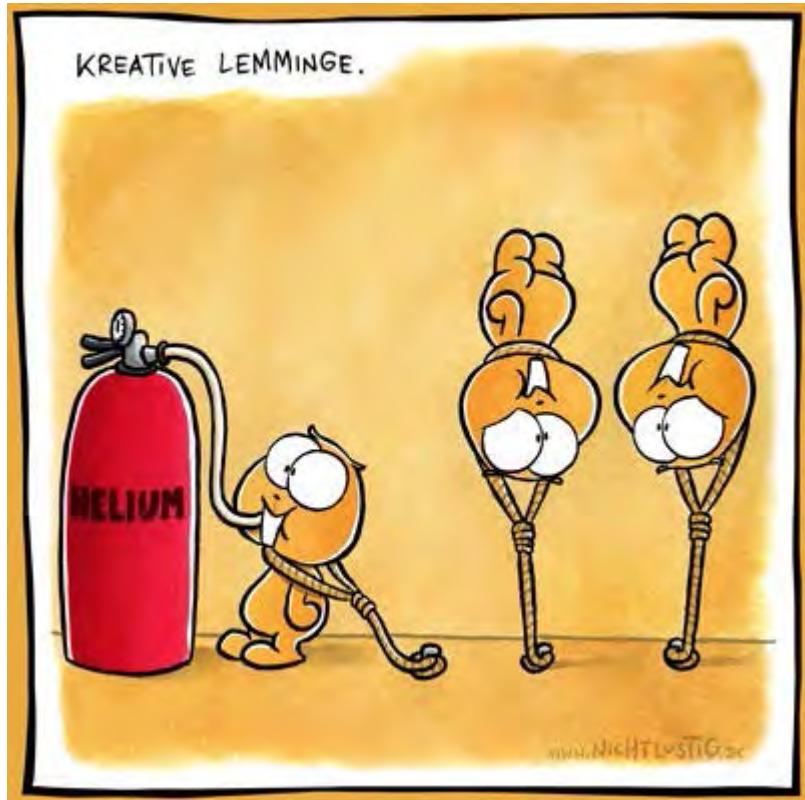


# Heliumgewinnung und -bereitstellung



# Heliumgewinnung und -bereitstellung

Helium ( ${}^4_2\text{He}$ , gasförmig / flüssig):

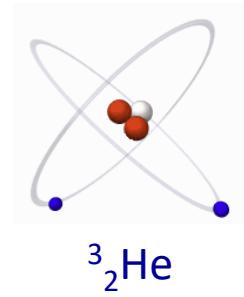
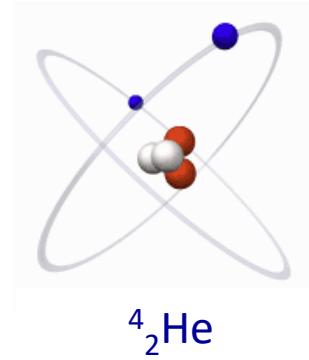
komm. Bereitstellung und Lieferung durch die Gaseindustrie  
(Air Products, Praxair, Linde, Air Liquide, Messer, ....)

- kontinuierliche Steigerung die gesamten letzten Dekaden;  
Umsatz zuletzt weltweit ca.  $170 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr} \approx 80 \text{ t/Tag!}$

- zuverlässige Versorgung, eingespielte Logistik

dann jedoch:

- zunehmend Lieferengpässe
  - typischerweise im Spätherbst
  - z.B. 2000, 2001, 2005, 2006, 2007, ... **2011**,  
**2018, 2019**



parallel (seit 11.9.2001):  
dramatischer Mangel an  ${}^3\text{He}$   
Preisexplosion:  
1 l gasf.: ~~250,- €~~  
3000,- €

# Heliumgewinnung und -bereitstellung

Herbst 2011 ff:

Heliumverknappung kontinuierlich und in nie gekanntem Ausmaß

- alle Gasefirmen und Kunden weltweit betroffen
- Preissteigerungen (ca. 30 ... 400 %)
- Lieferungen unregelmäßig, unberechenbar

typ. Reduktion auf 70 % der vorgesehenen Menge

bei bestehenden Lieferverträgen z.T. Berufung auf „höhere Gewalt“

⇒ mehr oder weniger dramatische Folgen im Wissenschaftsbetrieb

“... helium reserves will run out in 25 years ...”

(Nobelpreisträger Prof. R. Richardson, Aug. 2010)

⇒ „Heliumkrise“ sogar bereits in allgem. Presse thematisiert



# Heliumverwendung (Missbrauch?!)



## ① HEISSLUFTBALLON

Kapazität (Luft): 2.973 m<sup>3</sup>  
Höhe: 23 m  
Flughöhe: 610 m

August 1960

## ③ KITTINGER'S EXCELSIOR SPRUNG III

Kapazität (Helium): 84.950 m<sup>3</sup>  
Höhe: 56 m  
Sprunghöhe: 31.333 m

Oktober 2012

## ⑤ RED BULL STRATOS FINALE MISSION

Kapazität (Helium): 834.497 m<sup>3</sup>  
Höhe: 102,05 m  
Zielhöhe: 36.576 m

März 2012

## ② RED BULL STRATOS 1. TESTSPRUNG

Kapazität (Helium): 34.546 m<sup>3</sup>  
Höhe: 39 m  
Sprunghöhe: 21.818 m

Juli 2012

## ④ RED BULL STRATOS 2. TESTSPRUNG

Kapazität (Helium): 150.079 m<sup>3</sup>  
Höhe: 64 m  
Sprunghöhe: 29.610 m

[www.redbullstratos.com](http://www.redbullstratos.com)

Rekord-Event Felix Baumgartner (Okt. 2012):  
insgesamt ca. 2,5 t He bzw. 20 000 l Flüssigheliumäquivalent verbraucht!

# Helium

1868 erstmals im Sonnenspektrum entdeckt (daher der Name **HeI-ium**)

1895 erstmals Reindarstellung durch W. Ramsay

1903 in Erdgas entdeckt (Kansas, H. Cady)

## “ideales Inertgas”:

1. chem. inert
2. ungiftig, geruchlos, farblos
3. physiologisch unbedenklich
4. hohes Ionisierungspotential
5. radiologisch inert
6. hohe Wärmeleitfähigkeit
7. kleine Viskosität
8. geringe Lösl. in Wasser
9. geringe Konzentr. in der Umwelt
10. extrem tiefes  $T_s$
11. suprafluide Phase

