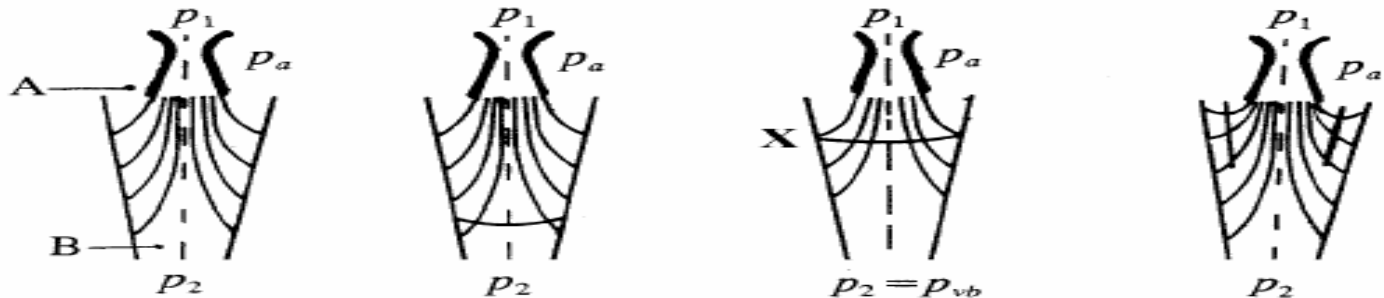


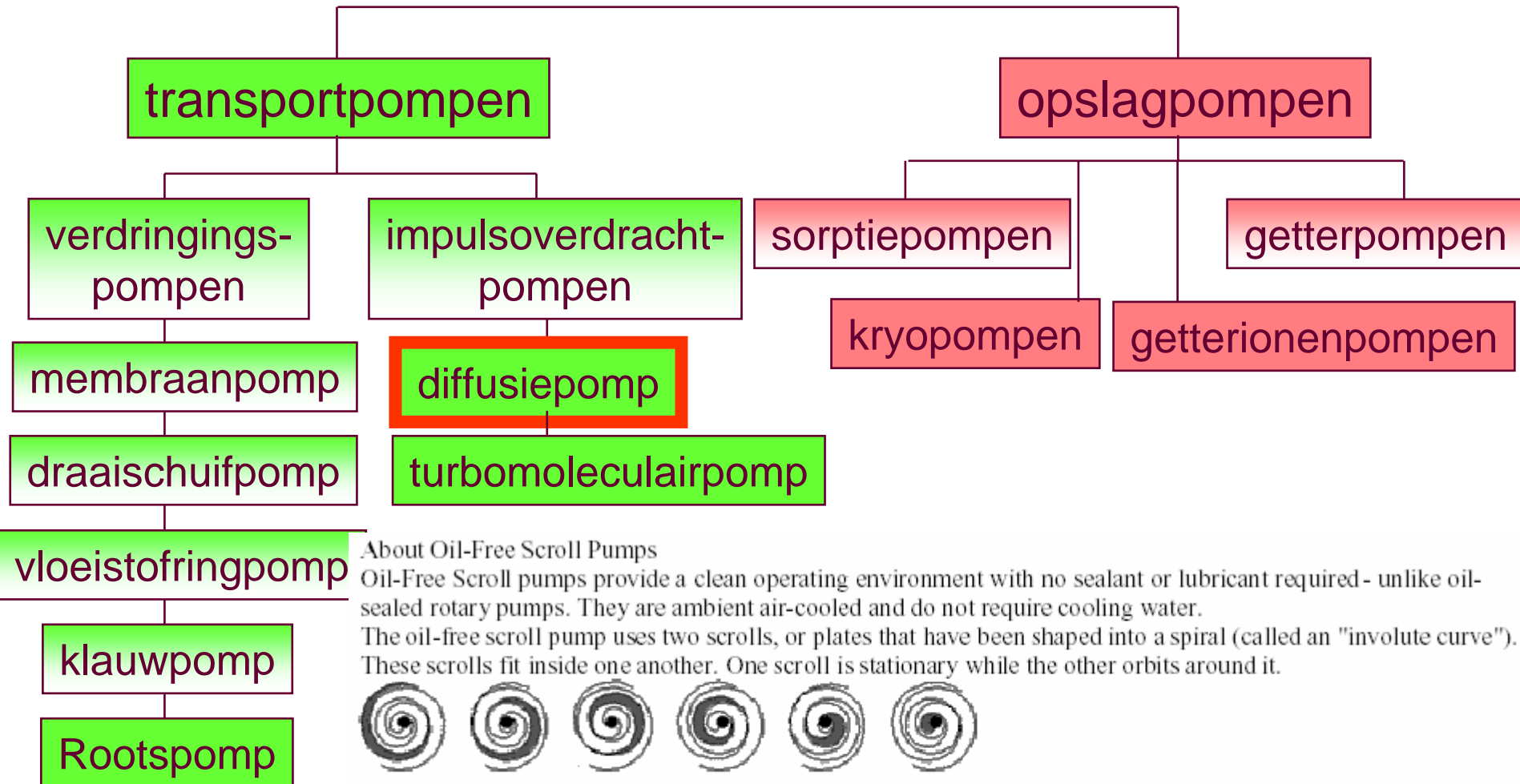
Cursus Vacuümtechniek

Week 10

Dampstroompompen



Vacuümpompen



About Oil-Free Scroll Pumps

Oil-Free Scroll pumps provide a clean operating environment with no sealant or lubricant required - unlike oil-sealed rotary pumps. They are ambient air-cooled and do not require cooling water.

