



VAKUUMTEKNIK

Fredrik Arrhén

Januari 2022

RISE Research Institutes of Sweden

**SÄKERHET OCH TRANSPORT
MÄTTEKNIK**



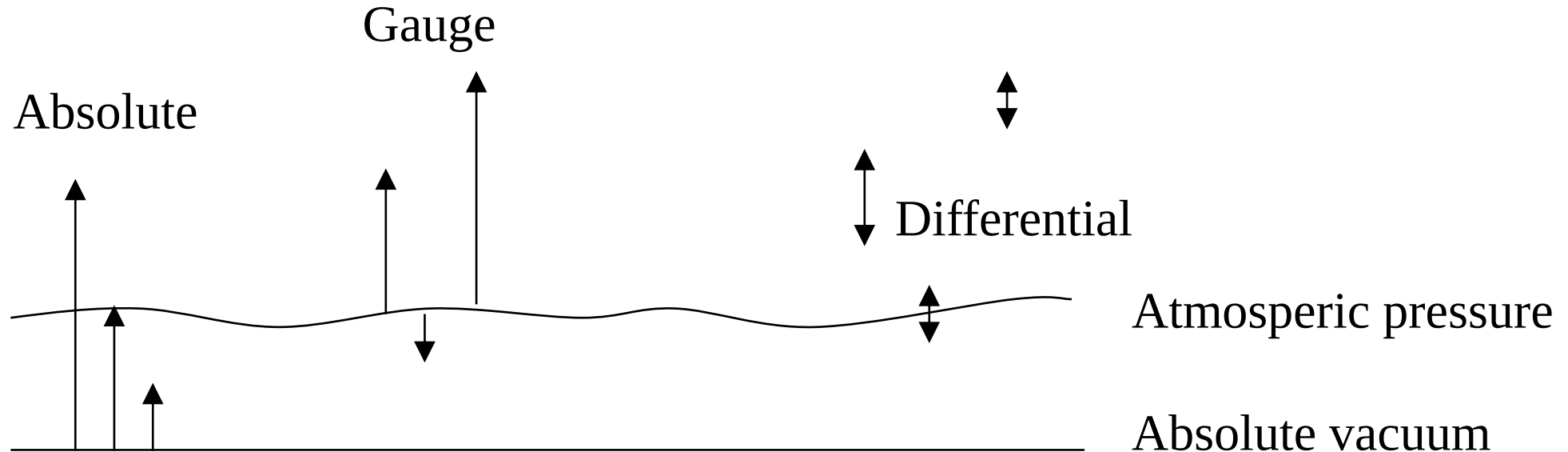
Introduktion

Absoluttryck: Tryck med referensnivån vid absolut vakuum

Gaugetryck: Tryck med referensnivån vid atmosfärstryck

Differentialtryck: Skillnad i tryck mellan två godtyckliga nivåer

Normal-atmosfärstryck är 1013 hPa



Tryckenheter

Pascal	Pa	1 Pa
Bar	bar	100 000 Pa
Hektopascal	hPa	100 Pa
Millibar	mbar	100 Pa
Millimeter Hg (Torr)	mmHg	133,322 Pa
millimeter Vp	mmVp	≈ 9,8 Pa
Normalatmosfär	atm	101 325 Pa
"kg per cm ² "	Kgf/cm ²	98 066,5 Pa

Vakuummområden

Trycknivå	Tryck (hPa)	Tryck [Pa]	Partikeldensitet (cm ⁻³)	Medelfri väg (m)
Atmosfärstryck	1,013.25	101,325	$2.7 \cdot 10^{19}$	$6.8 \cdot 10^{-8}$
Lågvakuum (LV)	300...1	30 000...100	$10^{19} \dots 10^{16}$	$10^{-8} \dots 10^{-4}$
Medelvakuum (MV)	$1 \dots 10^{-3}$	$100 \dots 10^{-1}$	$10^{16} \dots 10^{13}$	$10^{-4} \dots 10^{-1}$
Högvakuum (HV)	$10^{-3} \dots 10^{-7}$	$10^{-1} \dots 10^{-5}$	$10^{13} \dots 10^9$	$10^{-1} \dots 10^3$
Ultrahögt vakuum (UHV)	$10^{-7} \dots 10^{-12}$	$10^{-5} \dots 10^{-10}$	$10^9 \dots 10^4$	$10^3 \dots 10^8$
Extremt högt vakuum (XHV)	$<10^{-12}$	$<10^{-10}$	$<10^4$	$>10^8$

Ideal gas

En ideal gas har vissa egenskaper som inte finns i verkliga gaser:

- En mycket stor mängd molekyler som rör sig slumpmässigt med olika hastighet och i olika riktningar.
- Den totala volymen av molekylerna är mycket liten jämfört med den totala volymen av gasen.
- Molekylerna interagerar bara med varandra vid rena kollisioner. Den fungerar sedan som elastiska bollar.

Ideala gaslagar är ganska lätta att använda och fungerar som grova uppskattningar för gasbeteende

Ideala gaslagen

Absoluttryck $\rightarrow$ $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ $\leftarrow$ Absolut temperatur

Substansmängd $\rightarrow$ n

Volym $\rightarrow$ V

Universella gaskonstanten $R = 8.314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$ $\rightarrow$ R

Alternativ version:

Total massa $\rightarrow$ $p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$

Molmassa $\rightarrow$ M

Verkliga gaser

Verkliga gaser avviker från det ideala gasbeteendet på vissa sätt:

- Molekylernas totala volym är inte obetydlig jämfört med den totala volymen
- Molekylerna interagerar inte bara i direkta kollisioner

Dessa avvikelser från det ideala gasbeteendet korrigeras genom användningen av "virala koefficienter" i gaslagarna.