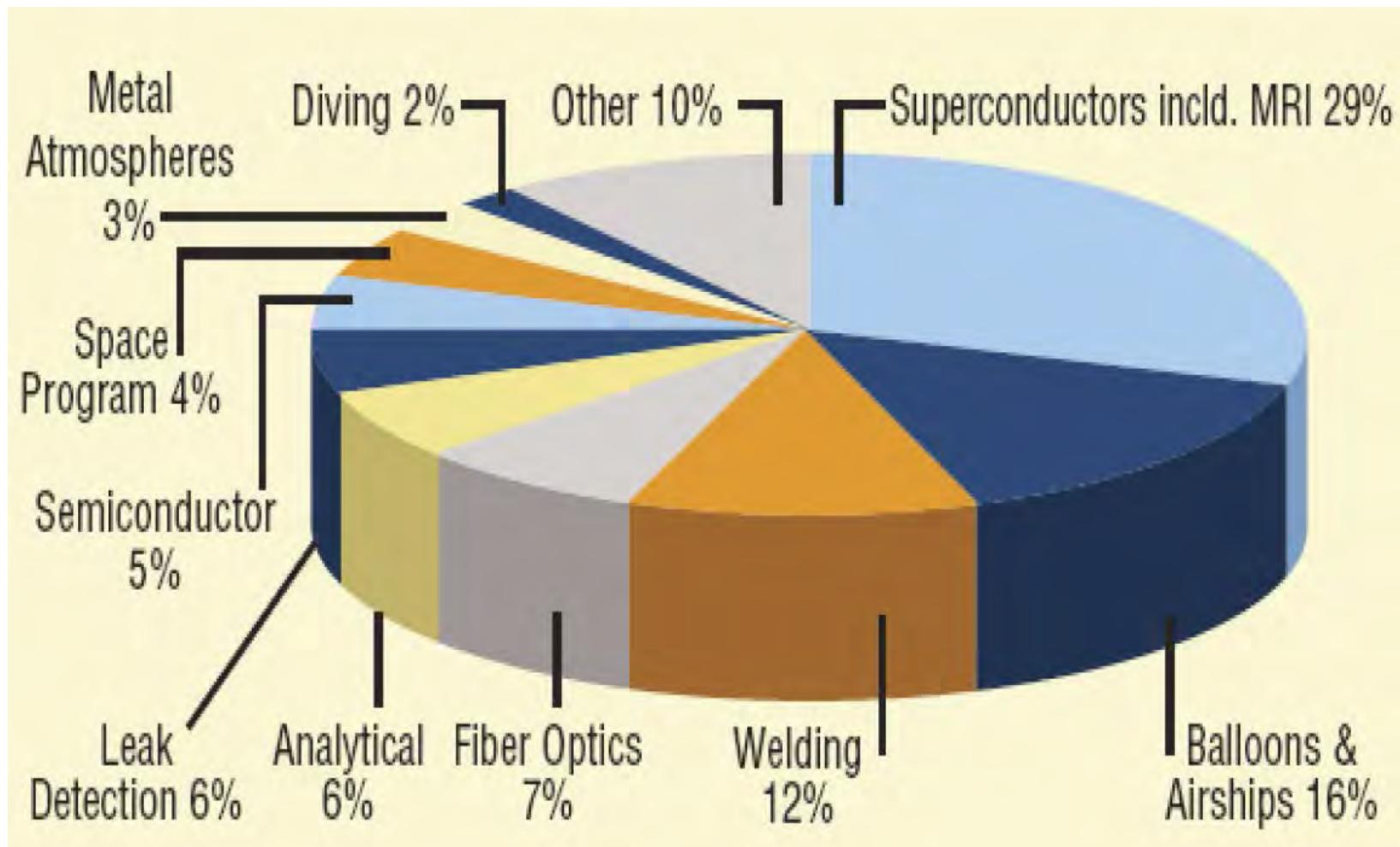
## Nutzung: (kommerzieller Umsatz)

- |                   |   |
|-------------------|---|
| 9 ... 18 %        | Schweißgas  |
| 7 ... 16 %        | Traggas   |
| 20 %              | Inertgas (HL-Industrie, Glasfaserherstellung, Raumfahrt, ...) |
| 3 ... 7 %         | Tauchergas  |
| 6 %               | Lecksuche   |
| 10 %              | Gaschromatographie, Analyse                                   |
| 6 %               | LaserTechnik, R&D   |
| <b>24 .. 37 %</b> | <b>LHe-Kühlung (überwiegend MRI)</b>                          |

# Helium

Abnehmer: Fernost 34 %  
USA 33 %  
EU 16 %

## Verwendung kommerziell umgesetztes Helium



(V. Chrz, 2011)

# Helium

## Herkunft

He zweithäufigstes Element im gesamten Universum

Quelle: Wasserstoffbrennen bzw. Kernfusion,  $4 \times {}^1\text{H} \Rightarrow {}^4\text{He}$

Problem: auf der Erde äußerst selten

untere Atmosphärenschichten: **5,2 vpm**

Herkunft: natürliche radioaktive Zerfallsreihen

(Thorium-, Neptunium-, Uranium-, Aktiniumreihe)

Halbwertszeit Mutterkern:  $10^6 \dots 10^{10}$  Jahre!

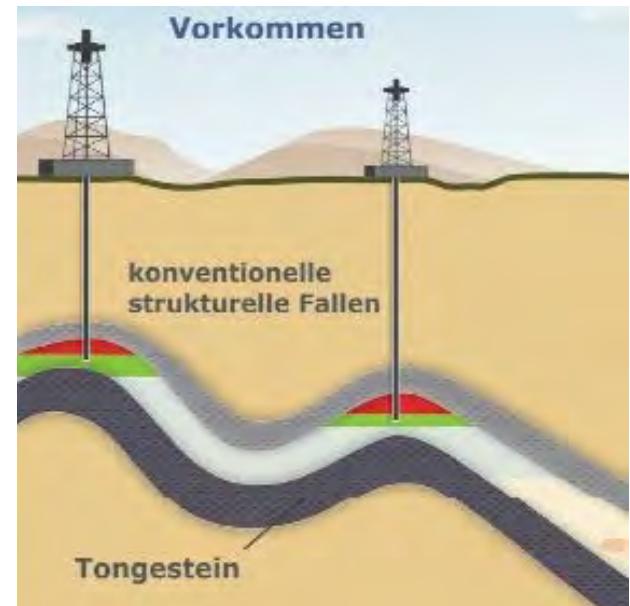
Zerfall über mehrere  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zerfälle

⇒ Bildung von  ${}^4\text{He}$ -Atomen

z.B.:  ${}_{92}\text{U} \rightarrow {}_{90}\text{Th} \rightarrow {}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}_{84}\text{Po} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}$

normalerweise Ausdiffusion und Verlust via Atmosphäre

Ausnahme: gasdichte geologische Formation  
(identisch mit Erdgaslagerstätten; “fossiles Helium”)



# Helium

## Lagerstätten

weltweit ca. 22 000 Gasproben analysiert

Rekord-Heliumgehalt: 6 .. 8 Vol-%  
günstigenfalls > 0,3 Vol-%  
oftmals 0,05 ... 0,1 Vol-%  
zumeist (auch shale gas): nur Spuren

