a Stromeinspar
- → Energieeffizie he-Anlage weltweit !!!
- Abfüllzeit 9 l: 6 Minuten!
- Störung eier Betrieb seit 2009!

Warum dann HePump?

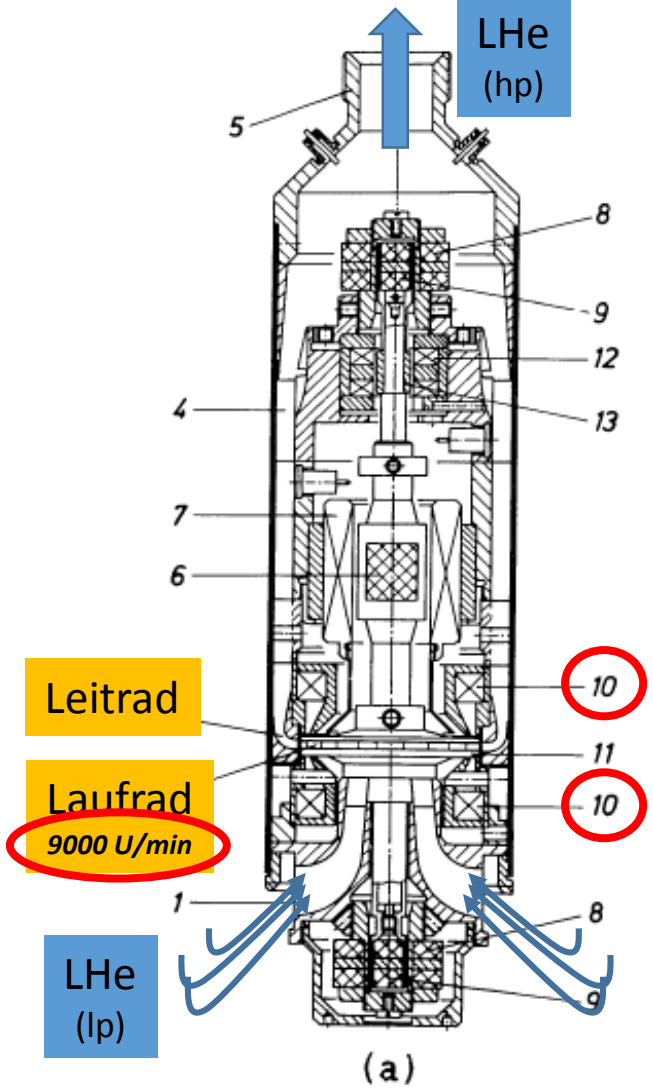


Fig. 2. (a) Cross section of the pump: 1 inlet stator, 2 rotor blades, 3 guide wheel, 4 flow channels, 5 exit connection, 6 motor magnet, 7 motor windings, 8,9 radial bearings (permanent magnets), 10 active axial bearing magnets, 11 rotor (magnetic material), 12,13 sensing system for axial position.

Stand der Technik:
Walther-Meißner-Institut, Garching

-Weltweit erste brauchbare LHe-Pumpe
-Technisch seit Mitte 1980-er Jahre unverändert
-Komplizierte Lageregelung des Rotors
-Weiche Rotorlagerung
-Wärmeeintrag durch Strom in den Lagerspulen

-Manufaktur-Fertigung
Preis: 200.000 €/Stk.

→ ***Nur bei großen LHe-Umsätzen wirtschaftlich***
→ ***Nur bei Neu-Anlagen***
→ ***ca. 15 Stück weltweit im Einsatz (1987-2015)***

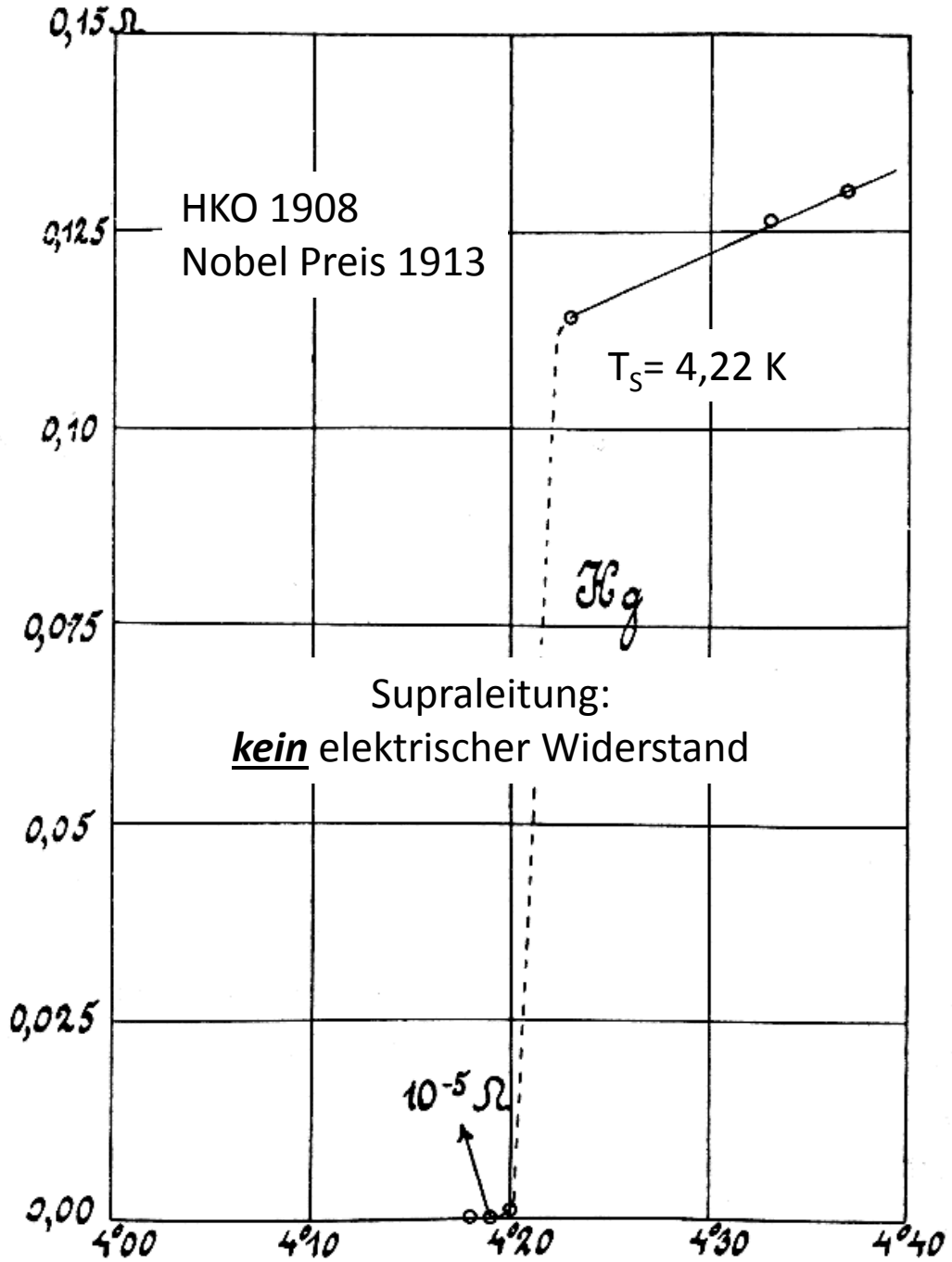
ZIM-Projekt *HePump:*

1) Ersatz der aktiven Magnetlagerung durch supraleitende Lager (HTSL)