Partialtryck

Det totala trycket är summan av partialtrycken för alla ingående gaskomponenter

$$p_{total} = \sum p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

Partialtryck i luft

Gas	Partialtryck (Pa)	Partialtryck (hPa)	Volym (%)
Kvävgas, N ₂	79,1 * 10 ³	791	78
Syre, O ₂	21,2 * 10 ³	212	21
Argon, Ar	960	9,6	0,9
Koldioxid, CO ₂	40	0,4	0,04
Neon, Ne	1,9	1,9 * 10 ⁻²	
Helium, He	0,5	5,0 * 10 ⁻³	
Krypton, Kr	0,101	10,1 * 10 ⁻⁴	
Vätgas, H ₂	0,05	5,0 * 10 ⁻⁴	
Xenon, Xe	0,009	9,0 * 10 ⁻⁵	

Vakuummområden

Trycknivå	Tryck (hPa)	Tryck [Pa]	Partikeldensitet (cm ⁻³)	Medelfri väg (m)
Atmosfärstryck	1,013.25	101,325	$2.7 \cdot 10^{19}$	$6.8 \cdot 10^{-8}$
Lågvakuum (LV)	300...1	30,000...100	$10^{19} \dots 10^{16}$	$10^{-8} \dots 10^{-4}$
Medelvakuum (MV)	$1 \dots 10^{-3}$	$100 \dots 10^{-1}$	$10^{16} \dots 10^{13}$	$10^{-4} \dots 10^{-1}$
Högvakuum (HV)	$10^{-3} \dots 10^{-7}$	$10^{-1} \dots 10^{-5}$	$10^{13} \dots 10^9$	$10^{-1} \dots 10^3$
Ultrahögt vakuum (UHV)	$10^{-7} \dots 10^{-12}$	$10^{-5} \dots 10^{-10}$	$10^9 \dots 10^4$	$10^3 \dots 10^8$
Extremt högt vakuum (XHV)	$<10^{-12}$	$<10^{-10}$	$<10^4$	$>10^8$

Vakuummområden

- Lågvakuum:** Den medelfria vägen är mycket mindre än dimensionerna i volymerna. De flesta kollisioner är mellan gaspartiklar. Gasen beter sig som ett normal medium.
- Högvakuum:** Den medelfria vägen är mycket större än dimensionerna i volymerna. De flesta kollisionerna sker med väggarna medan kollisioner mellan gasmolekyler är försumbara. Normala gaslagar gäller inte. Gasen beter sig som partiklar.
- Medelvakuum:** Den medelfria vägen är i samma storleksordning som volymernas dimensioner. Gasen beter sig vare sig som ett normal medium eller som partiklar utan någonting mitt emellan. Speciella metoder krävs för att beräkna flöden.

Vikten av rena vakuumkomponenter

Ett exempel på varför det är viktigt att tvätta vakuumkomponenterna

Lite antaganden:

- Ett fingeravtryck väger cirka 1 mg
- Materialet (fettet) har en molmassa nära CO_2 , 1.6 kg/m³ vid 100 kPa och 0°C

I en volym på 10 liter ger detta ett tryck på cirka 6 Pa!





Robert Boyle f. 1627

Gaslast

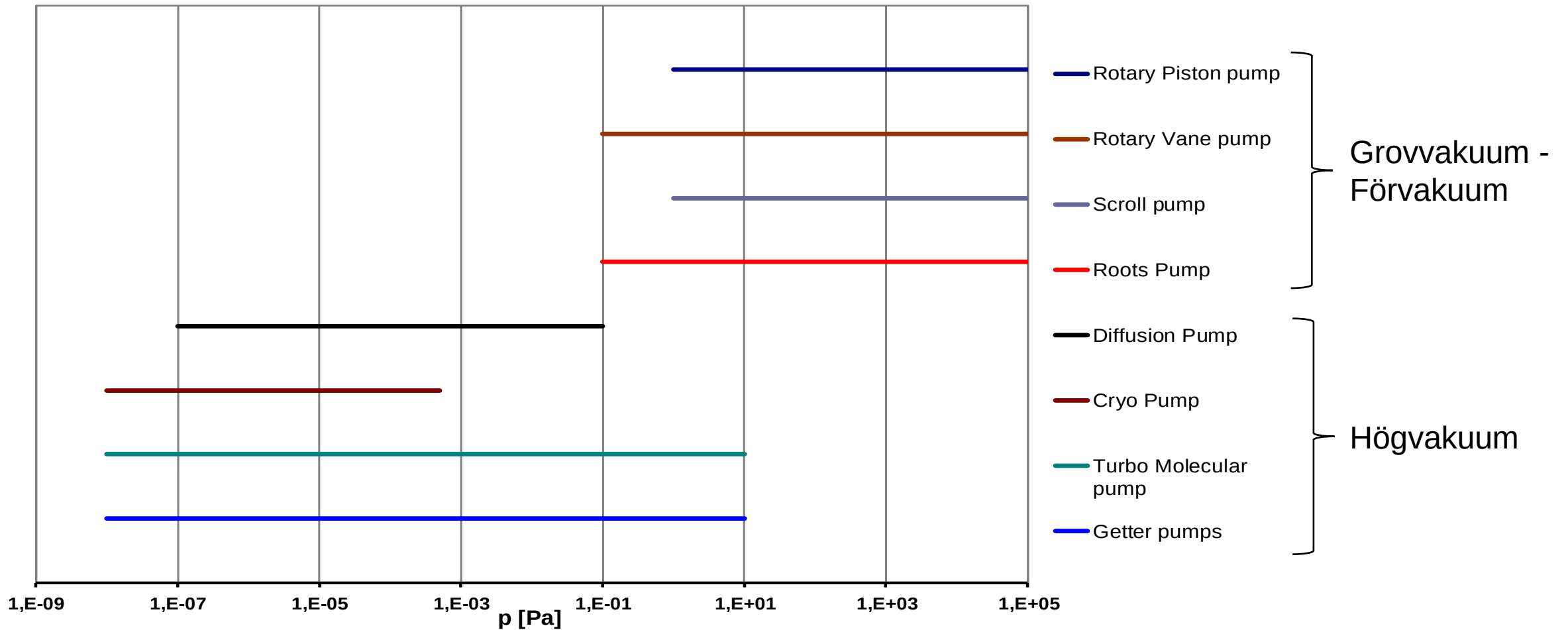
Den gasblandning vi har i ett kärl kallas gaslast ($Q = P \cdot V$).