### Abtrennung des Heliums bei der Erdgasförderung:

a) bei hoher He-Konzentration

(Bsp.: Kansas, Illinois, Wyoming)

b) falls Aufbereitung wegen hohem Inertgasanteil

(CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) sowieso erforderlich

(Bsp.: Odolanov/Polen; Orenburg/Ural)

c) falls Erdgas-Verflüssigung für Überseetransport

sowieso erforderlich (Bsp.: Algerien, Australien)

Holbrook basin, Arizona: 90 % N<sub>2</sub> + 8 % He

Doe Canyon, Colorado: CO<sub>2</sub> + He  
(Air Products , seit 2015)



derzeitige Heliumreserven

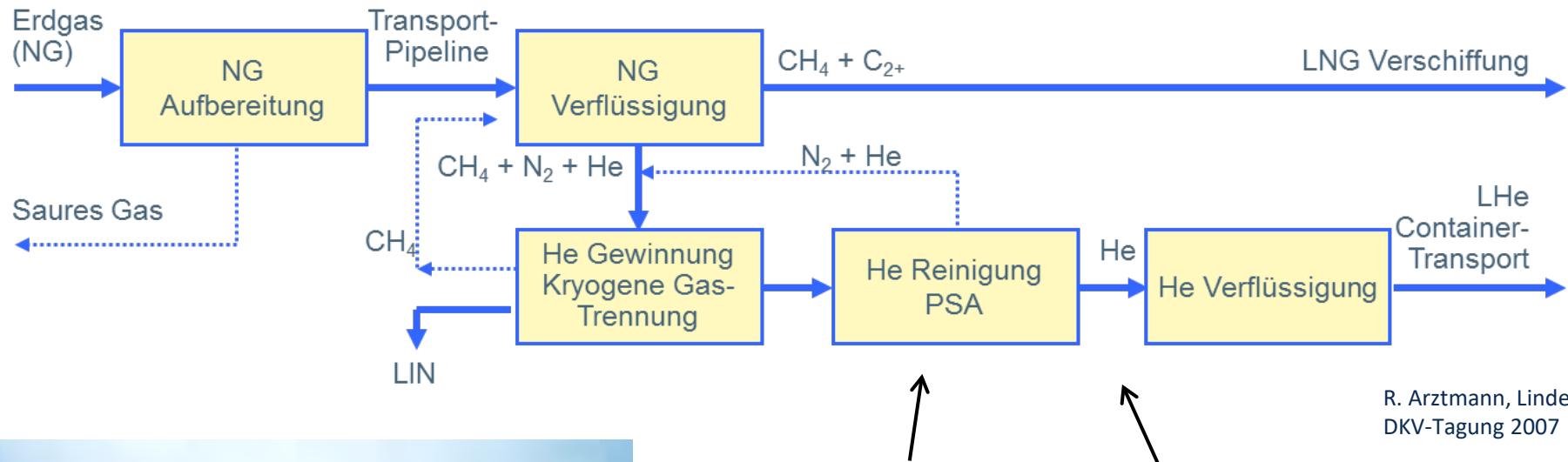
Nuttall et al.,  
NATURE, 2012

# Helium

## Gewinnung

Beispiel Skikda / Algerien: Hassi R'Mel – Erdgasfeld Sahara

$$4400 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \times 0.19 \% \text{ He} \approx 8 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \text{ Helium}$$



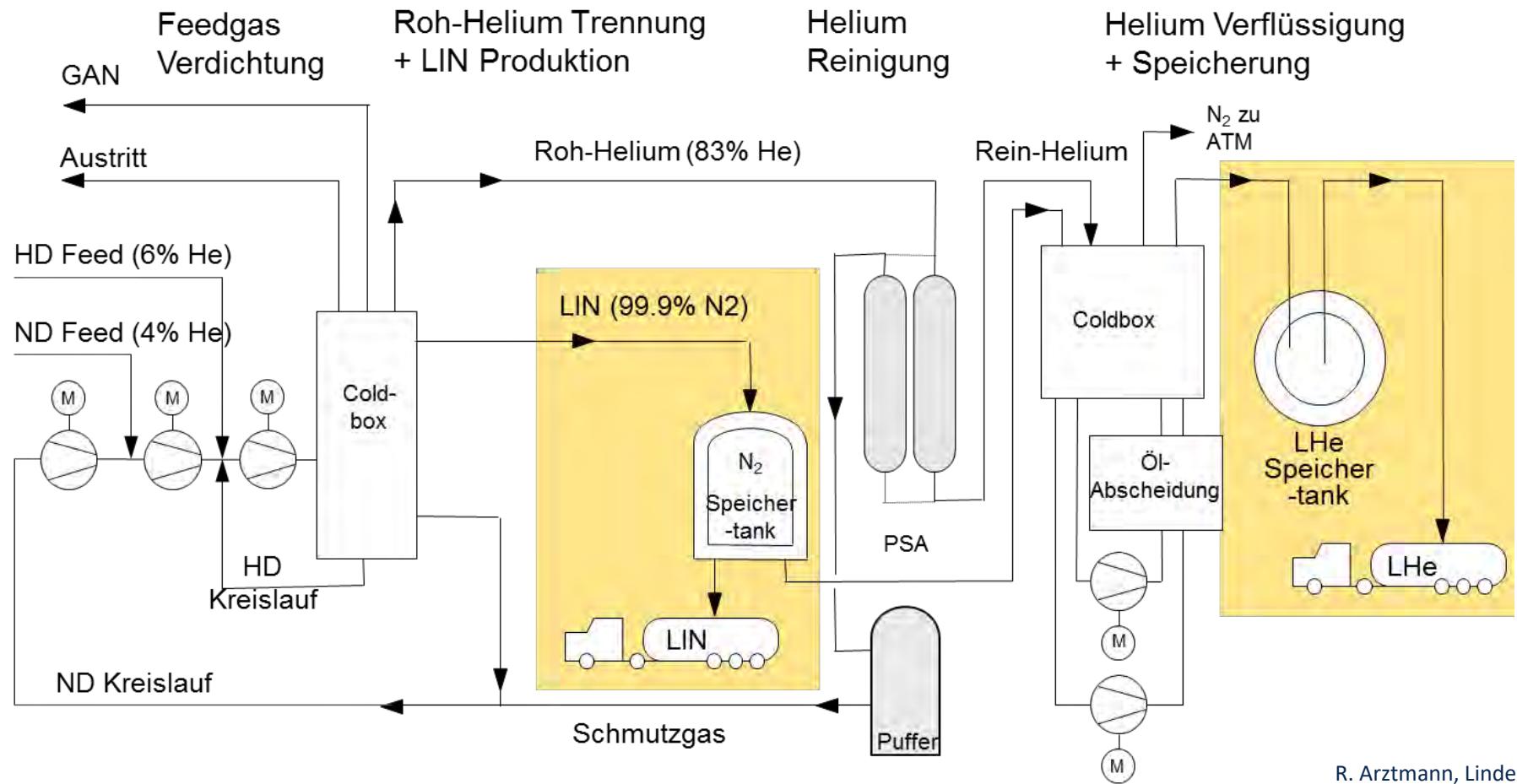
R. Arztmann, Linde  
DKV-Tagung 2007

He: 99,7 %  
Ne: 42 ppm  
H<sub>2</sub>: 2800 ppm ↡ !