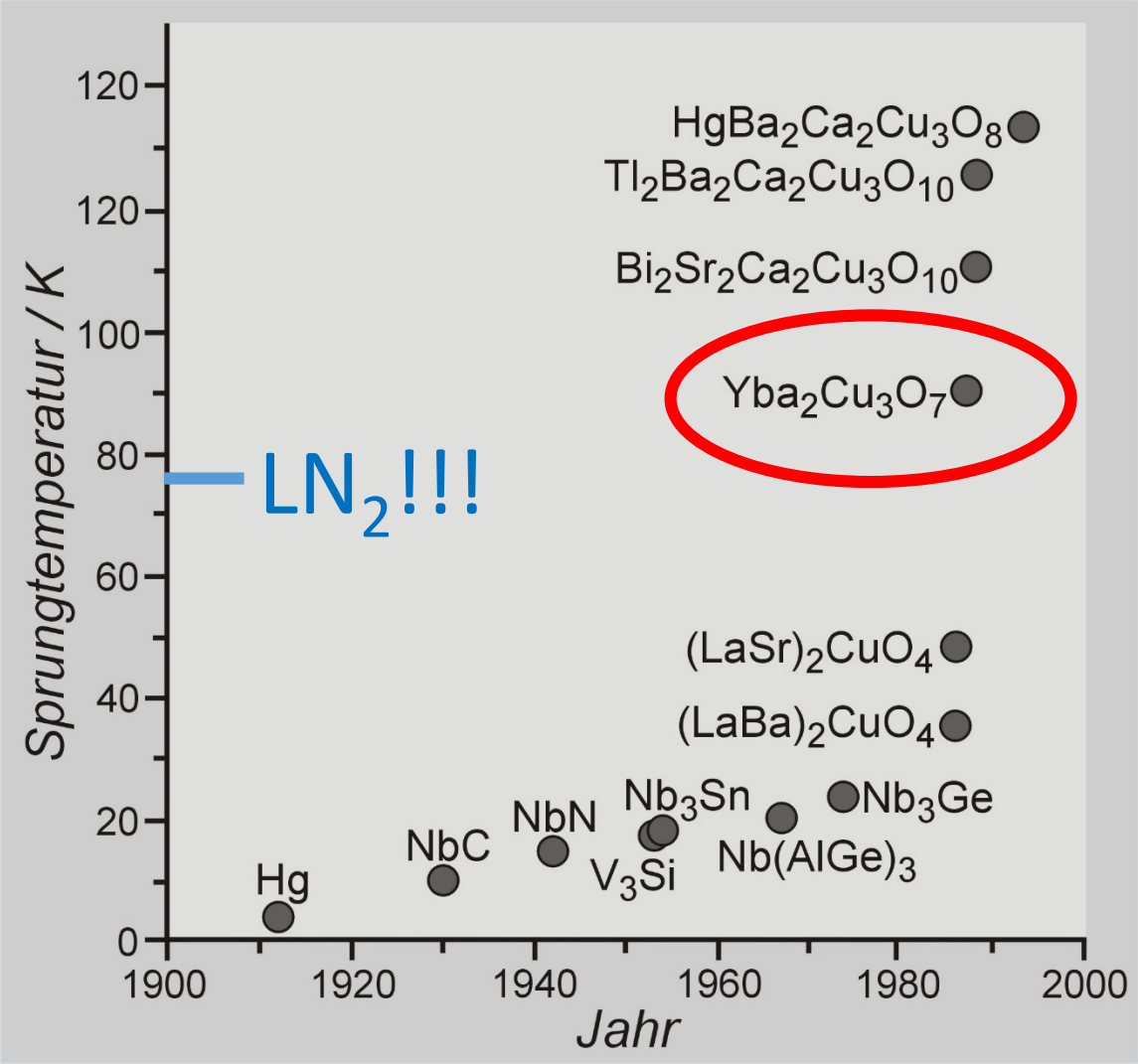
- Hohe Steifigkeit
- Präzise Kontrolle der Lagerspalte
- Dauerhafte Positionierung ohne Regelung
- Keine Wärmeerzeugung im Lager

2) Re-Engineering unter den Gesichtspunkten der Fertigungs- und Kostenoptimierung

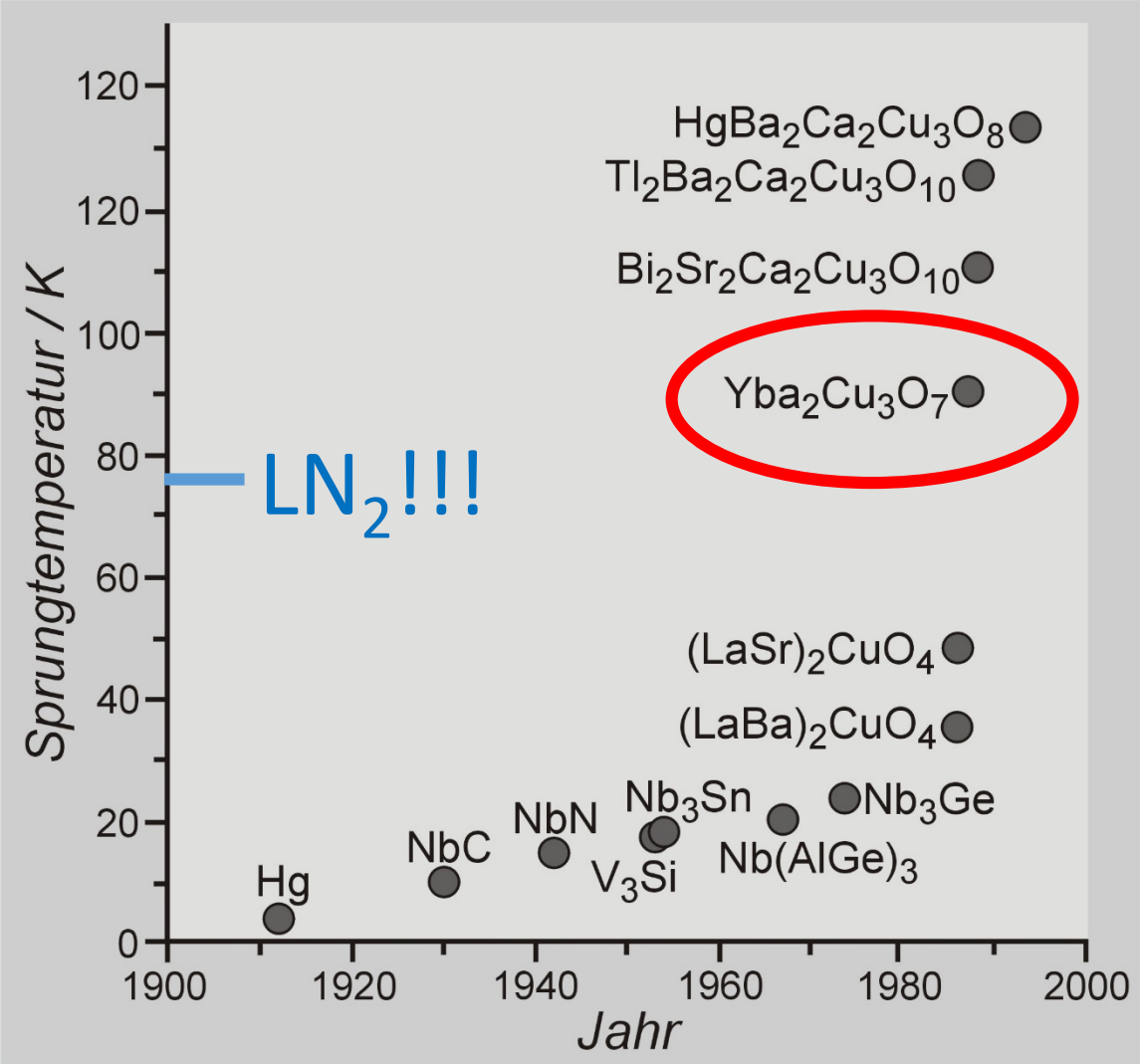
- Kleinserienfertigung mit individueller Kundenanpassung
- Zuverlässige Lieferanten für die Schlüsselkomponenten
- Preis unter 100 T€/Stk.