Gaslasten beror på:

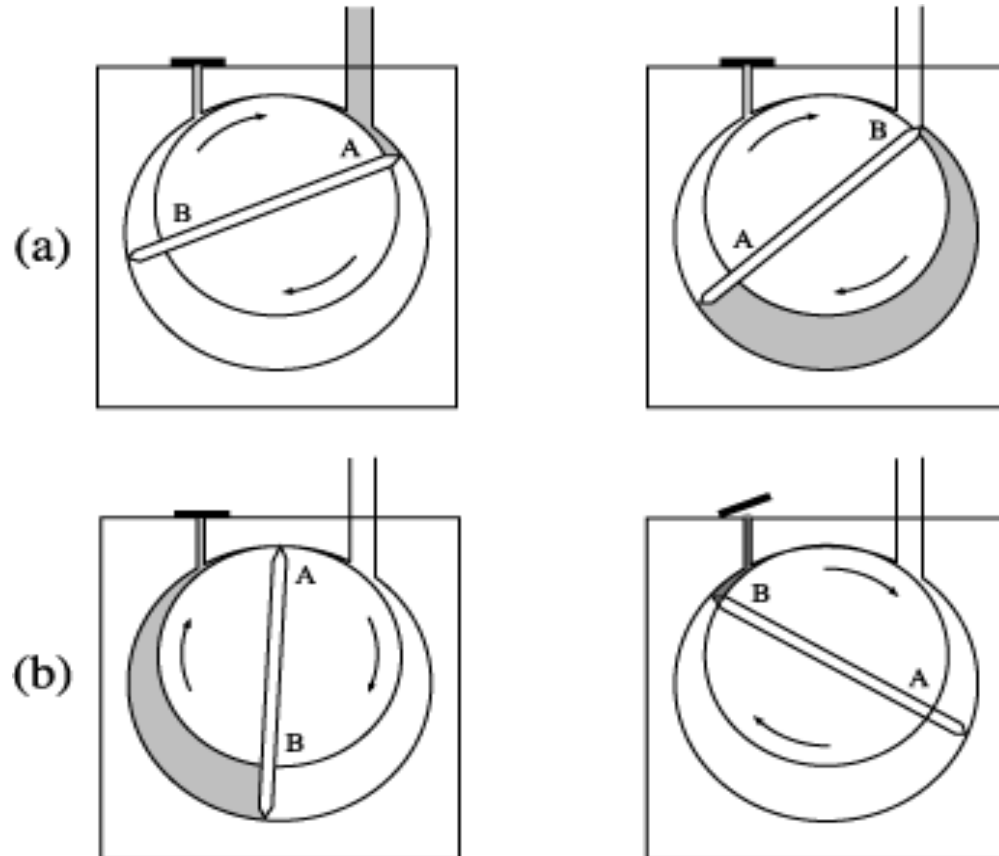
- Urgasning ur vakuumsystemet
- Urgasning ur material
- Läckor
- Pumphastighet

För att nå lämpligt vacuum måste ju gaslasten pumpas ut

Vakuumpumpar



Rotary vane pump



- Pumpar ned till $\sim 0,1$ Pa
- Oljesmorda
- Oljetätade
- Effektiva
- Vanliga
- Robust
- Risk för oljekontaminering

[Animation](#)