# Helium

## Gewinnung

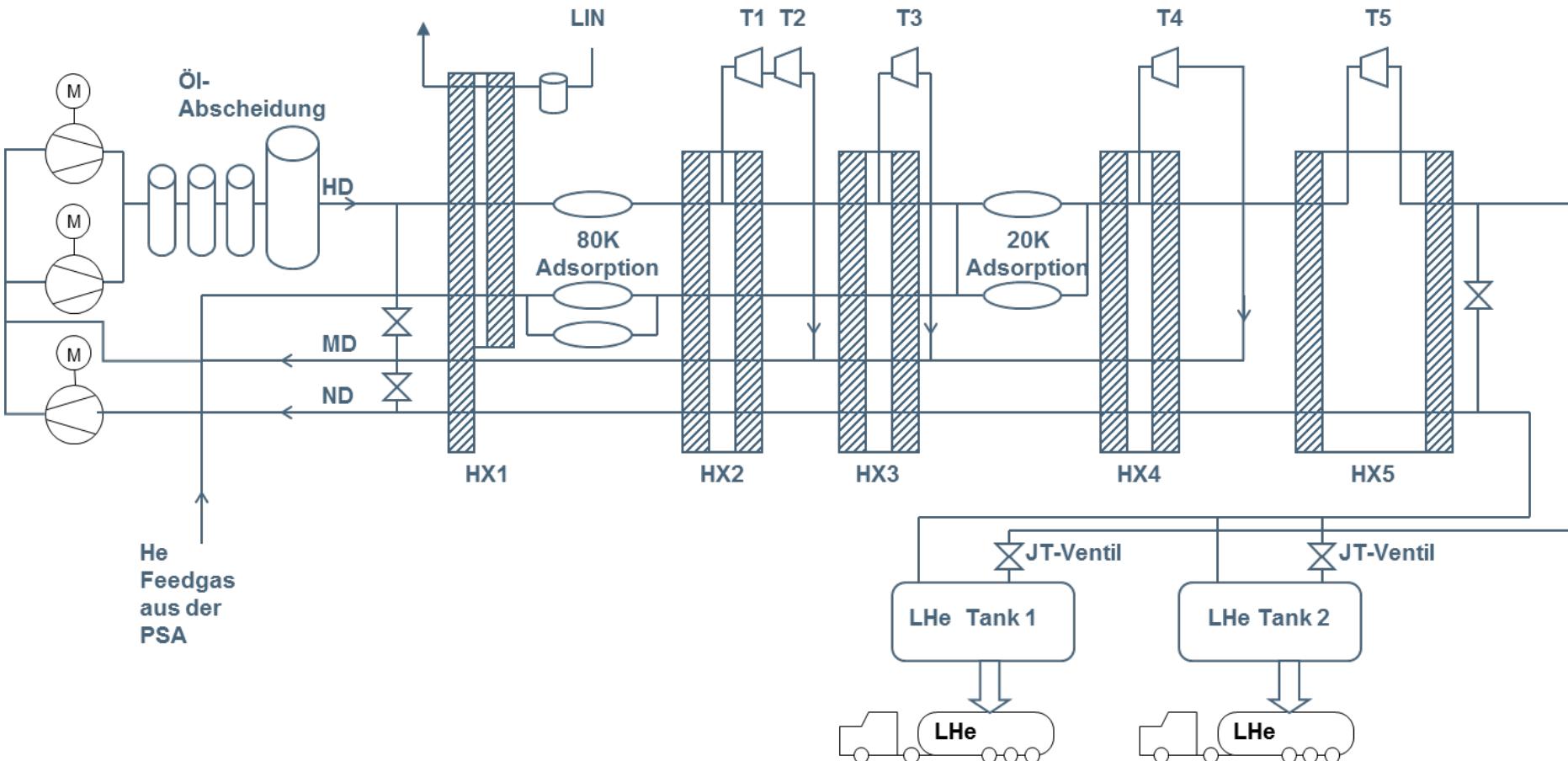


R. Arztmann, Linde  
DKV-Tagung 2007

Prozessschema Heliumanlage Skikda/Algerien

# Helium

## Gewinnung



R. Arztmann, Linde  
DKV-Tagung 2007

# Helium

R. Arzmann, Linde  
DKV-Tagung 2007



Heliumanlage Skikda/Algerien

# Helium

## LHe-Trailer; weltweiter Transport



Kapazität 11 000 gal (41 000 l LHe);  
max. 5,2 bar<sub>ü</sub>

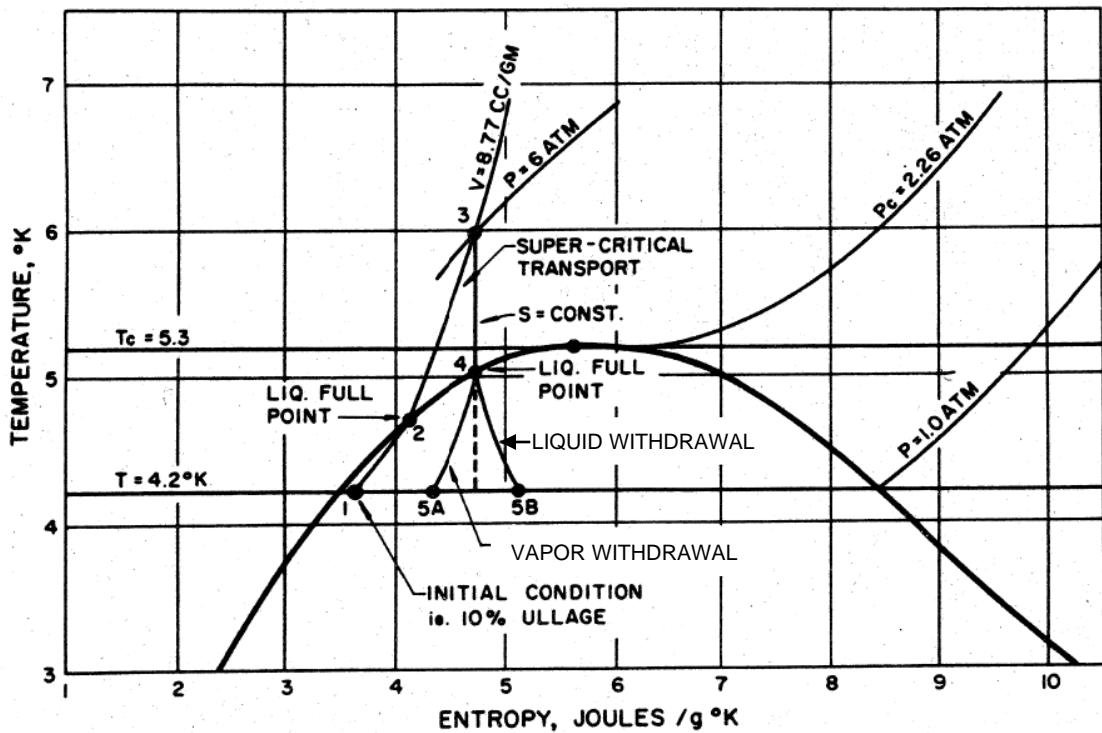
LN<sub>2</sub>-Schildkühlung

max. 45 Tage verlustloser Transport  
(He überkritisch !)