The oil-free scroll pump uses two scrolls, or plates that have been shaped into a spiral (called an "involute curve"). These scrolls fit inside one another. One scroll is stationary while the other orbits around it.



The orbiting motion of the movable scroll creates crescent-shaped gas pockets. These gas pockets are first sealed and then compressed by the continuous motion of the scroll movement. Finally, the gases are expelled through the outlet at the center of the fixed scroll.



Overzicht vacuumpompen

Transportpompen

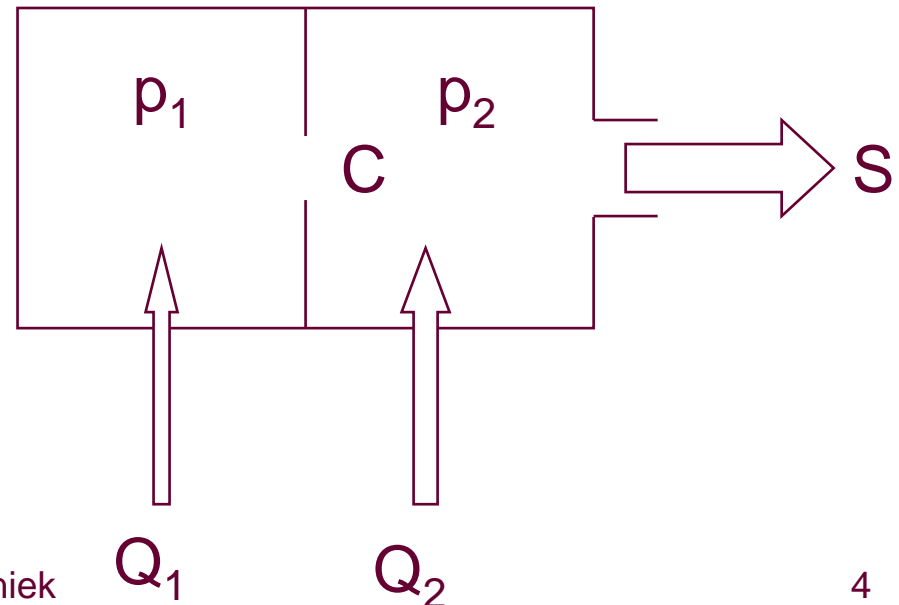
- **Natte rotatiepompen**
 - vloeistofringpomp
 - draaischuifpomp
 - schottenpomp
 - draaizuigerpomp
- **Oscillatiepompen**
 - zuigerpomp
 - membraanpomp
- **Droge rotatiepompen**
 - droge schottenpomp
 - scrollpomp
 - klauwpomp
 - slotpomp
 - schroefpomp
 - rootspomp
- **Vloeistofstraalpompen**
- **Dampstroompompen**
 - stoomstraalpomp
 - boosterpomp
 - diffusiepomp
- **Moleculairepompen**
 - turbomoleculairepomp
 - moleculaire dragpomp
 - hybride moleculairepomp

- **Sorptiepompen**
 - geactiveerd kool
 - silica-gel
 - zeolieten
(aluminiumsilicaat)
 - titanium/barium
- **Getter-ionenpompen**
 - verstuivingsgetterionenpomp
 - verdampingsgetterionenpom
p
 - ionenbaffle
- **Kryogeenpompen**
 - kryopomp