Rootspump

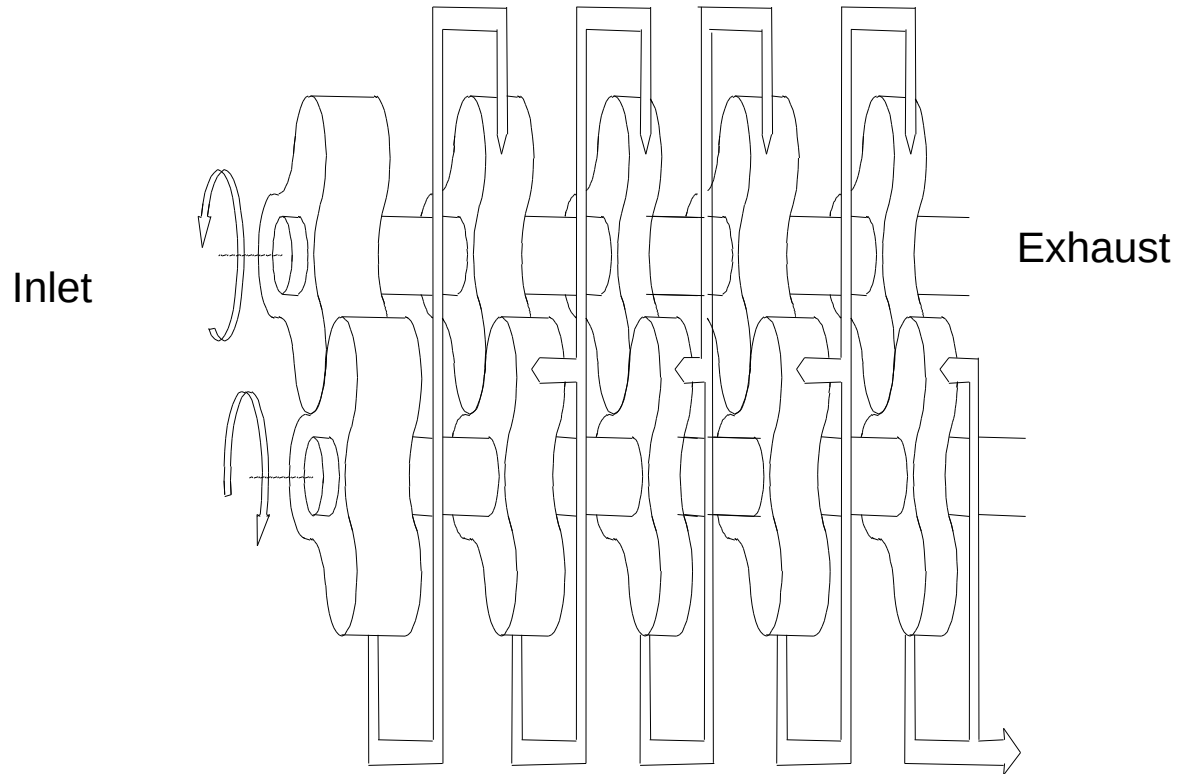
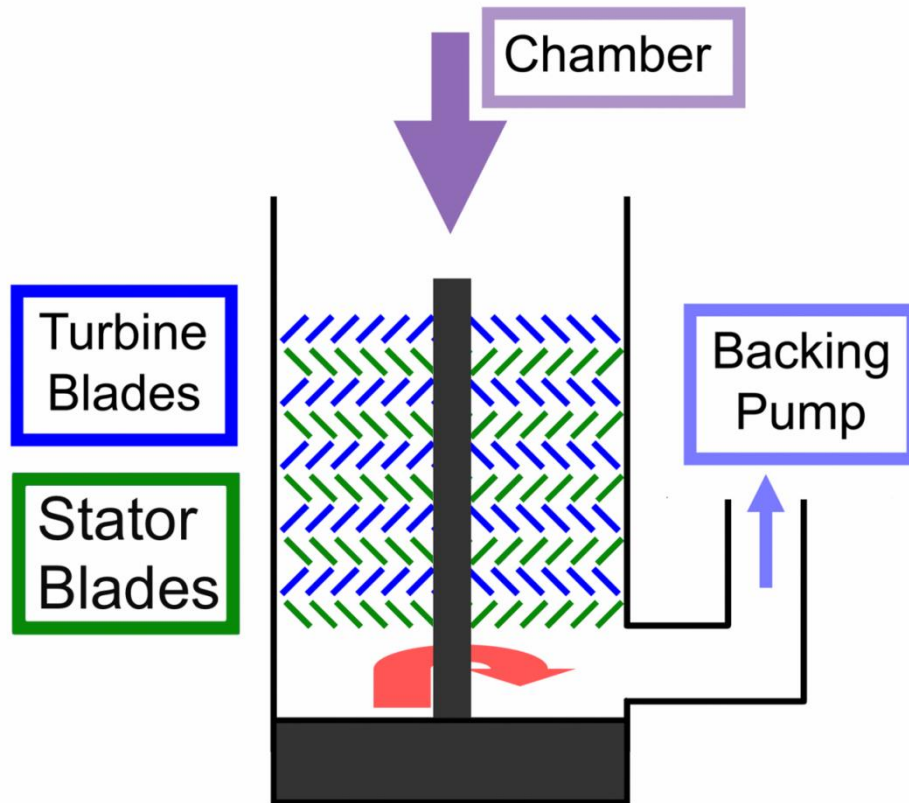


Bild från Alcatel

- Ned till ~ 1 Pa
- Torr pump
- Gammal princip men mycket förbättrad de senaste tio åren
- Kräver många pumpsteg för högt vakuum

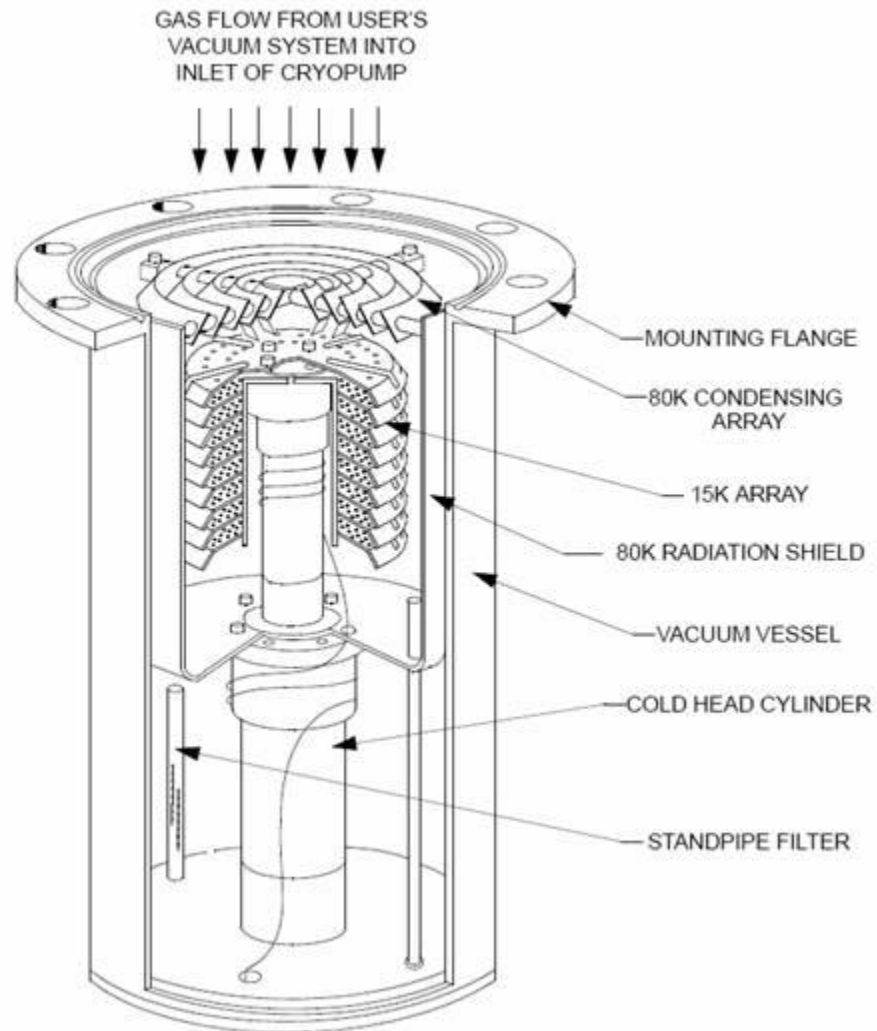
[ROOTS pump animering](#)

Turbomolekylar pump (turbopump)



- Ned till 10^{-9} Pa
- Väldigt effektiv
- Olika pumphastighet för olika gaser
- Oljasmord lagring eller magnetlagring
- Kräver förvakuumpump!