Entnahme am Zielort:

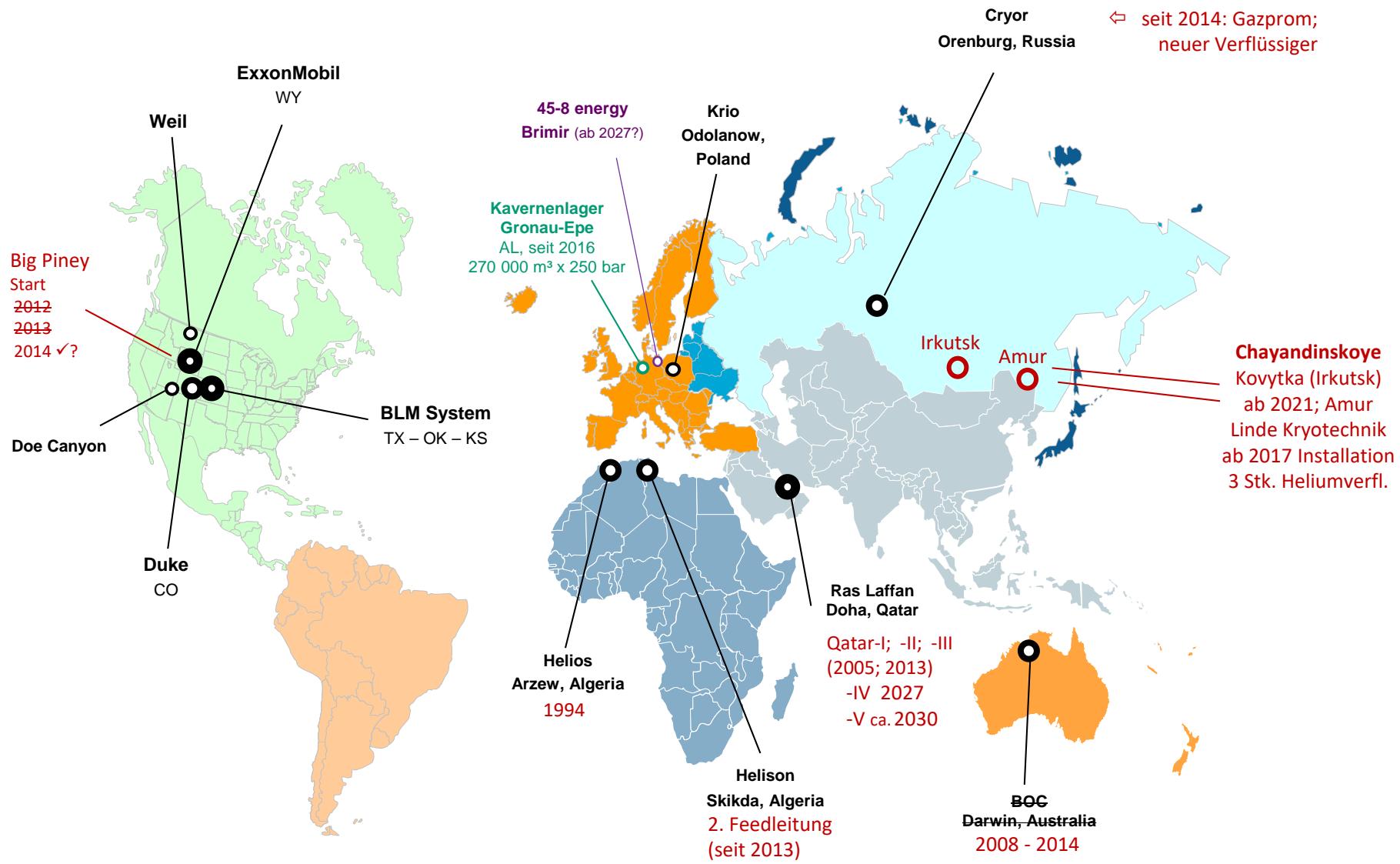
~ 50 % flüssig / 50 % gasf.

Van Meerbeke  
(1968)



# Helium

## Extraktionsstellen weltweit



## Heliumanlagen weltweit

die gesamte Heliumversorgung  
hängt an ca. 16 industriellen  
Verflüssigeranlagen!  
(80 %: BLM + ExxonMobil + Quatar)

LHe: just-in-time – Produkt

kaum zu lagern

unflexible Nachfrage

- ⇒ Ausgleich über Füllstand
- Überseecontainer
- MRI-Geräte
- (50 000 x 2000 l LHe)



Otis/Kansas	1966	880 l/h
Ulysses/Kansas	1973	1300 l/h
...		
Odolanov/Polen	1977	400 l/h
Orenburg/Russland	1980	500 l/h
Excell/Texas	1980	500 l/h
La Barge/Wyoming	1986	2 x 2600 l/h
Bushton/Kansas	1979	1400 l/h
...		
Qatar Ras Laffan-1	2005	~ 3000 l/h
Skikda/Algerien	2006	3300 l/h
Arzew/Algerien	1994	3000 l/h
Darwin/Australien	2008 - 2014	600 l/h

Problem: Umsatz Erdgasindustrie ca.  $10^{12}$  \$/Jahr

Umsatz Heliumindustrie ca.  $10^9$  \$/Jahr

⇒ Helium kleines Nebengeschäft; alle Entscheidungen von der Erdgasförderung bestimmt:

- jählicher Shut-down für Wartung im Sommer, ...
- Gasfeld-Erschließung bzw. Ausbeutung (wo / wann / wie schnell ...)

regelmäßiger Denkfehler:

Helium ist knapp / “fossiles” Heliumvorräte sind endlich

⇒ sparsamer Umgang als Lösung !?

aber: Erdgasförderung geht unvermindert weiter,

bereits jetzt

Heliumressourcen werden unverändert schnell verbraucht

ca. 50 % des Heliums  
im Erdgas belassen;  
gehen verloren !