Opslagpompen

Intermezzo

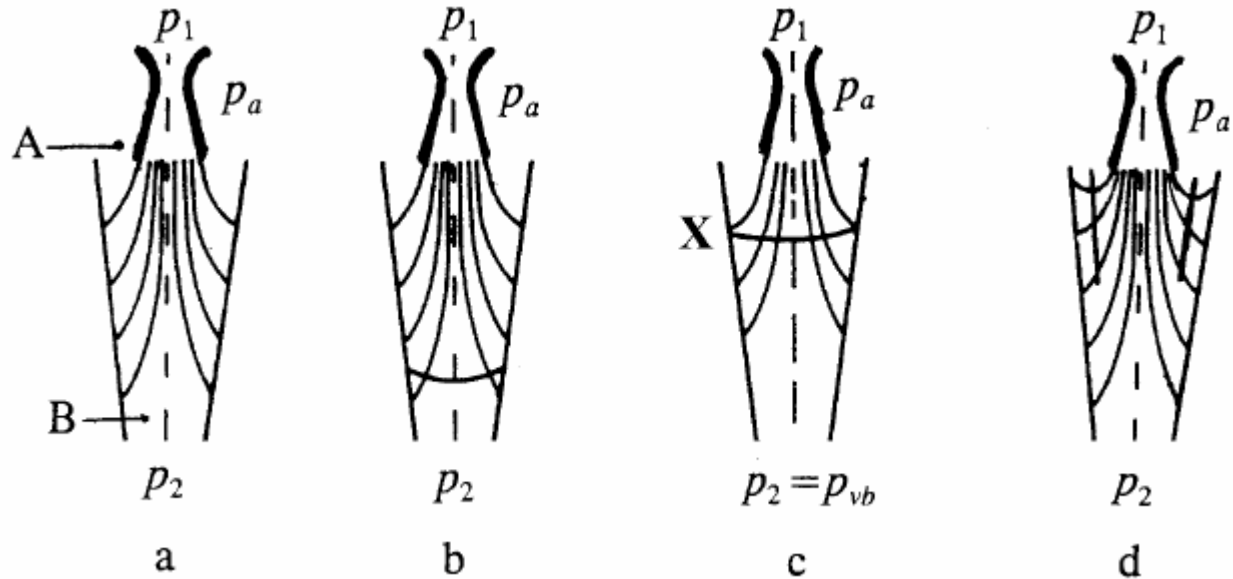
- Zie onderstaand systeem. Als $Q_1 = Q_2 = 0$ wijzen de drukmeters allebei $1,5 \times 10^{-5}$ Pa aan.
 - Is dat normaal ? $S = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $C = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
 - Hoe groot is de (totale) ontgassing/lek ?
- $S = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $C = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $Q_1 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $Q_2 = 0$
 - Wat worden p_1 en p_2 ?
- S idem, $Q_1 = 0$, $Q_2 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - Wat worden p_1 en p_2 nu?
- S idem, $Q_1 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_2 = 6,0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - Wat worden p_1 en p_2 nu?



Dampstroompompen

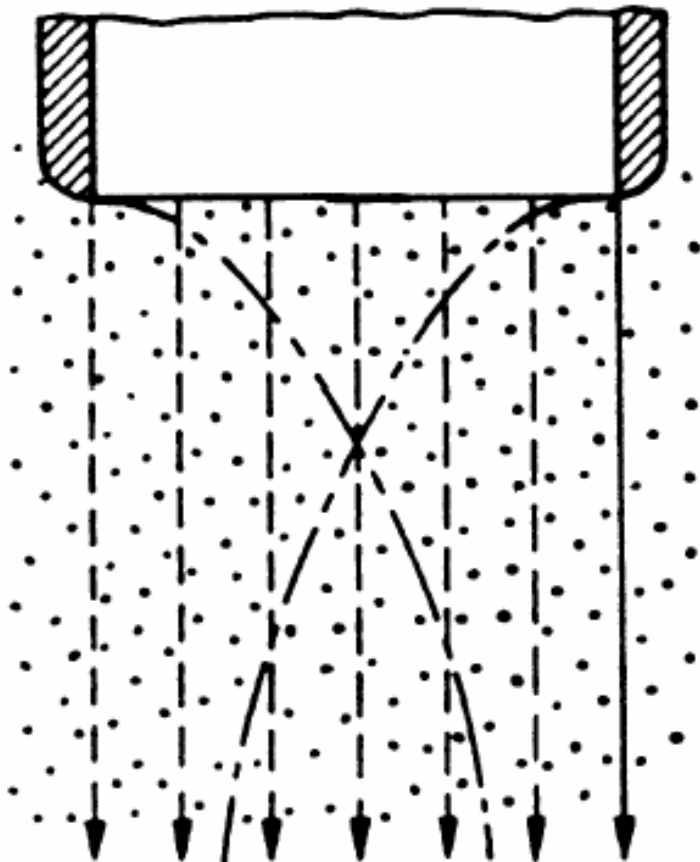
- In *dampstroompompen* wordt gebruik gemaakt van een *gerichte supersone dampstraal* van bij voorkeur *zware moleculen* waarmee gasdeeltjes via *impulsoverdracht* uit de te evacueren ruimte worden verwijderd.
- Alhoewel in strikte zin niet sporend met de groepsbenaming 'dampstroompompen', behoren ook pomptypes werkend met een *snelle straal* van permanent gas tot deze categorie.
 - Zo wordt ook de *gasstraler*, die bij de waterringpomp is behandeld, tot de groep der dampstroompompen gerekend.