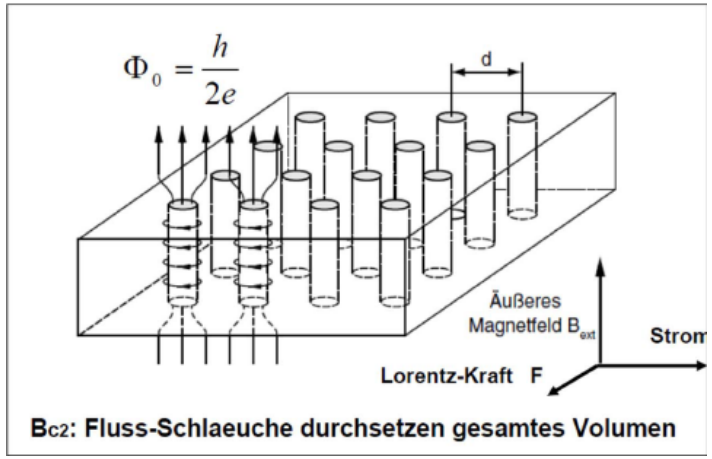
Entwicklung der Sprungtemperaturen von Supraleitern



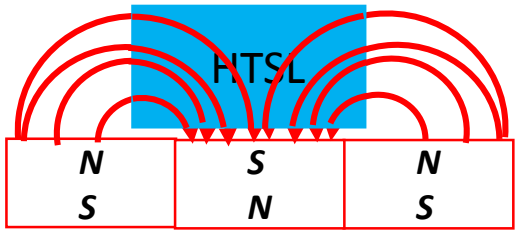
Entwicklung der Sprungtemperaturen von Supraleitern