# Helium

## Helumpolitik in den USA

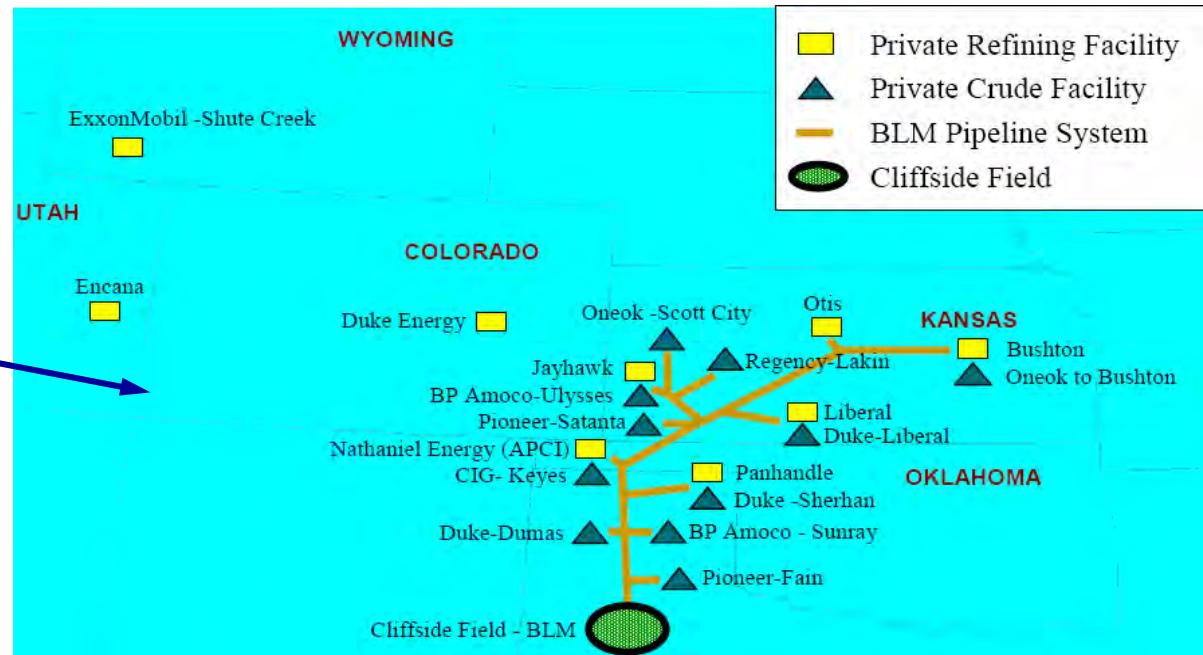
1905 H. Cady, Univ. Kansas (1,84 Vol-% He in Erdgasquelle)

- Kuriosität, nutzlos -

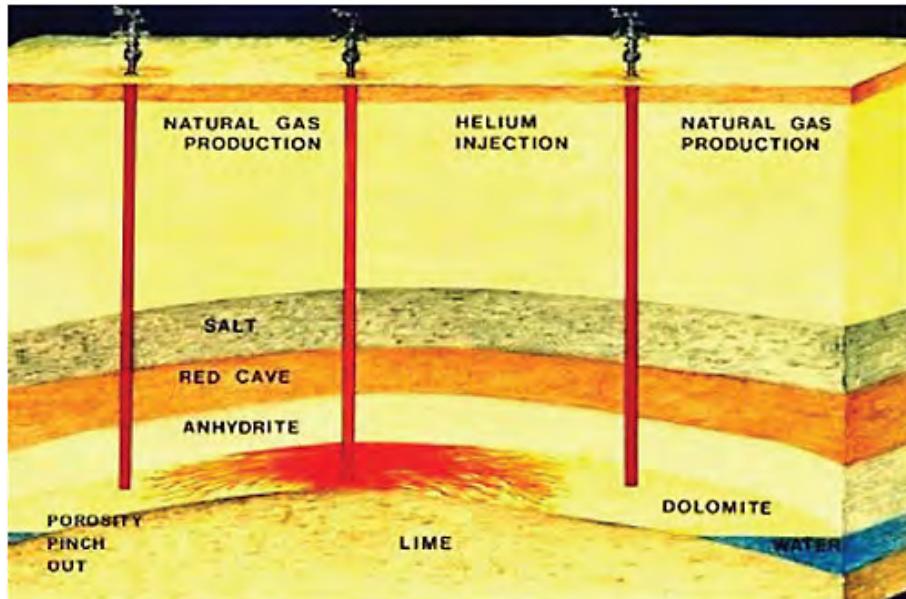
1917 als kriegswichtig eingestuft (militärische Zeppeline)