Principe dampstroompomp

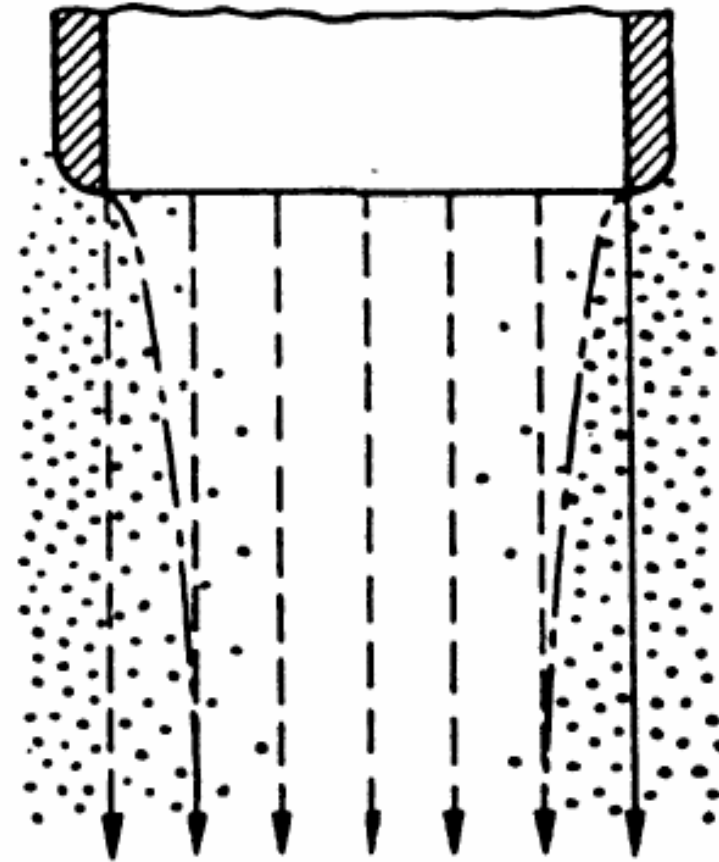


- vorm van de dampstraal bij zodanig lage p_2 dat **geen schokgolf** optreedt
- bij hogere p_2 gaat **stroomafwaarts** in de straal een **schokgolf** optreden
- bij stijging van p_2 **verplaatst** de schokgolf zich in de **richting** van de **tuit**, op het punt X sluit het **supersone dampscherm** de aanzuig- en afvoerszijde nog net van elkaar af; p_2 bereikt de **voorvacuumbestendigheid** p_{vb}
- bij **lage aanzuigdruk** gaan **zijdelings schokgolven** optreden