Kryopump

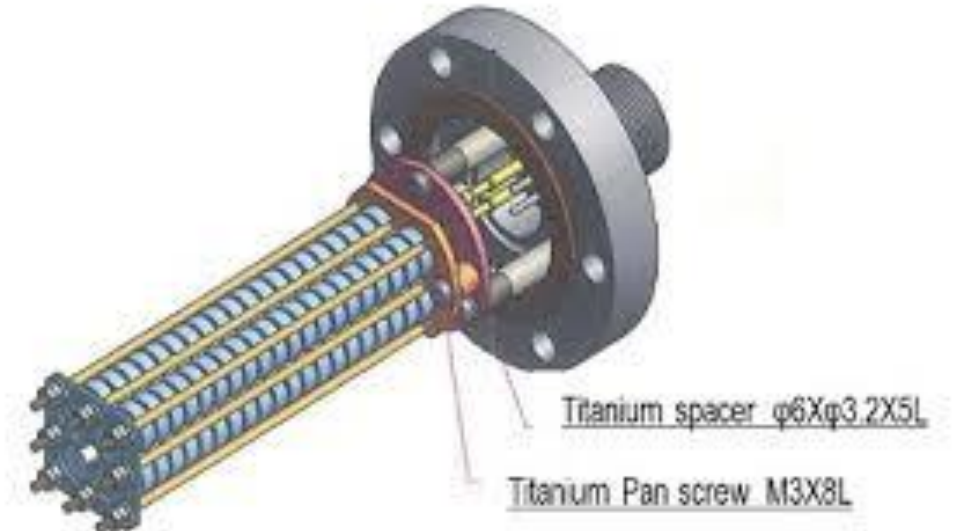


- Kyler/Fryser gasen
- Gasberoende pumphastighet
- Hög pumphastighet
- Inte för kontinuerligt bruk
- Måste reageras



Getterpump

- Binder gasen to en “getter”-yta
- Extremt stor yta
- Konstant pumphastighet i HV- och UHV-området
- Väldigt bra för vätgas och dess isotopes
- Vibrationsfri
- Kräver regeneration
- Kan kombineras med turbo-pumpar



Flänsar - krav

Flänsar är icke-permanenta skarvar i vakuumsystemet

De måste:

- Vara lätta (eller möjliga) att montera och demontera
- Ha minimalt läckage i arbetsområdet
- Kunna bära viss mekanisk belastning
- Vara standardiserade
- Ha maximal konduktans

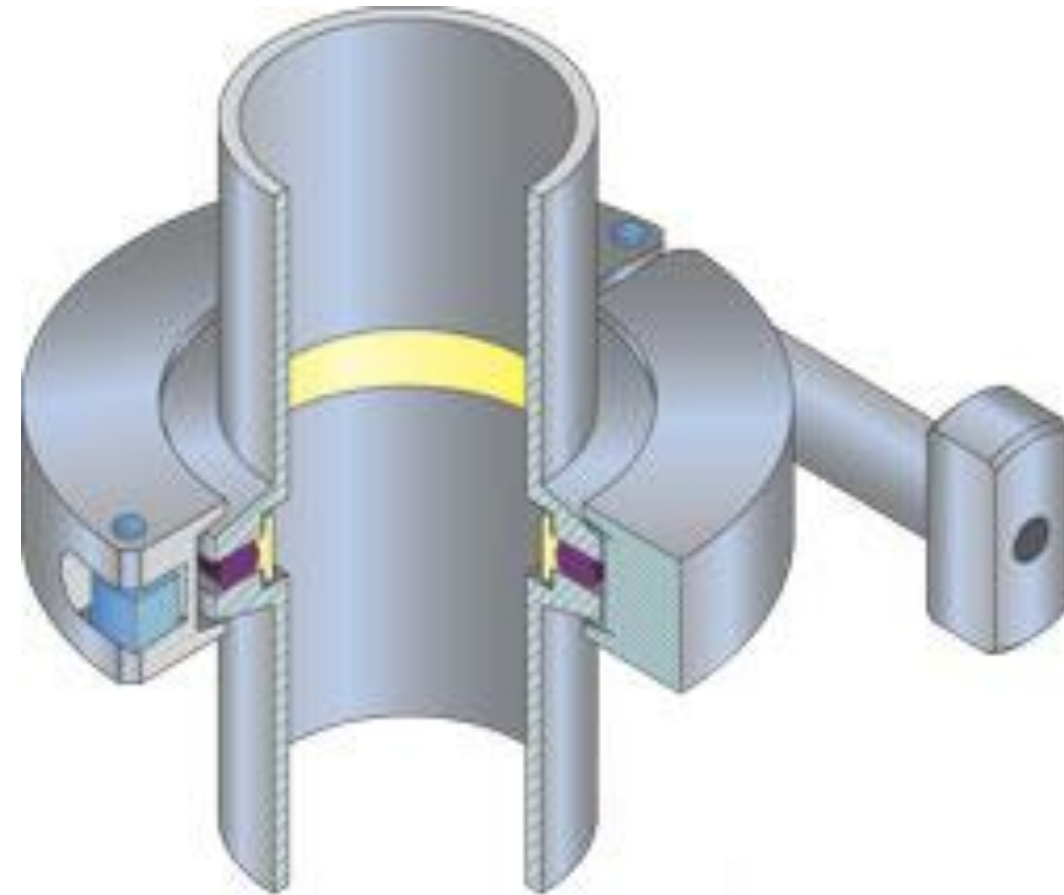
Olika typer av flänsar

Tre standardiserade varianter:

- KF (Klein Flansche)
- ISO (Stor ISO, ISO-K och ISO-F)
- CF (ConFlat)