1925 Helium Act (ausschließlich staatl. Verwaltung)

1966 Helium Act Amendments (Cliffside-Speicherfeld + 685 km He-Pipeline)



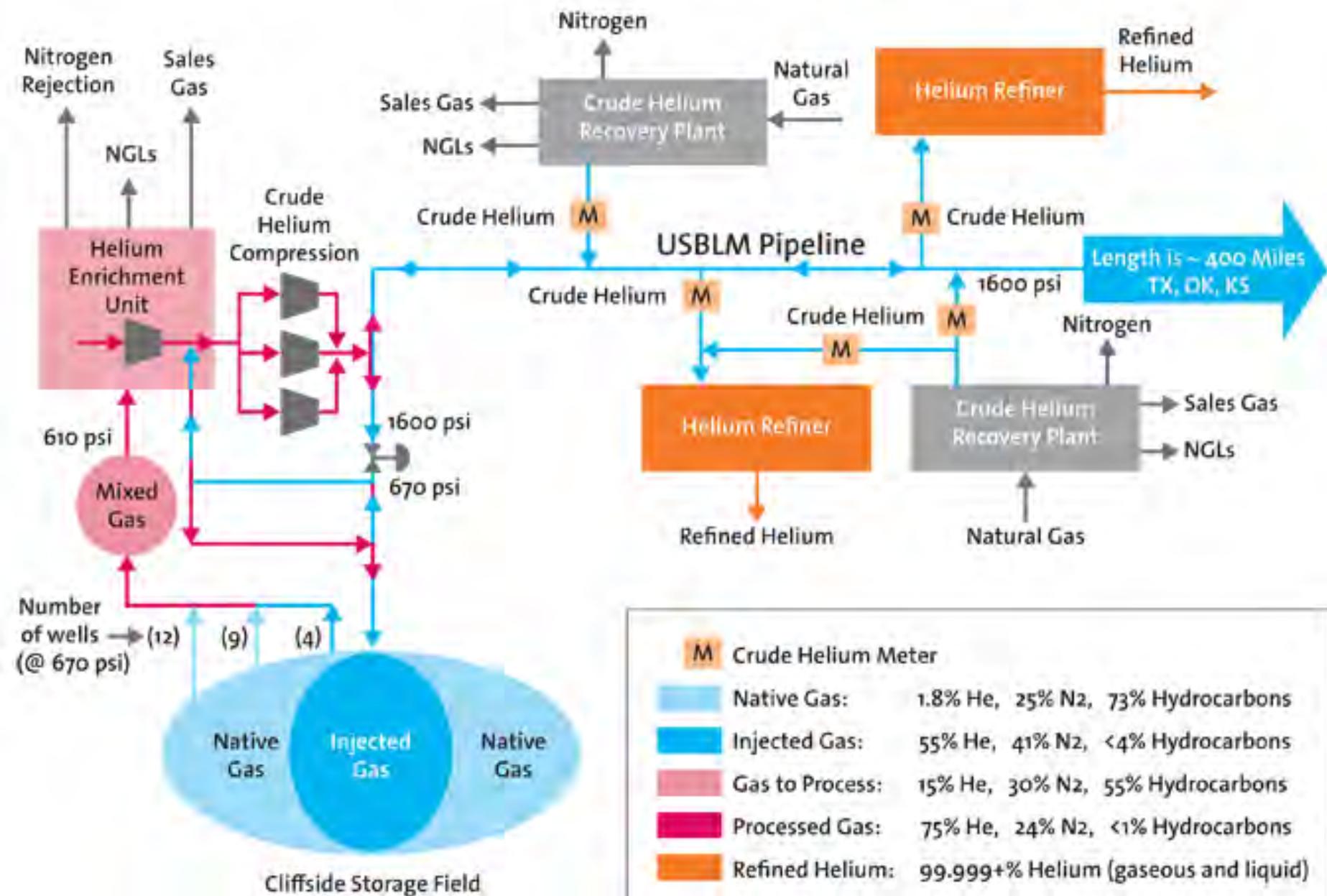
### Cliffside - Speicherfeld



Verwendung aufgelassenes Gasfeld als Zwischenspeicher für Rohhelium

⇒ Lösungsansatz für generelles Helium-Dilemma weltweit !?

# USBLM Helium Pipeline & Storage System



# Helium

## Heliumpolitik in den USA ff

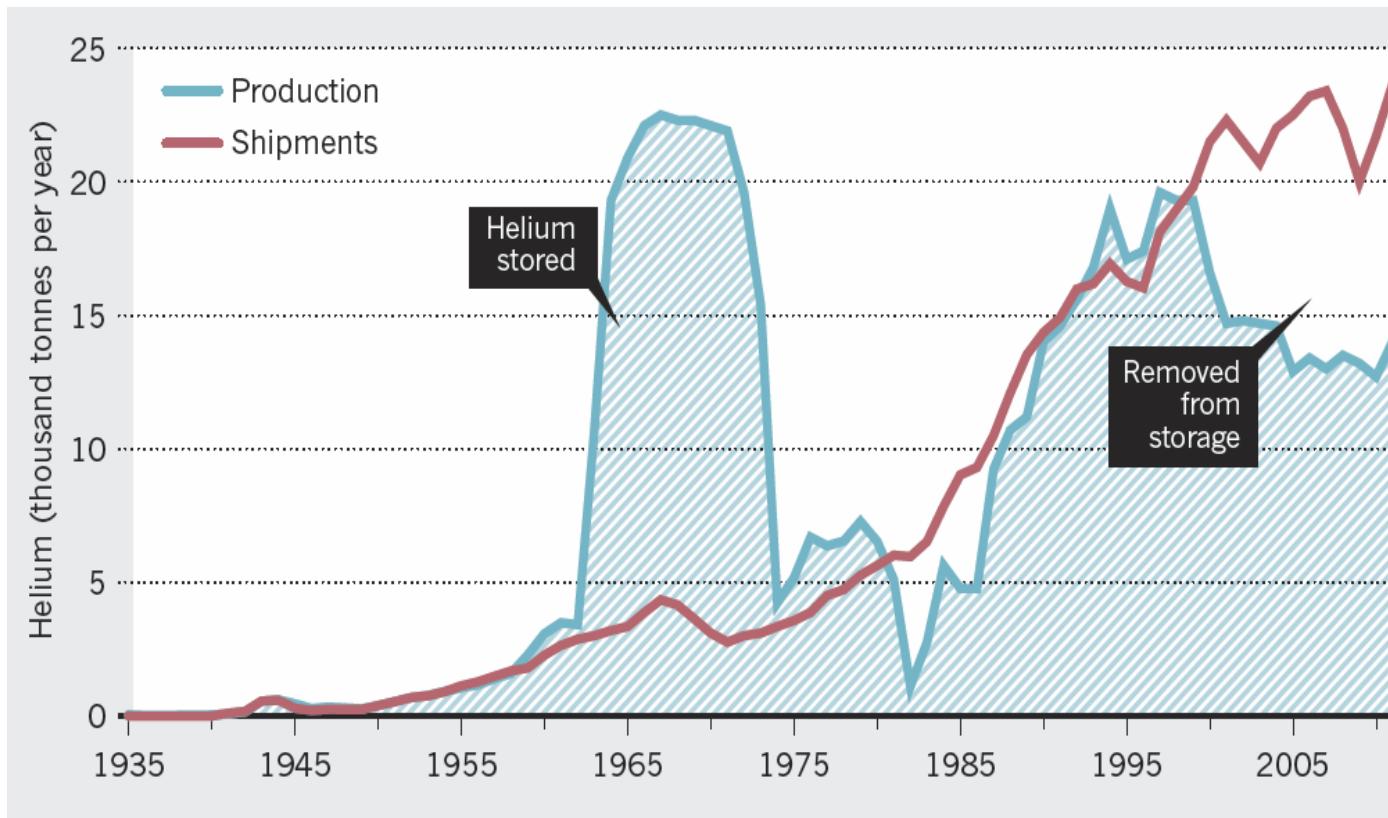
1973 Ankauf-Stopp (national helium reserve bereits auf  $10^9 \text{ m}^3$  angewachsen)

1996 Helium Privatization Act (geordneter He-Abverkauf bis 2015 bzw. bis He-Schulden getilgt)

**2013 Helium Stewardship Act (Abverkauf weiterführen; Anpassung Abgabepreis)**



Anf. Okt. 2013 in  
letzter Minute  
unterzeichnet



derzeit 1/3 der  
weltweiten He-  
Versorgung!