Indringdiepte gas in dampstraal

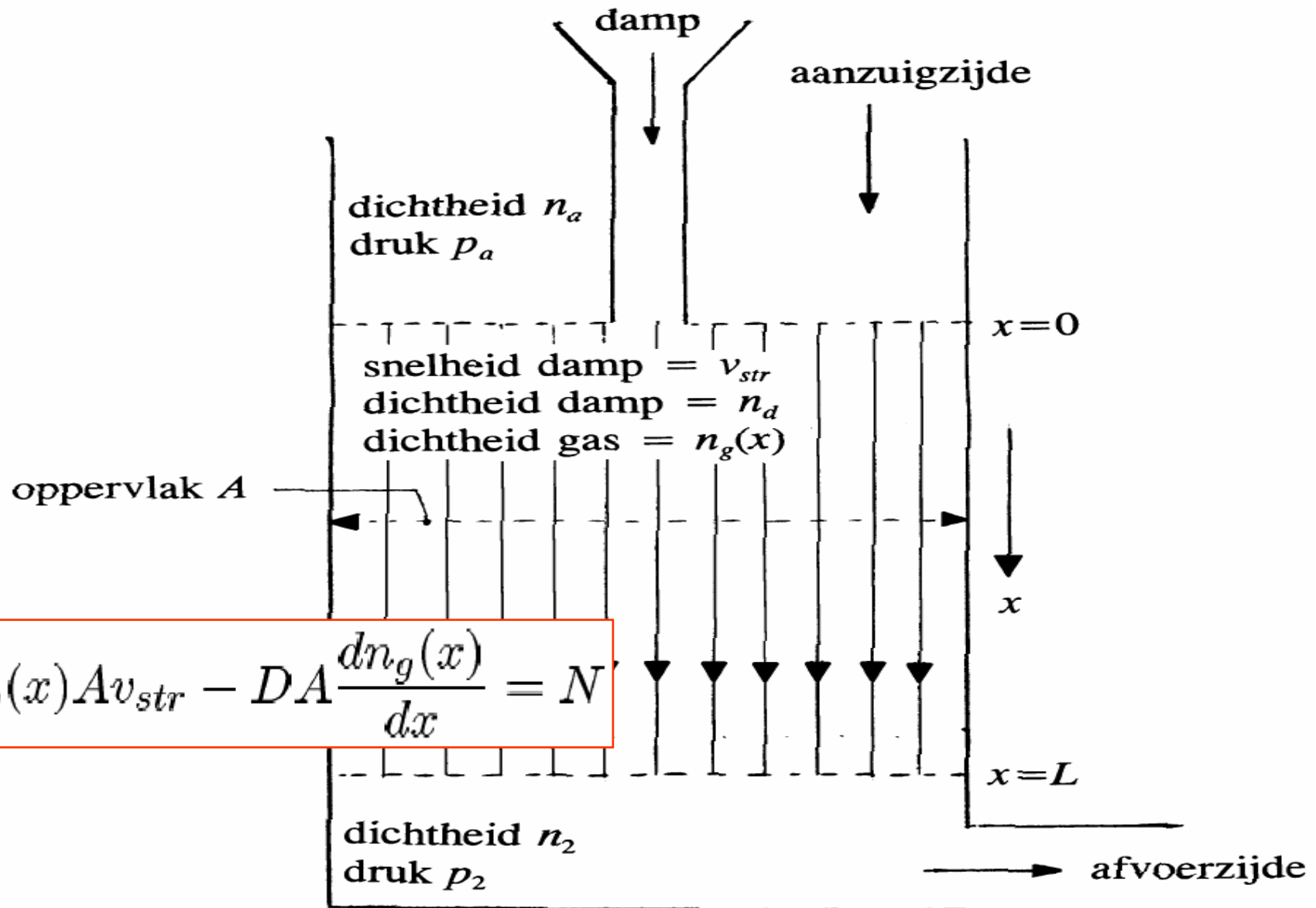


$p_1 \sim 1 \text{ Pa}$

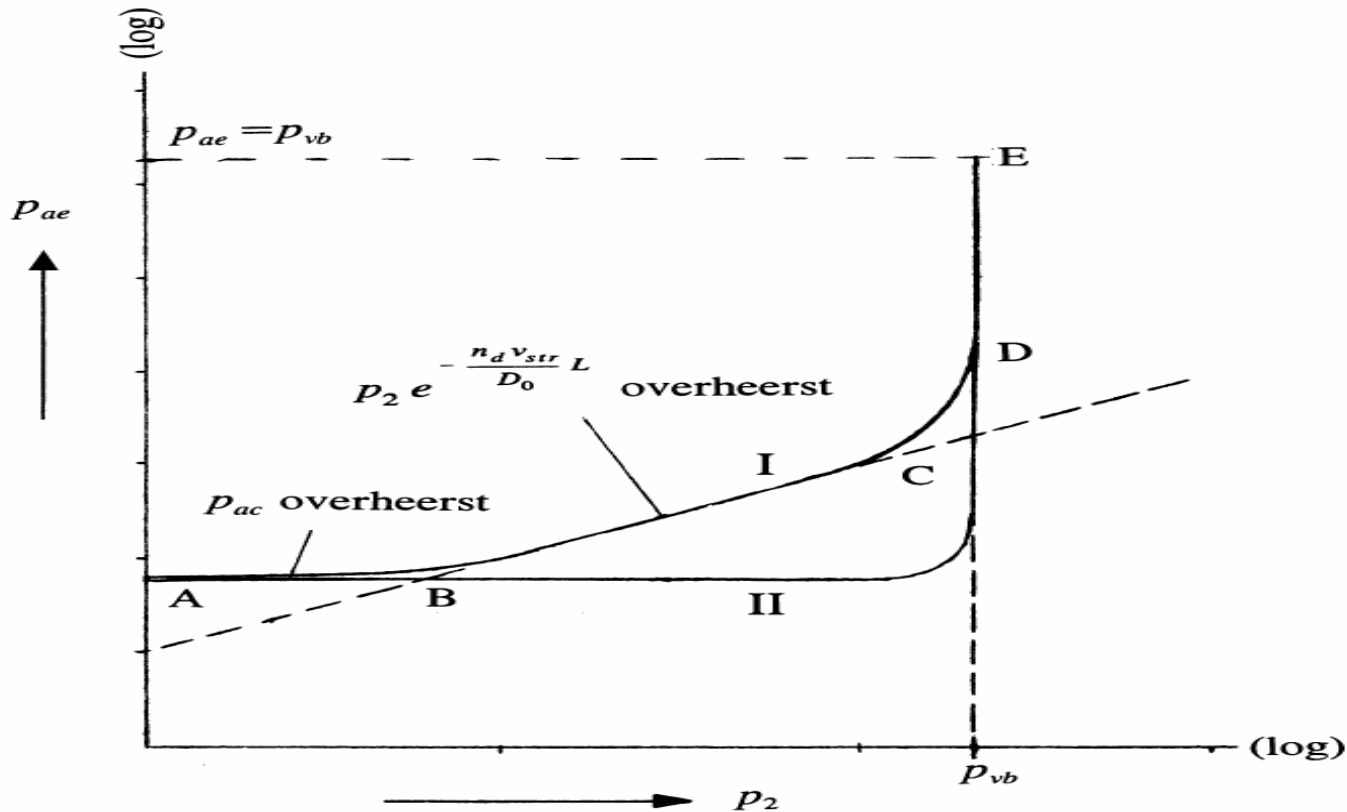


$p_1 \sim 25 \text{ Pa}$

Modelvoorstelling damstroompomp



Verband einddruk en voordruk



Het verband tussen de einddruk p_{ae} en de voordruk p_2 van een dampstroom pomp:

- Curve I - teruggiffusie niet verwaarloosbaar
- Curve II - invloed teruggiffusie verwaarloosbaar klein t.o.v. invloed richtingseffect en dampdruk pompmedium.