flux pinning:
Supraleitende Kreisströme
erhalten das Magnetfeld

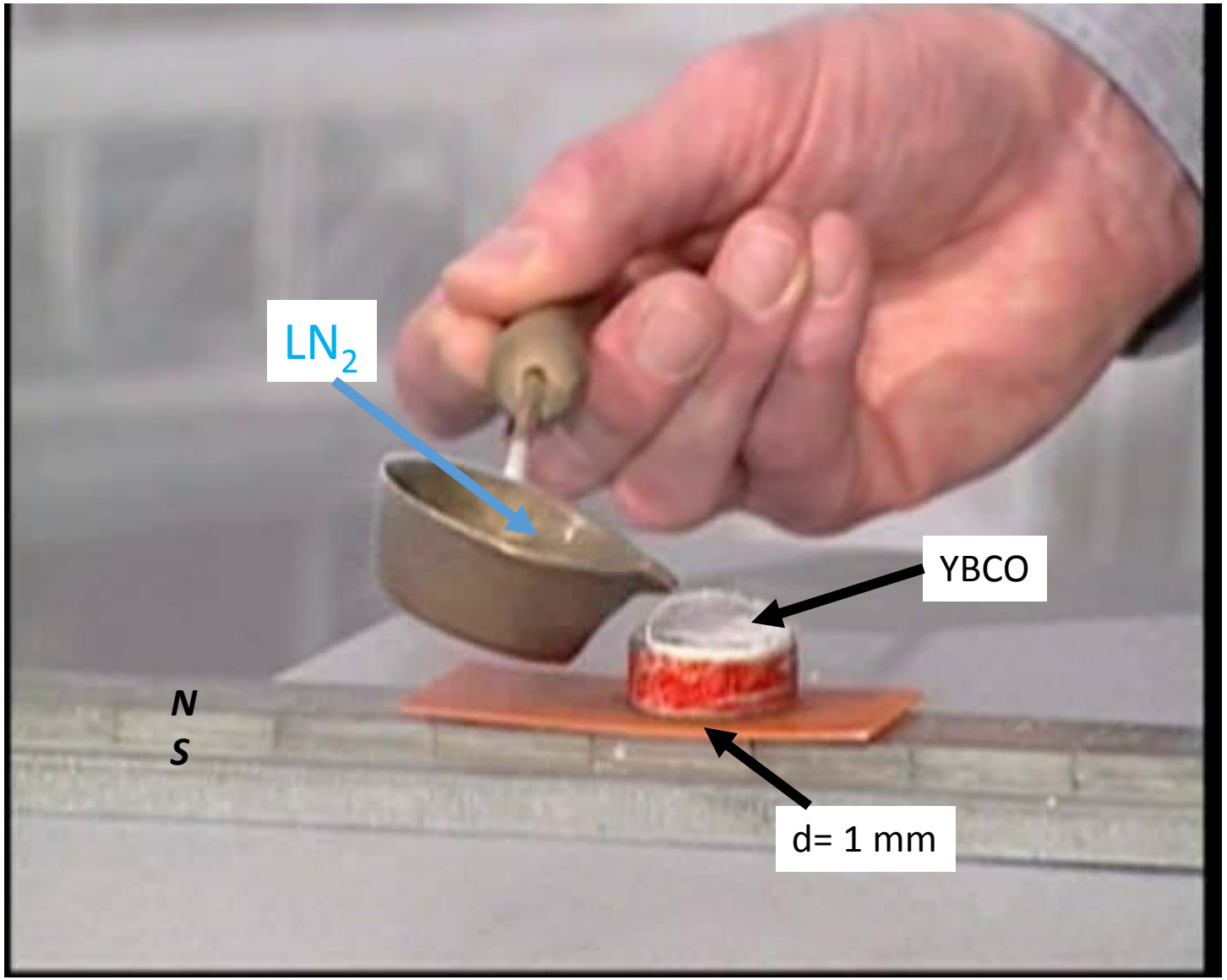


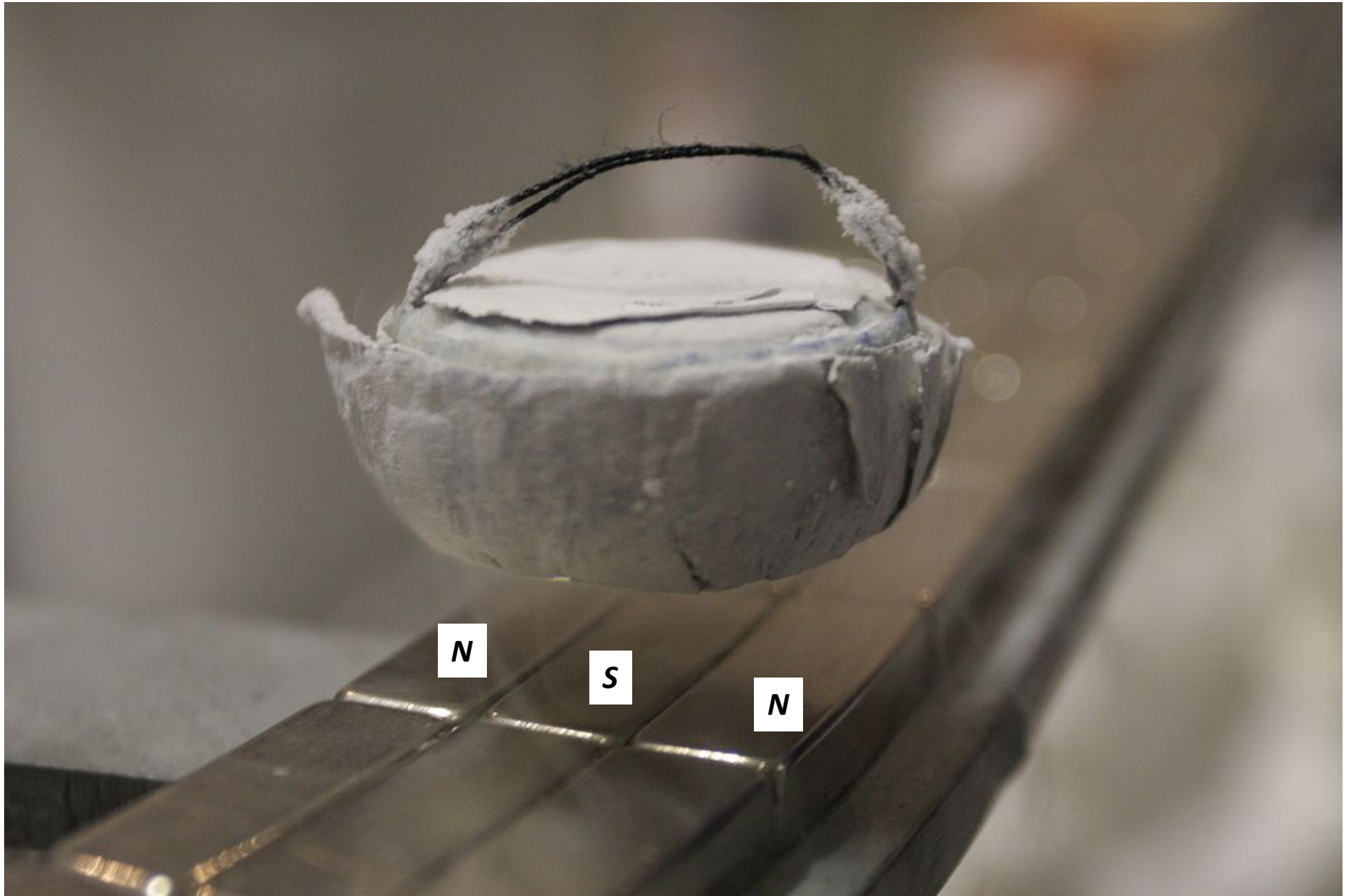
Supraleiter wird im äußeren Magnetfeld
unter die Sprungtemperatur abgekühlt



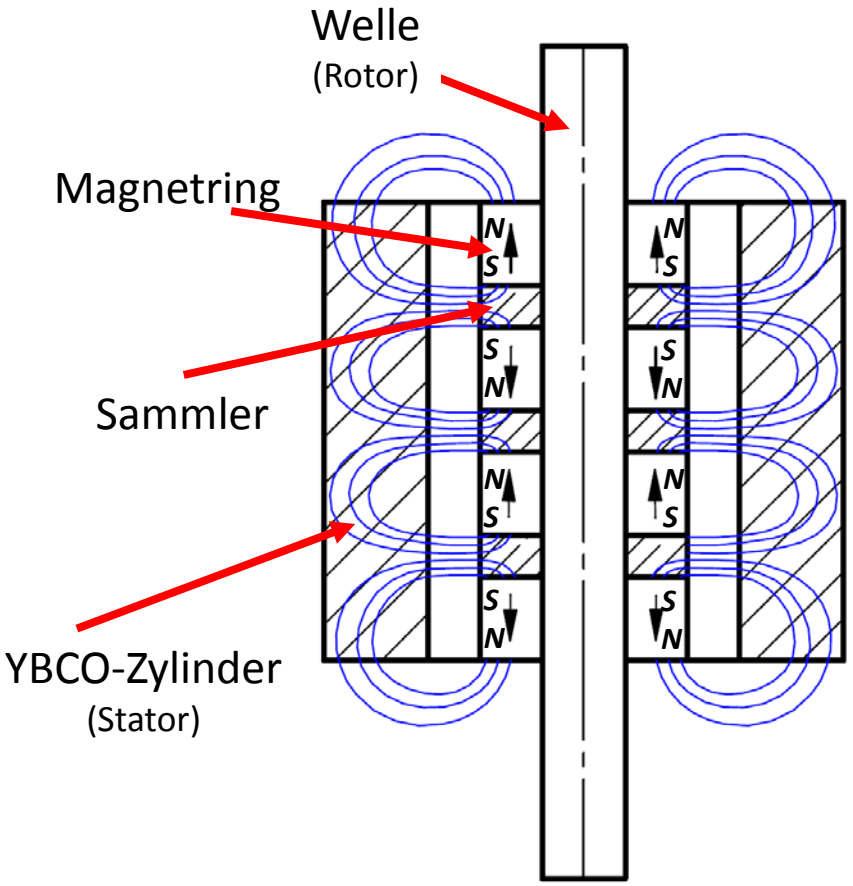
Supraleitender, **<u>schwebender</u>**
Dauermagnet mit Rückstellkraft!
Stabile, dauerhafte Levitation!