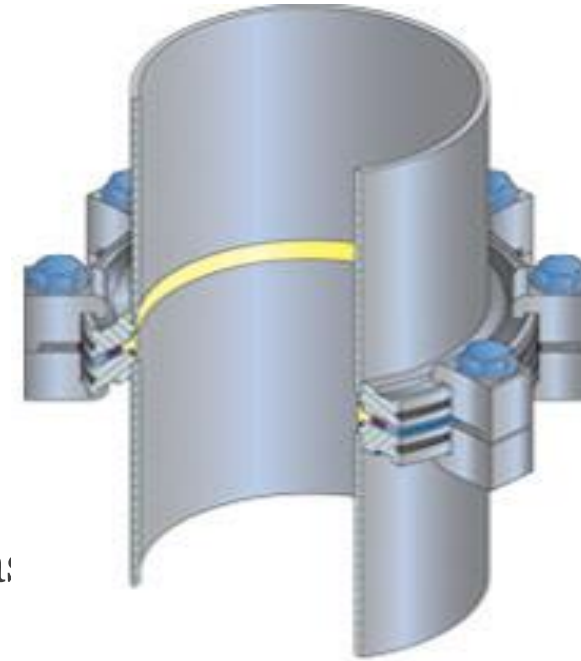
KF-flänsar ("Klein Flanche")

- KF is O-ringstättade flänsar med klämring
- Storlekar från 10 till 50 mm innerdiameter
- Kan bära viss vikt, i första hand endast rörsystemet
- O-ringen är monterad på en centreringsring för extra stöd
- Användbara ned till HV och temperaturer mellan 0°C och 100-180°C beroende på material i O-ringen.
- Snabb och enkel att använda

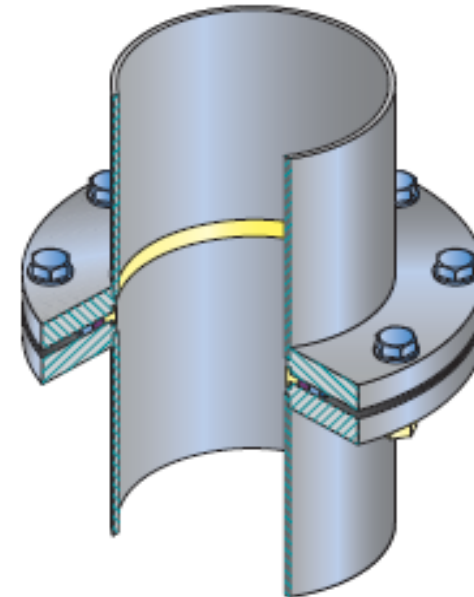


ISO-flänsar

- O-ringstättat även dessa.
- Dimensioner mellan 63 och 630 mm innerdiameter
- O-ringen monterad mellan två centreringsringar.
- Kan ta högre mekaniska laster än KF
- Flänsarna kan antingen klämmas ihop (ISO-K) eller skruvas ihop (ISO-F)
- Det går att kombinera dessa med "Halvklämmor".
- Användbara ned till HV och temperaturer mellan 0°C och 100-180°C beroende på material i O-ringen.
- Vanlig till montering av turbopumpar



ISO-K



ISO-F

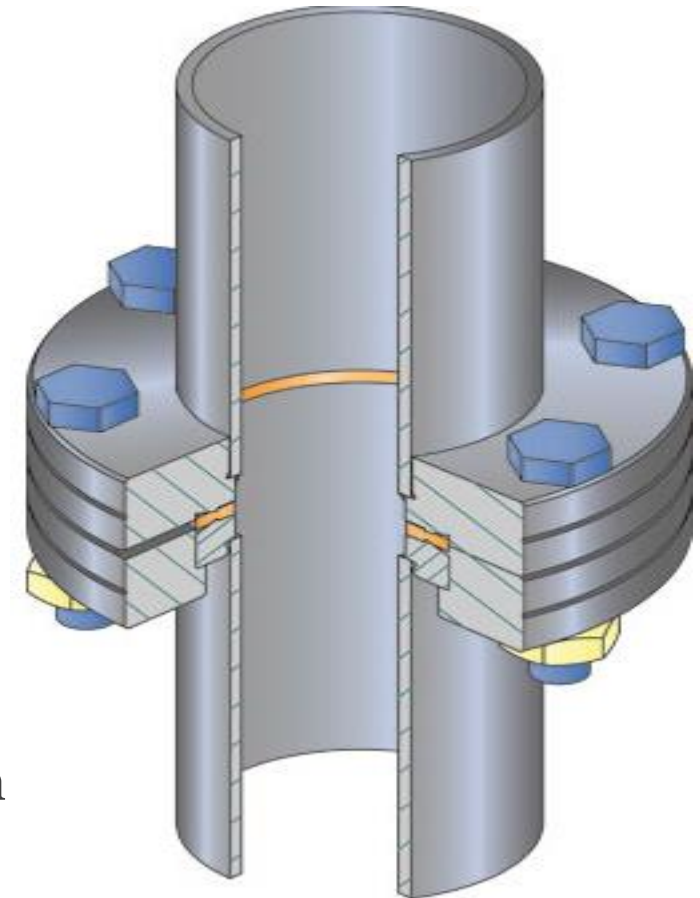
O-ringar - material

Både KF, ISO-K och ISO-F är begränsade i vakuumområde av materialet i O-ringen

- Nitrilgummi (buna-N): billigt, maximal temperatur $\sim 100^{\circ}\text{C}$, hög permeabilitet för vatten, inte lämpligt i syrgasprocesser, kort livslängd
 - Fluorocarbon (viton); väldigt vanlig, maximal temperatur $\sim 180^{\circ}\text{C}$ till 200°C , relativt låg permeabilitet utom för helium, lång livslängd.
 - Perfluorocarbon (Kalrez, Chemraz), bästa högtemperturegenskaperna, up till 250°C , annars likvärdigt med fluorocarbon
- Användning av vakuumfett för extra tätning är debatterat!