Opdracht 1HV

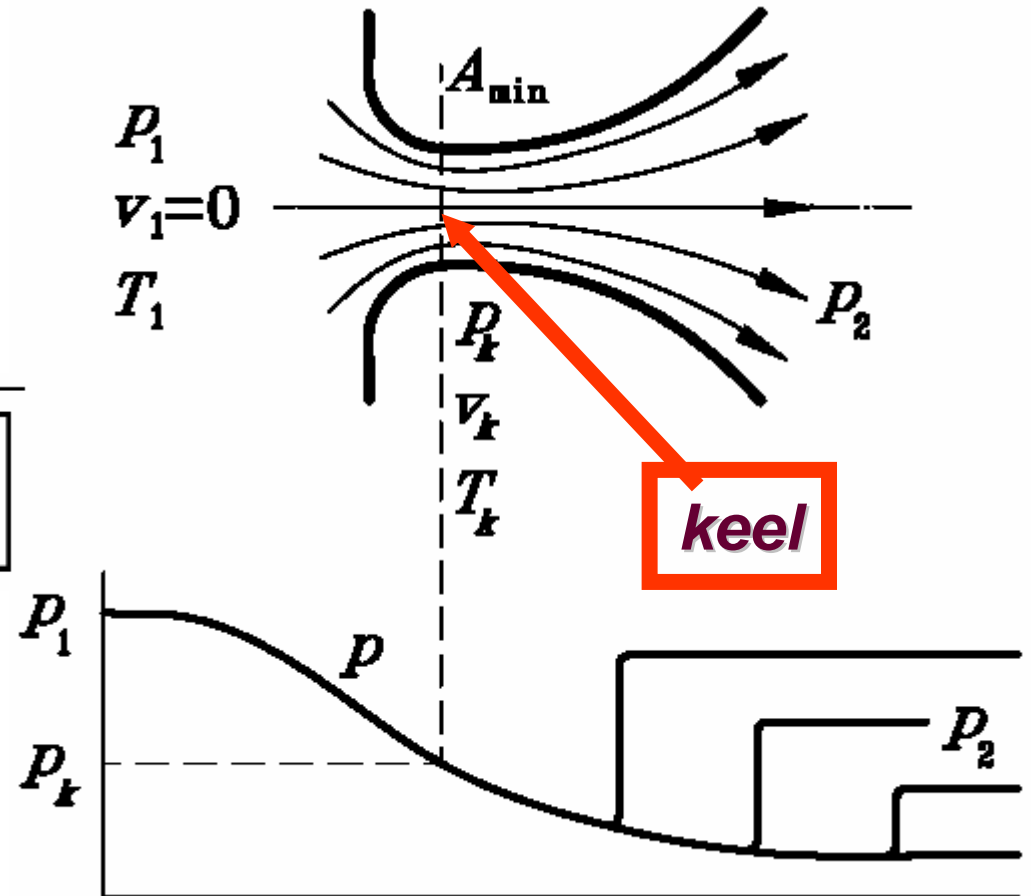
- **Leidt een uitdrukking af voor:**
 - **de pompsnelheid van een dampstroom pomp**
 - **de (maximale) compressieverhouding K_0 van een dampstroom pomppomp**
 - **de verhouding tussen de (theoretische) pompsnelheid voor H_2 en N_2 en vergelijk deze met de waardes uit een brochure (zie volgende sheet).**

Laval-tuit

$$\kappa = c_p/c_v$$

$$pV^\kappa = \text{constant}$$

$$v_k = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} \frac{RT_1}{M} \left[1 - \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$



- We veronderstellen dat we te maken hebben met een adiabatiese en wrijvingsloze stroming.
- Nemen we ook nog aan dat de stroming quasi-statisch verloopt, dan kunnen we spreken van een **isentrop** stromingsproces

Energievergelijkingen

$$c_p T + \frac{1}{2} v^2 = \text{constant}$$

$$\frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2} v^2 = \text{constant}$$

$$\frac{1}{\kappa - 1} v_s^2 + \frac{1}{2} v^2 = \text{constant}$$

$$\frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{1}{2} v_1^2 = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{p_k}{\rho_k} + \frac{1}{2} v_k^2$$