# Helium

## Heliumpolitik in den USA ff



parallel: neues Zeppelinprojekt US Army

Long-Endurance Multi-Intelligence Vehicle (LEMV),

7 t Nutzlast, max. 30 mph

für 2013 Afghanistan-Einsatz erwogen

⇒ nicht realisiert

### Zeppelin NT

Friedrichshafen

8450 m<sup>3</sup> Helium

6 Exemplare produziert  
für je 2 + 15 Personen

bis 2001: Kapazitätsüberschuss

- kontinuierlich steigende Nachfrage (+ 6,3 % / Jahr)



2001 – 2005: kurzzeitige Engpässe

- Konjunktureinbruch, stagnierende Nachfrage
- 19.1.2004 Explosion Dampfkessel Skikda



2006: Lieferproblem gesamter Spätherbst

- Nachfrage + 3 ... 5 % / Jahr
- Probleme beim Wiederanfahren nach Sommer-Revision
- Anlagenausfälle BLM-Pipeline
- Verzögerungen bei Neuanlagen (zumeist wegen Erdgas-Strecke)

2007 – 2009: Stabilisierung

- neue Anlagen am Netz (Skikda; Qatar-1)
- konjunkturbedingt leicht gedämpfte Nachfrage
- He-Sparmaßnahmen greifen

↳ Recycling; Ausweichstrategien

2009 – 2012: dramatische Unterversorgung

- sehr starke Nachfrage
- “slow steaming” Containerschiffe
- Verzögerungen bei Neuanlagen
- Arzew/Algerien: Probleme bei Wiederhochfahren nach Sommerrevision 2012
- Polen; Kansas: ergiebige Felder langsam erschöpft

2013 / 2014: gewisse Entspannung

- 2. Erdgas-Feed Skikda  $\Rightarrow$  mehr Rohhelium (+ 1500 l/h)  $\Leftarrow$  on-stream 2013
- Start Neuanlage Big Piney / WY (+ 1000 l/h)  $\Leftarrow$  on-stream 2014
- Start Qatar-2 (+ 1200 mmscf/yr  $\approx$  + 5500 l/h)  $\Leftarrow$  2013
- Helium Stewardship Act, deadline Anf. Okt. 2013  $\Leftarrow \checkmark$

seit 2014: erneut Überangebot

aber:

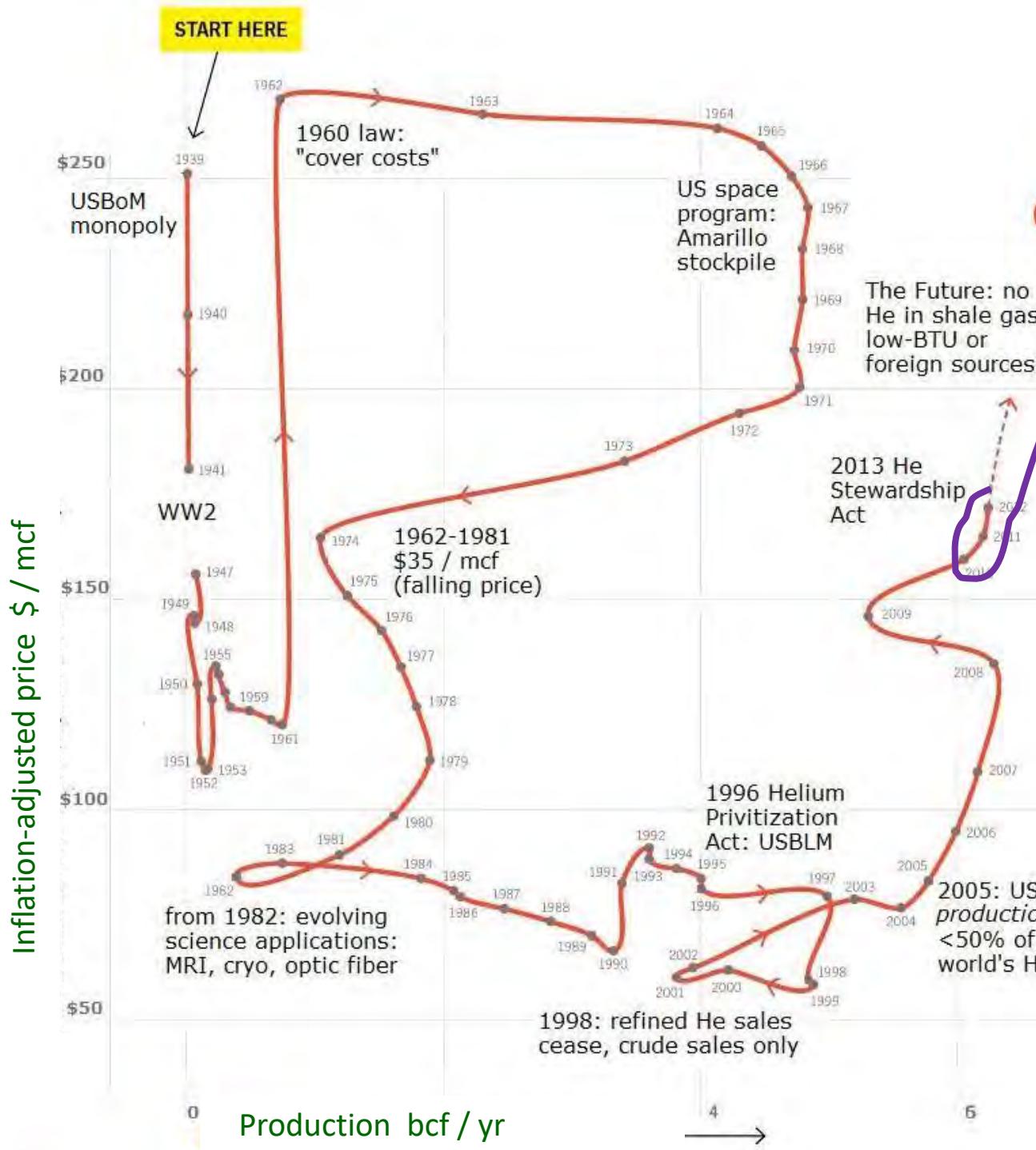
- hohes Preisniveau, z.T. unstete Versorgung
- erneut steigende Nachfrage (+3 % / Jahr)
- BML-Stopp Cliffside-Speicherfeld: 30.9.2021

2019: arge Engpässe, stark steigende Preise (Faktor 1,5 ...2,3)

2020: Nachfrageeinbruch wg. Covid-19  $\rightarrow$  He-Überangebot

2022/23: extreme Knaptheit weltweit, erneut extremer Preisanstieg!

**2025: (industrie-intern weltweit) He-Überangebot**



**Helium:**

**1 mcf =  $10^3$  cubic feet**  
**=  $28,3 \text{ m}^3 = 5,04 \text{ kg}$**

**1 bcf = 5037 Tonnen**

# Helium

## **Helium-Versorgungslage weltweit**

## Beispiel: Helium-Nachkaufpreis TU Dresden:

2005: 5 €/m<sup>3</sup> netto

2022: 15 €/m<sup>3</sup> netto

9/2023: 32 €/m<sup>3</sup> netto

Hamburg: 85 €/m<sup>3</sup> netto!

Effektivpreis ca.  
brutto ~ 30 €/l<sub>He</sub>

Ende

2025: 23 €/m<sup>3</sup> netto !?

→ Investitionen in  
He-Rückgewinnung,  
Heliumverflüssigung  
nach wie vor äußerst  
empfehlenswert!