Levitation von HTSL über Permanentmagneten

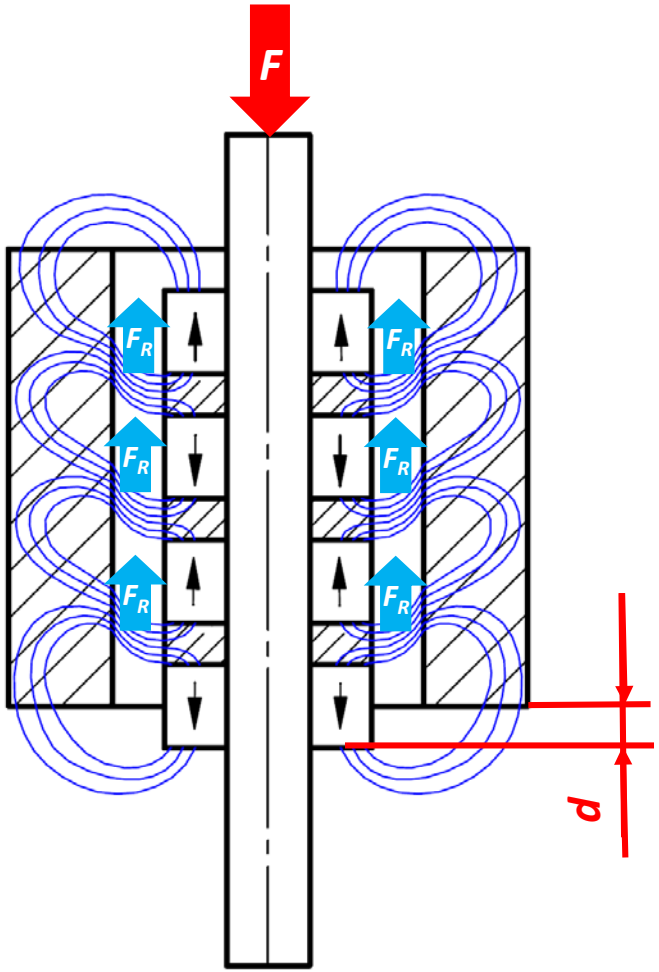



N
S
N

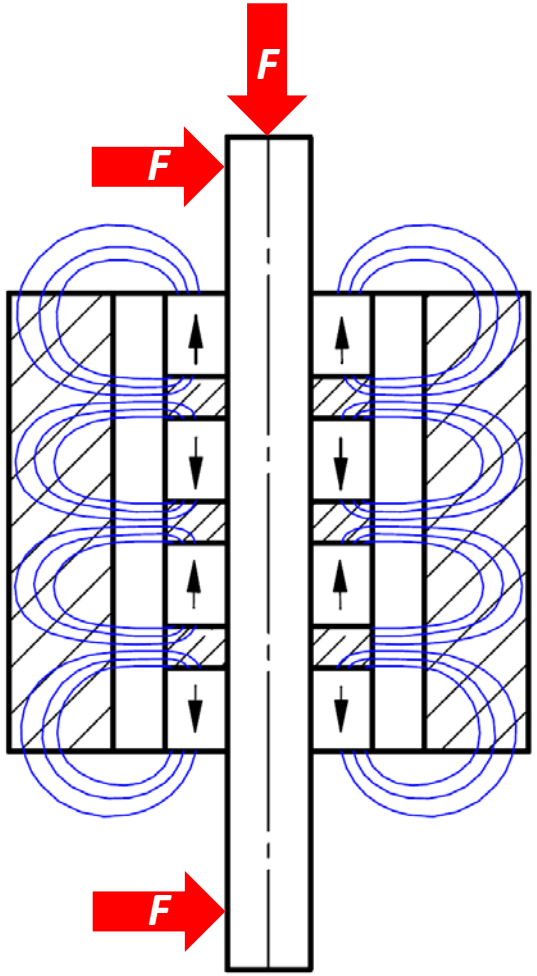
Der Levitationseffekt in einem rotierenden Lager