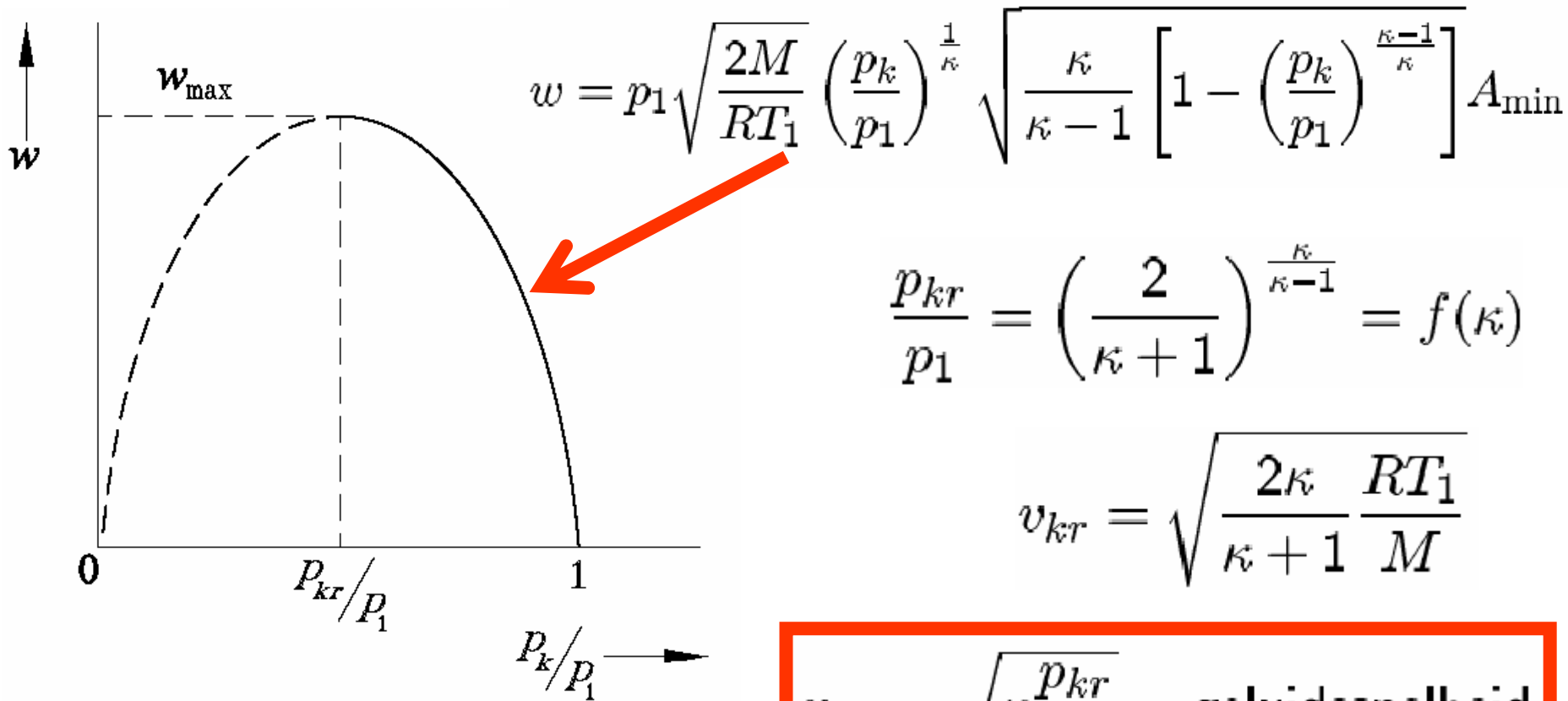
geluidssnelheid

$$v_s = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}}$$

- **Wet van behoud van energie**
- De stroming is adiabatisch en dus daalt de temperatuur in stroomafwaartse richting; er wordt thermische ('kris-kras') energie omgezet in macroscopische kinetische energie

Afleiding snelheid waarbij w maximaal is

- Stel het oppervlak van de keel voor door A_{\min} , dan is voor de doorstromende gasmassa per tijdseenheid te schrijven: $w = \rho_k v_k A_{\min}$



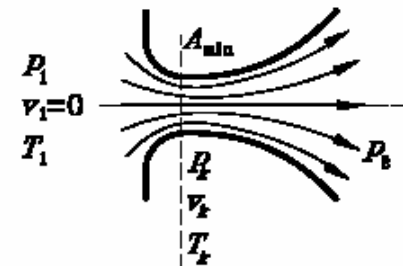
$$\frac{p_{kr}}{p_1} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = f(\kappa)$$

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} \frac{RT_1}{M}}$$

$$v_{kr} = \sqrt{\kappa \frac{p_{kr}}{\rho_{kr}}} = \text{geluidssnelheid}$$

Gedrag van de massastroom w

- We concluderen dat bij p_{kr} in de keel van de tuit precies de **geluidssnelheid** wordt bereikt!
- Het gedrag van w als functie van p_k/p_1 is derhalve als volgt te interpreteren:
 - Is p_2 gelijk aan p_1 dan is ook $p_k = p_1$ en stroomt er geen gas.
 - Daalt p_2 beneden p_1 dan komt een gasstroming van links naar rechts op gang en wordt dus $w > 0$
 - w neemt toe bij dalende waarde van p_2 (en dus p_k), totdat de druk in de keel is gedaald tot de waarde p_{kr} .
 - De waarde w is dan maximaal en de macroscopische snelheid in de keel heeft de **geluidssnelheid** bereikt