CF-flänsar (ConFlat)

- Har metallisk tätning som kläms mellan två kniveggar, en i varje fläns.
- Finns i storlekar mellan 16 och 250 mm innerdiameter.
- Tätringen är oftast av koppar vilken kan vara silverbelagt för högttemperaturanvändning
- Kläms ihop direkt mellan flänshalvorna
- Finns med både fast och fritt roterande flänsring
- Tätringen är för engångsbruk
- Användbar i vakuum upp till $\sim 10^{-11}$ Pa och temperaturer mellan -196°C och 450°C .
- Speciell hänsyn ska tas till skruvarna vid extrema temperaturer (förlödning mm)



Adaptrar

- Givetvis kommer du alltid att ha "fel" fläns på ditt system.
- Det finns ett stort utbud av övergångar mellan olika storlekar och typer av flänsar.
- Överst en övergång mellan CF16 till 'Cajun VCR', en vanlig koppling på vissa typer av givare och i gasanalys- och gasinjektions-system
- ... och under, en adapter mellan KF16 och NPT-gänga.



Standardierade dimensioner

- De flesta komponenter har standardiserade dimensioner vilket gör dem lätt utbytbara och modifierbara
- Till exempel kan en 90° vinkel enkelt ersättas med en T-koppling och ge ytterligare en anslutning vid senare tillfälle om så behövs.



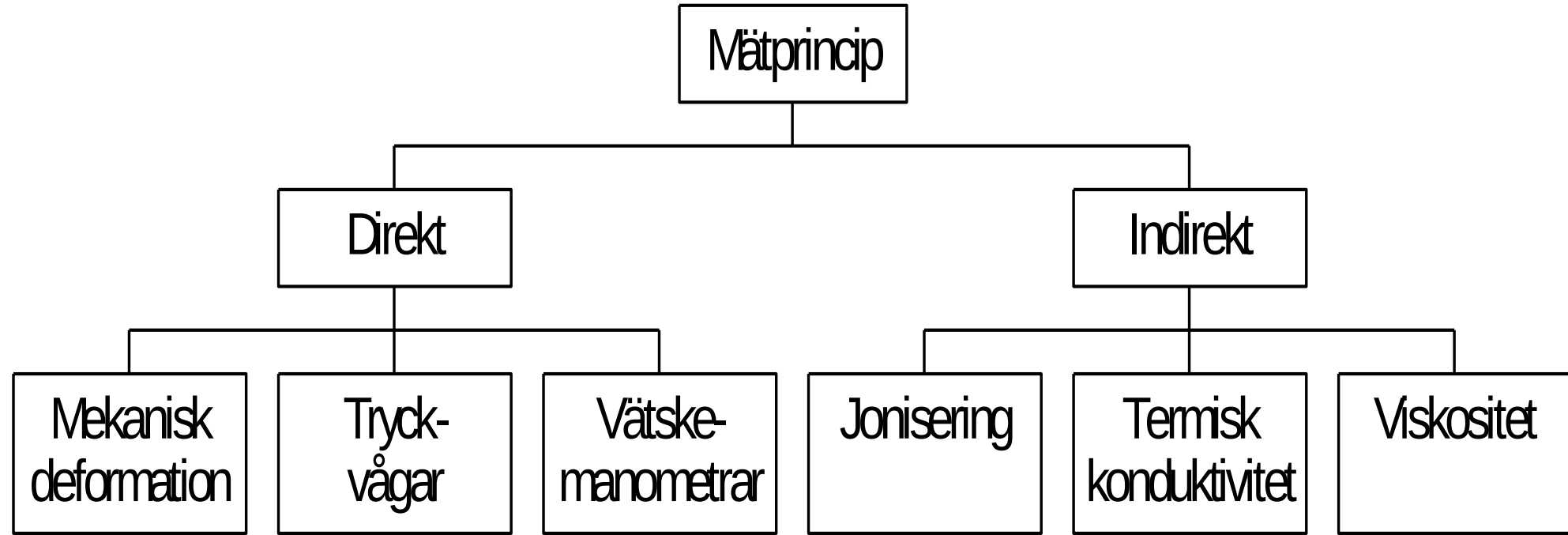
När standardkomponenterna inte passar

- Det finns flexibla komponenter när de vanliga storlekarna inte passar
- ... eller när vibrationsdämpning behövs