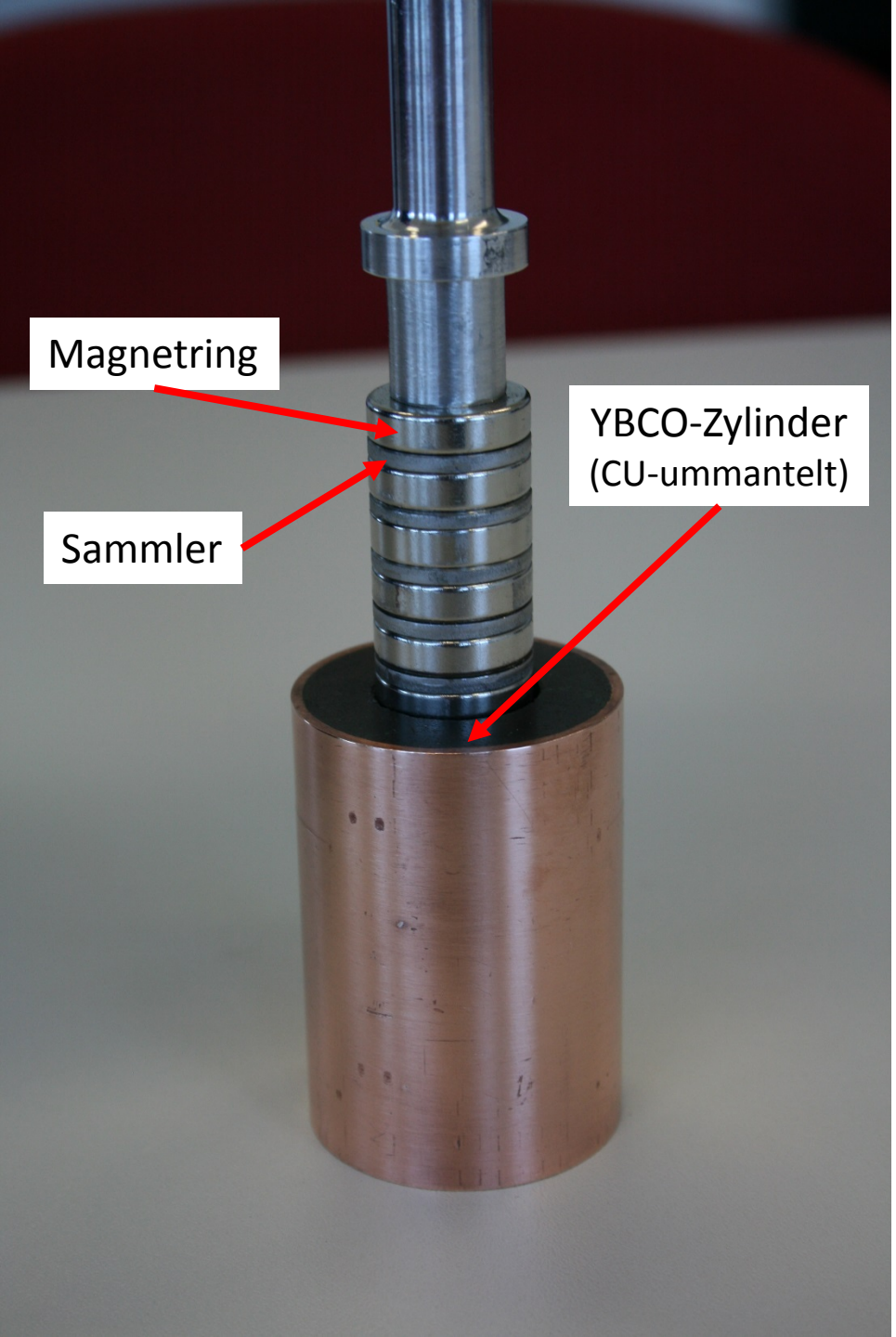
„Einfrierposition“

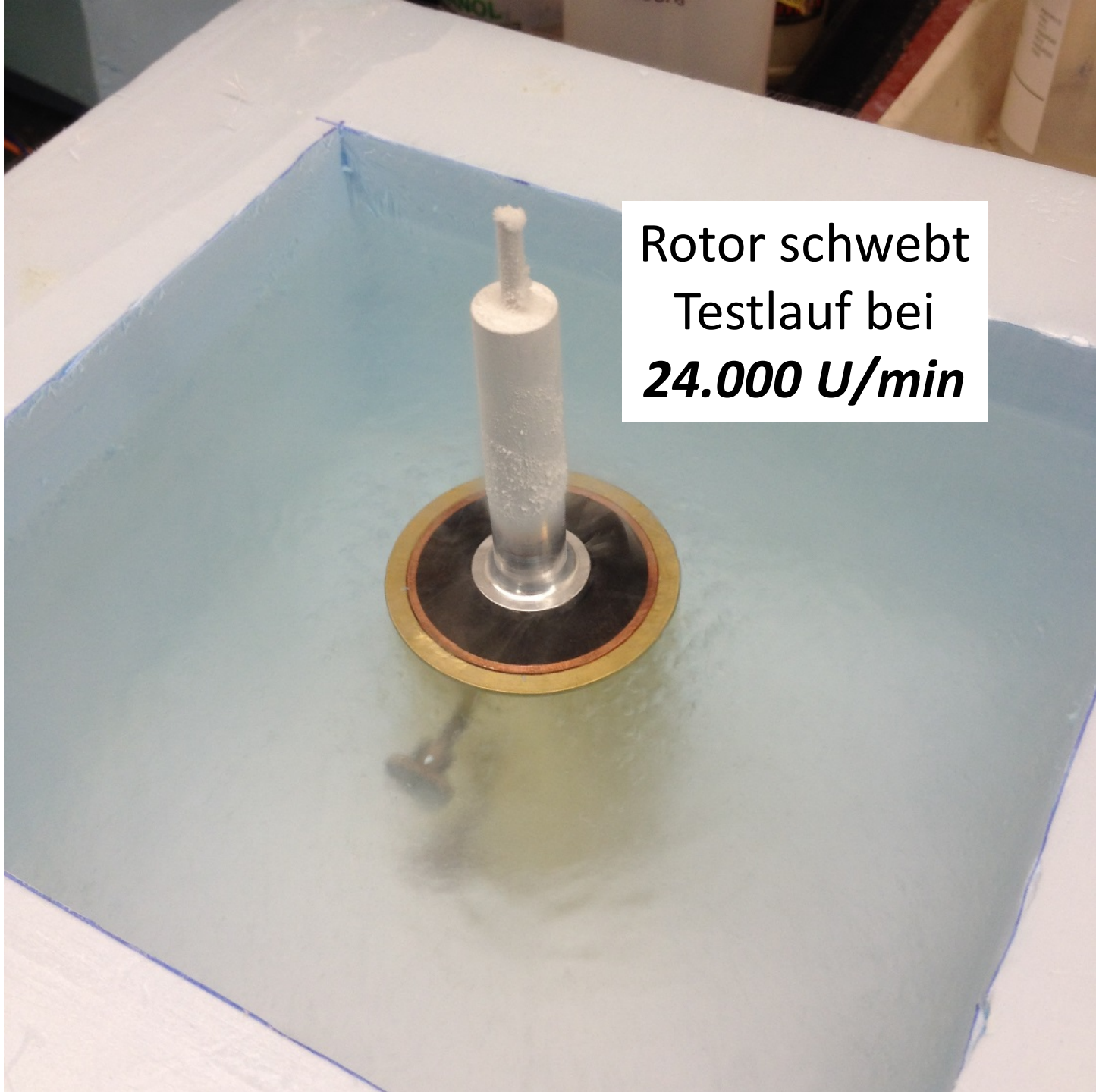


Magnetische Rückstellkraft

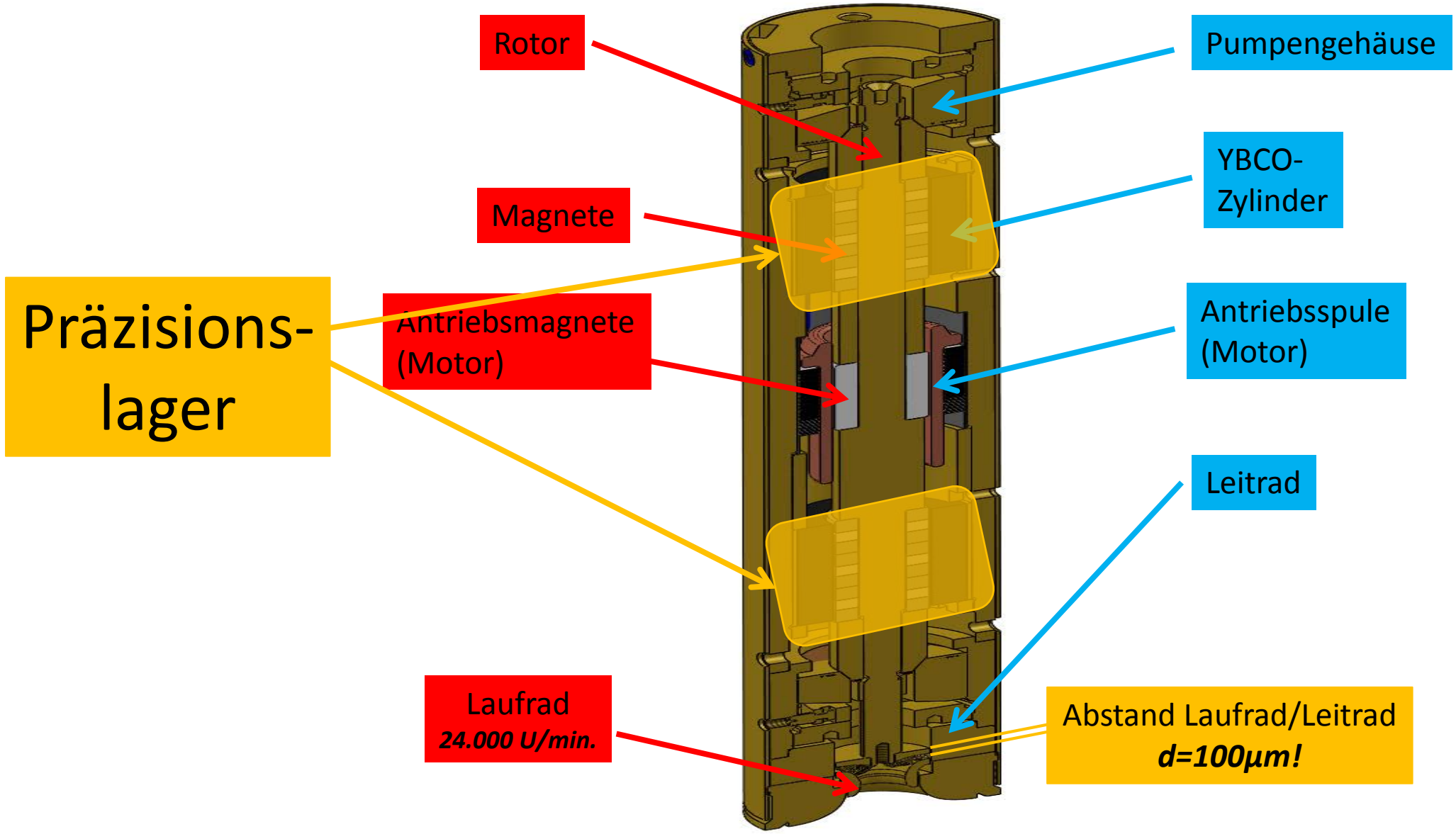


Stabile Positionierung Rotor/Stator

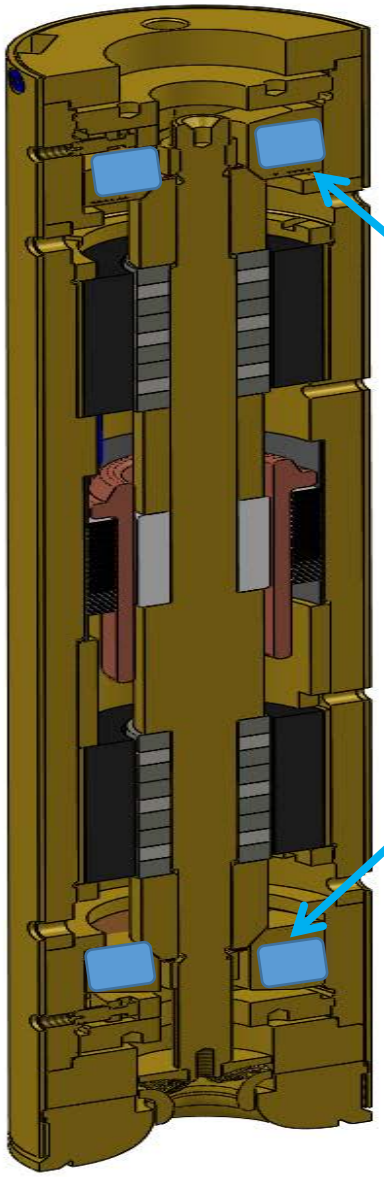

Magnetring
Sammler
YBCO-Zylinder
(CU-ummantelt)


Rotor schwebt
Testlauf bei
24.000 U/min

Konstruktion der neuen LHe-Pumpe



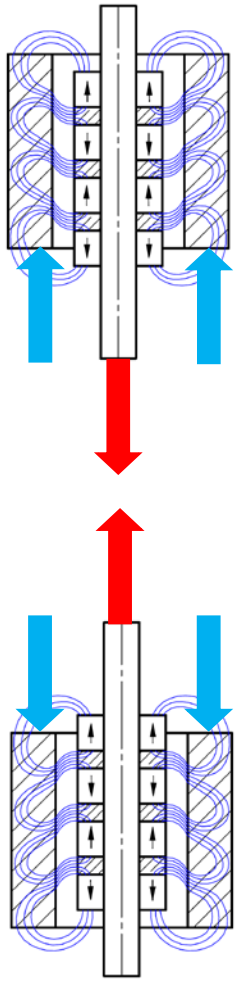
Halten des Rotors in der „Einfrierposition“ und Freigabe im Betrieb

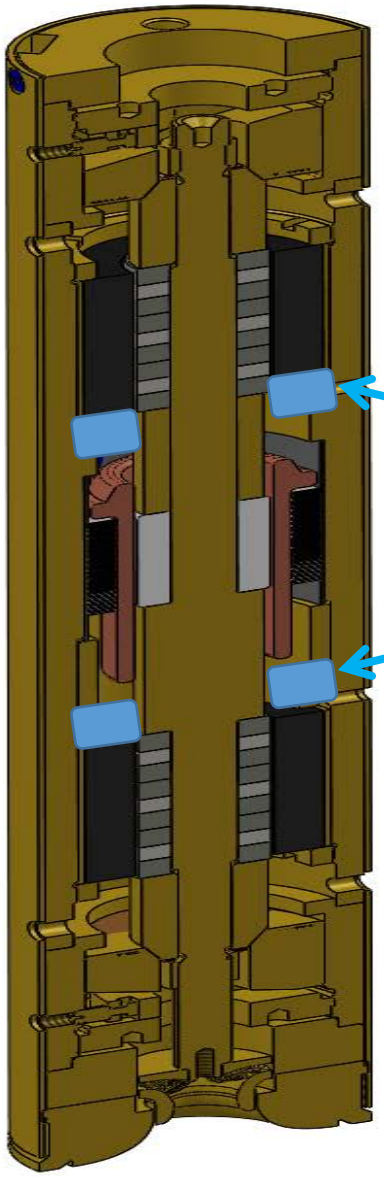


Positioniersystem

- „Warme“ Montage
- Freigabe im Kalten
- Vorgang beliebig wiederholbar
- Spaltmaß reproduzierbar

Erhöhung der Lagersteifigkeit

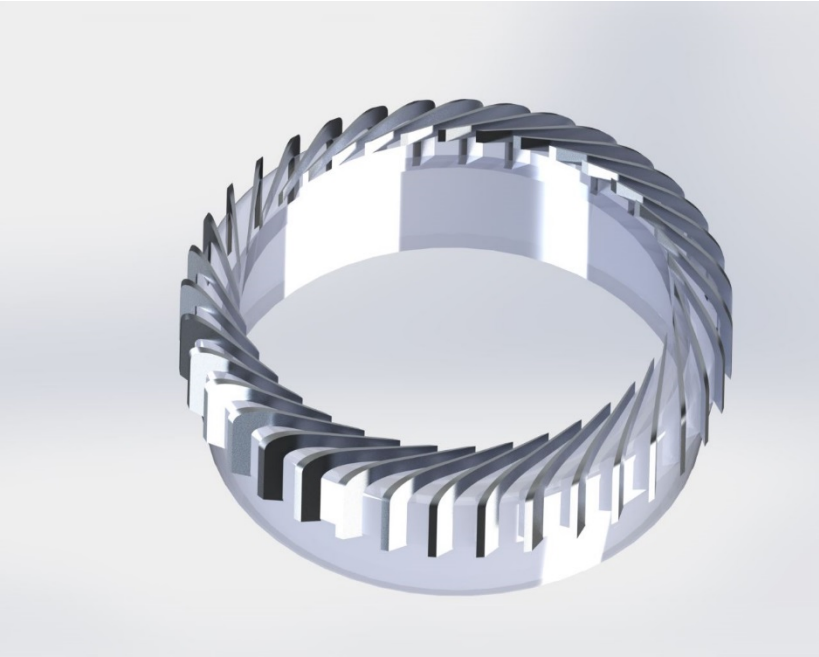


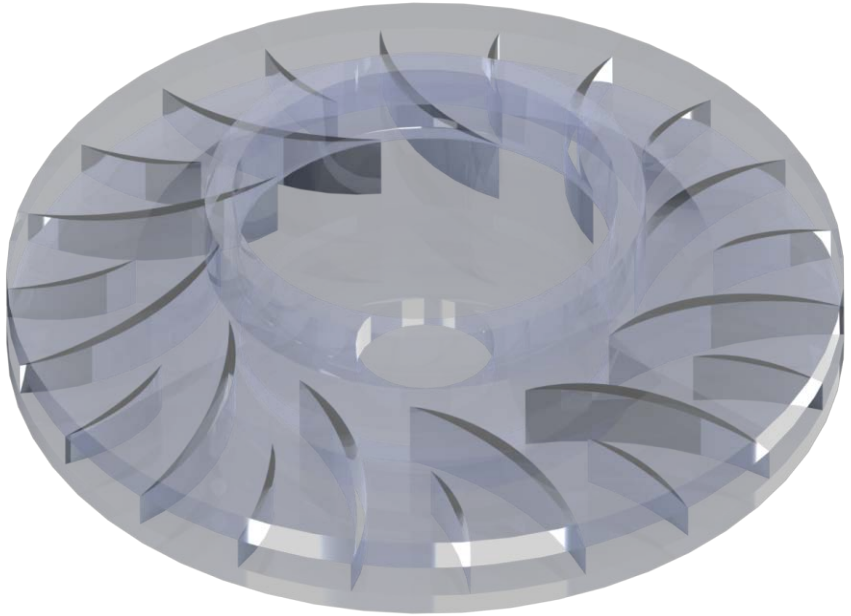


Fluiddynamische Erneuerung der Kreiselpumpe

- CFD-Berechnung und 3D-Konstruktion der Lauf- und Leitradgeometrien
- Verwendung der LHe-Stoffdaten
- Optimierung von Δp und $\dot{V}$ für verschiedene Anwendungsfälle