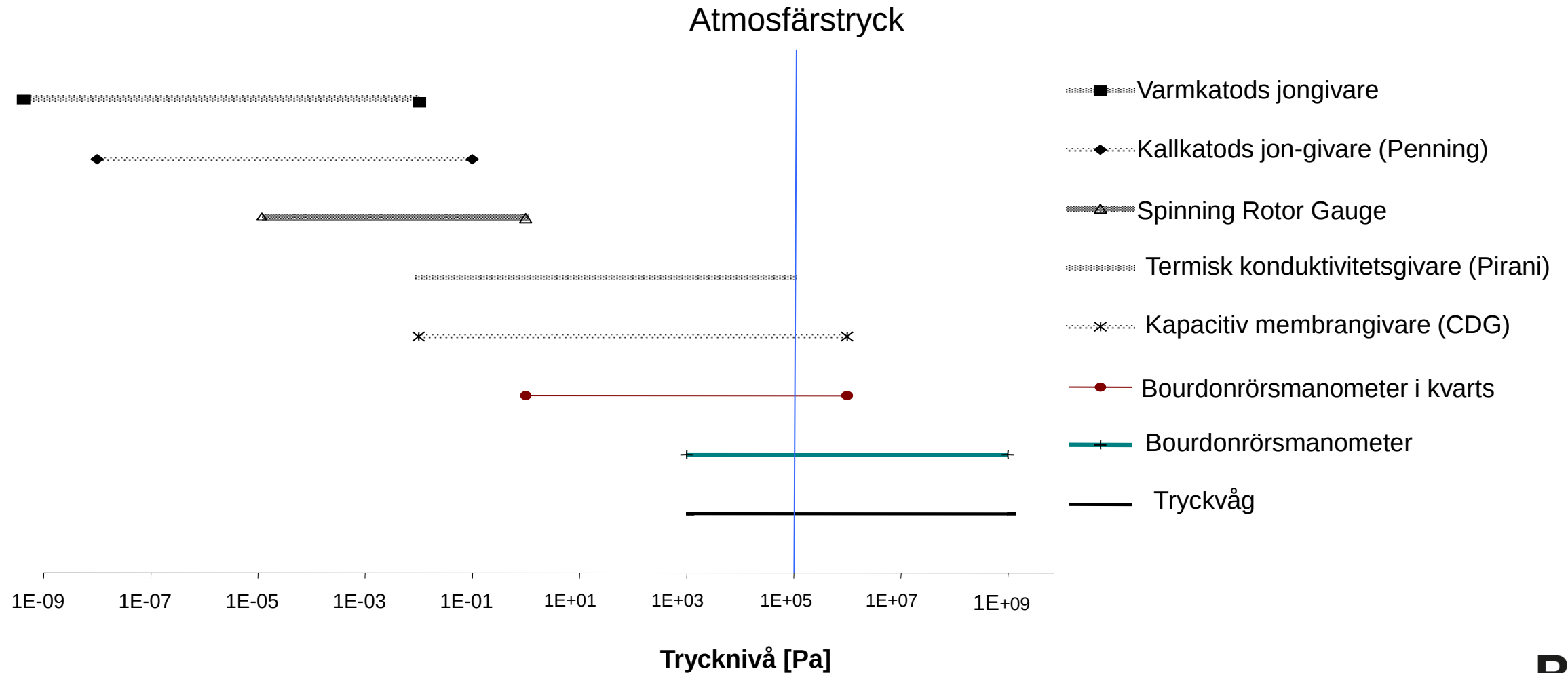


Ock så finns det ju "Special"

Att mäta vakuum



Mätområden för olika vaguumgivare

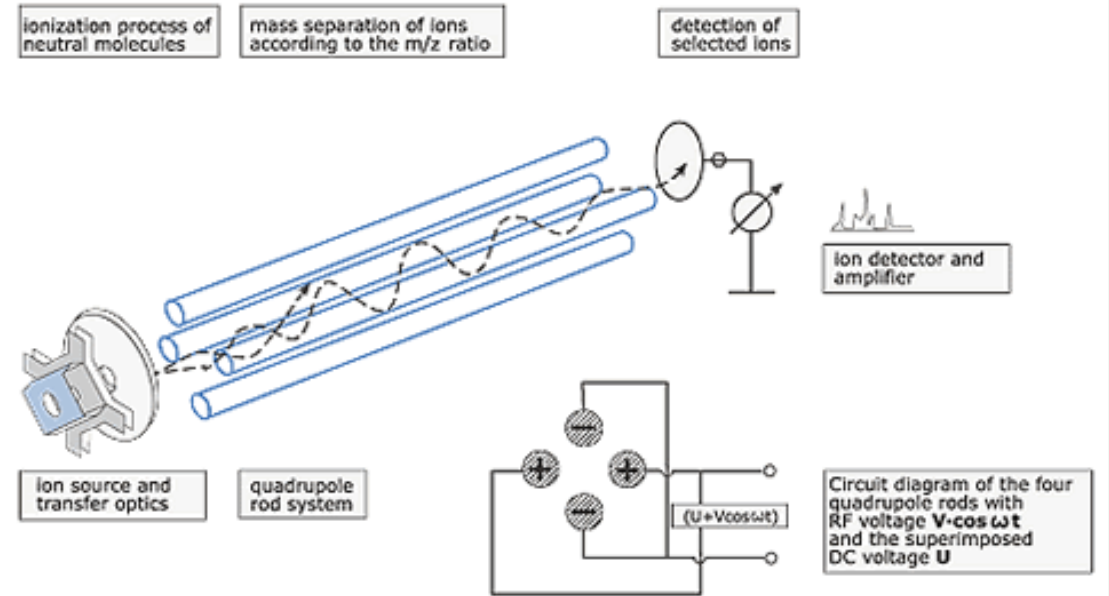
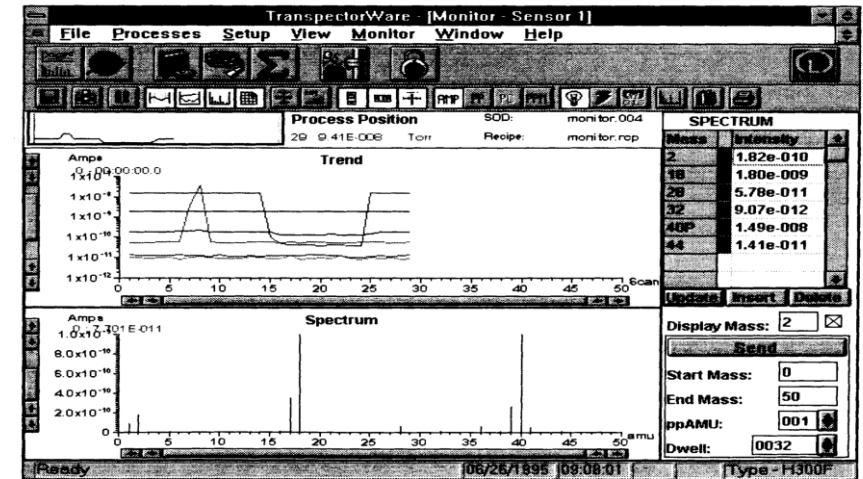


Restgasanalysator

Residual Gas Analyzer, RGA

- Användbar i UHV- och HV-området
- Mäter både totaltryck och partialtryck
- Inte helt pålitlig, kan ha stor drift (~60%/3 months)
- För noggranna mätningar krävs referensgaser i direkt samband med mätningarna

Monitor Screen





TACK!

Fredrik Arrhén

fredrik.rrhen@ri.se

0105-165 624

RISE Research Institutes of Sweden

**SÄKERHET OCH TRANSPORT
MÄTTEKNIK**



Besök oss gärna i Borås!

Har ni intresse så kontakta mig så ordnar vi ett besök

Fredrik Arrhén

fredrik.arrhen@ri.se

0105-165 624

SÄKERHET OCH TRANSPORT
MÄTTEKNIK