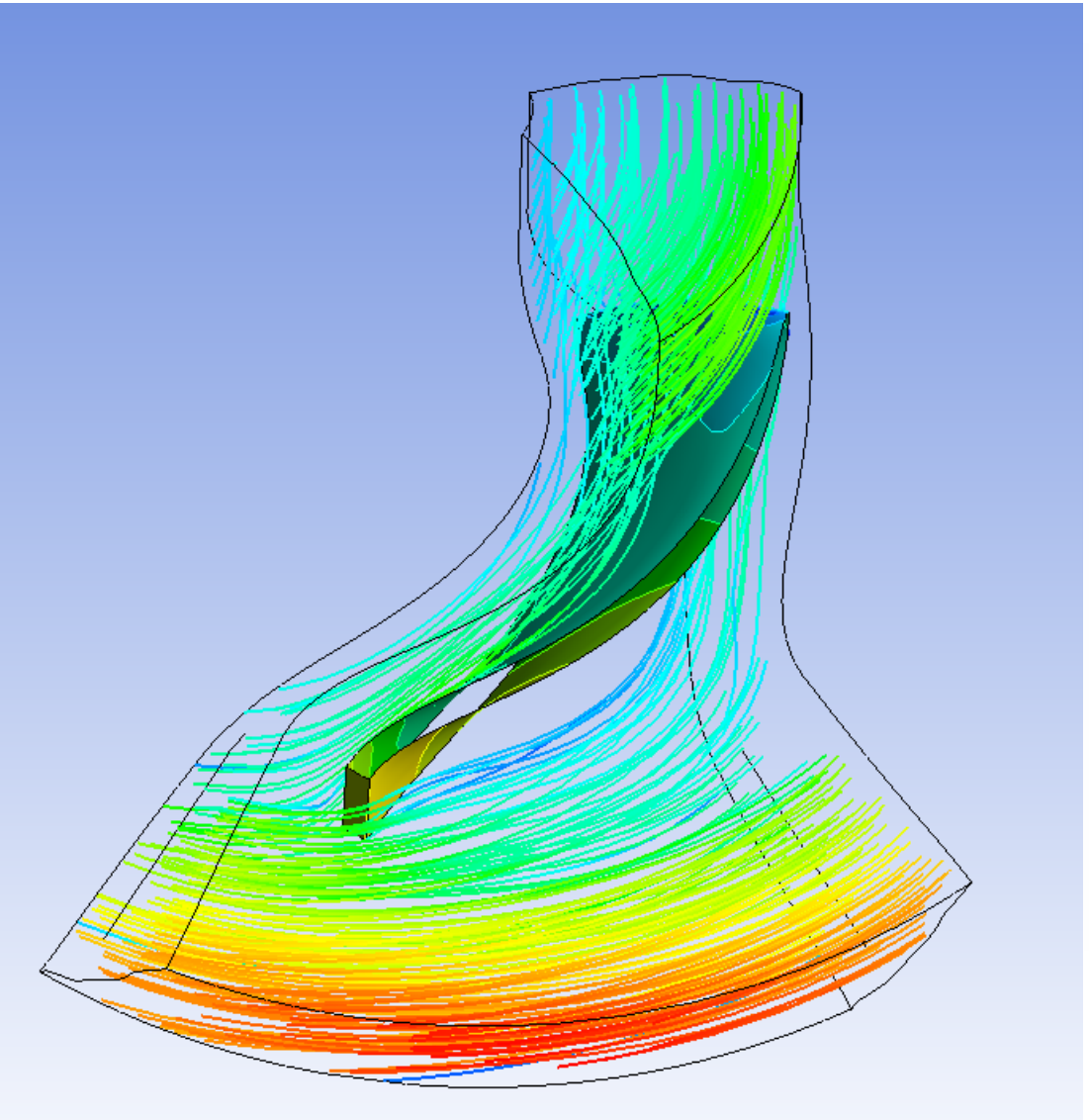
Modellierung des Ist-Zustands (WMI-Pumpe)



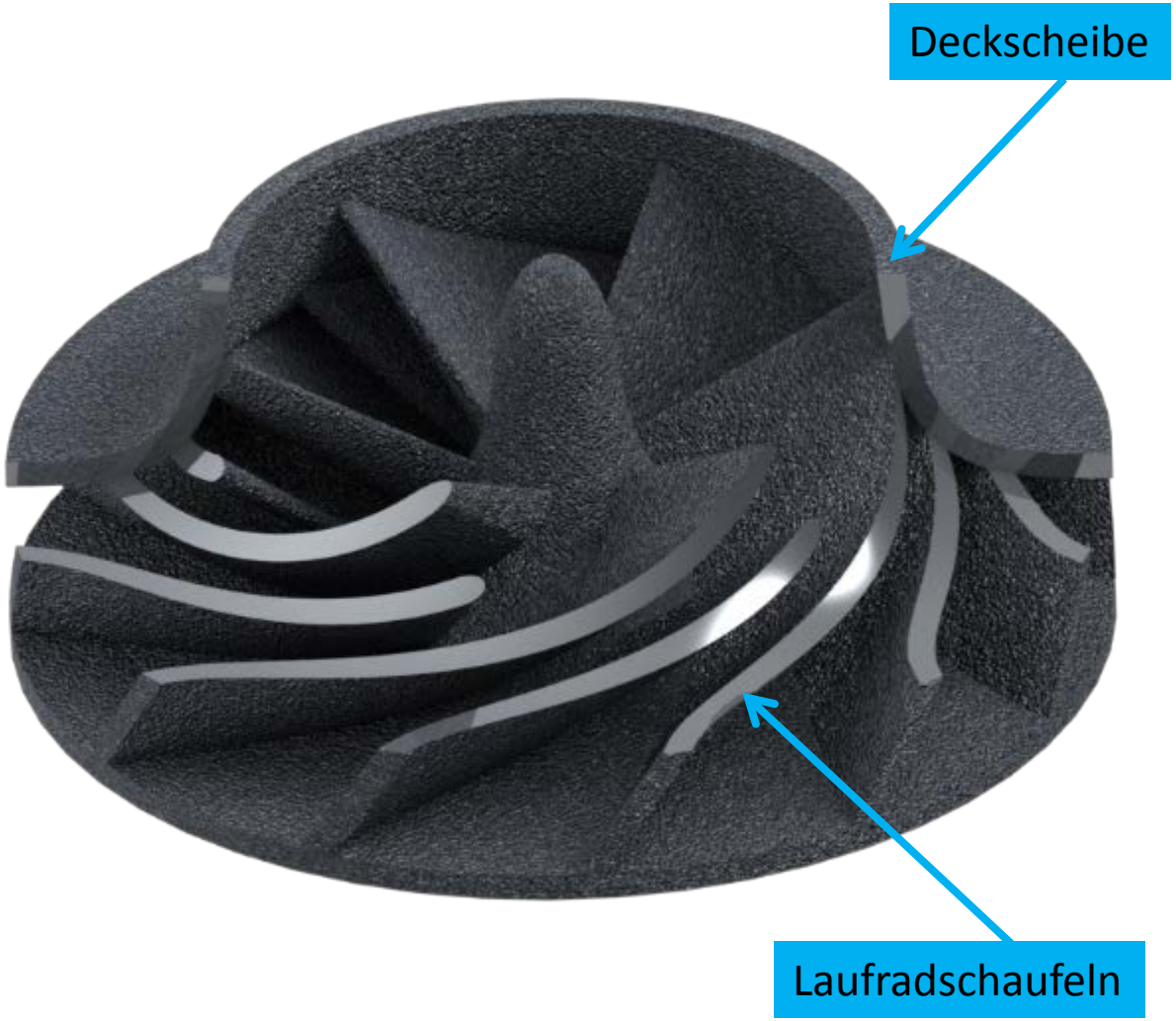


Optimierung der Geometrie von Lauf- und Leitrad

CFD-Ergebnis



Fertigung ohne Fügen mit SLM



Zusammenfassung

Das Projekt *“HePump” verfolgt zwei Hauptziele:*

- **Nachhaltige, effiziente Abfüllung von LHe**
- **Schaffung eines marktfähigen Produktes**
- **Individuelle LHe-Anlagen erfordern Customizing (CFD/SLM)**

Schlüsselstelle ist die Lagerung des Rotors (24.000 U/min bei 4,2 K)

- **Gelöst durch permanente HTSL-Magnetlagerung**
- **Vorspannbar**
- **Einfacher, preiswerter als akt. magn. Lagerung**

Testrotor für Motor und Lager wird aktuell gebaut

Pumpenprototyp 2017

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!