Geblokkeerde stroming

- Verlagen we na het bereiken van deze situatie de druk p_2 aan de lage-drukzijde nog verder dan heeft dit **geen invloed** meer op de druk in de keel; deze blijft constant en gelijk aan p_{kr} .
- Immers, de gasstroom verlaat de tuit met de **geluidssnelheid**.
- De **informatie** over een verlaging van p_2 , die zich eveneens met de snelheid van het geluid voortplant, kan dus **niet stroomopwaarts** in de tuit doordringen.
- De **gasstroom** door de tuit is **geblokkeerd** voor **informatie** vanuit de **lage-drukruimte** en blijft gelijk aan w_{max} , hoe laag we p_2 ook maken.

Super- en subsone stroming in Laval-tuit

Tabel 3.4 Stromingsvoorschrift (3.44) voor stroming door toelopend en uitlopend deel van een tuit

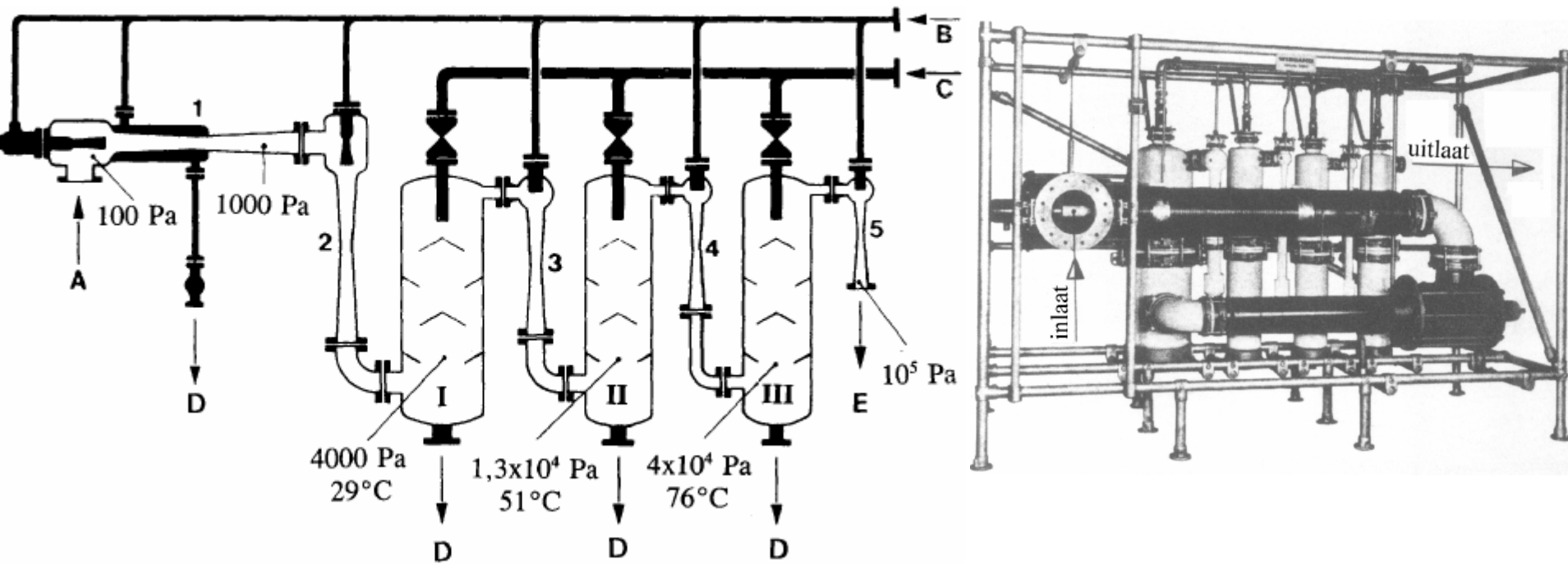
$\frac{dA}{A} = (M_{ch}^2 - 1) \frac{dv}{v}$	Toelopende tuit	Uitlopende tuit
	$dA < 0$	$dA > 0$
$dv > 0$; versnellende stroming	$M_{ch} < 1$	$M_{ch} > 1$
$dv < 0$; vertragende stroming	$M_{ch} > 1$	$M_{ch} < 1$

- We concluderen dat we in het **toelopende** deel van de Laval-tuit steeds te doen hebben met een **subsonic** ($M_{ch} < 1$) **versnellende** ($dv > 0$) stroming, aangezien de stroming start met een macroscopische snelheid $v_1 = 0$.
- In het **uitlopende** deel van de tuit kunnen we **twee stromingsvormen** onderscheiden, afhankelijk van de druk p_2 die in de lage-drukruimte heerst: 

Basis voor de dampstroompompen

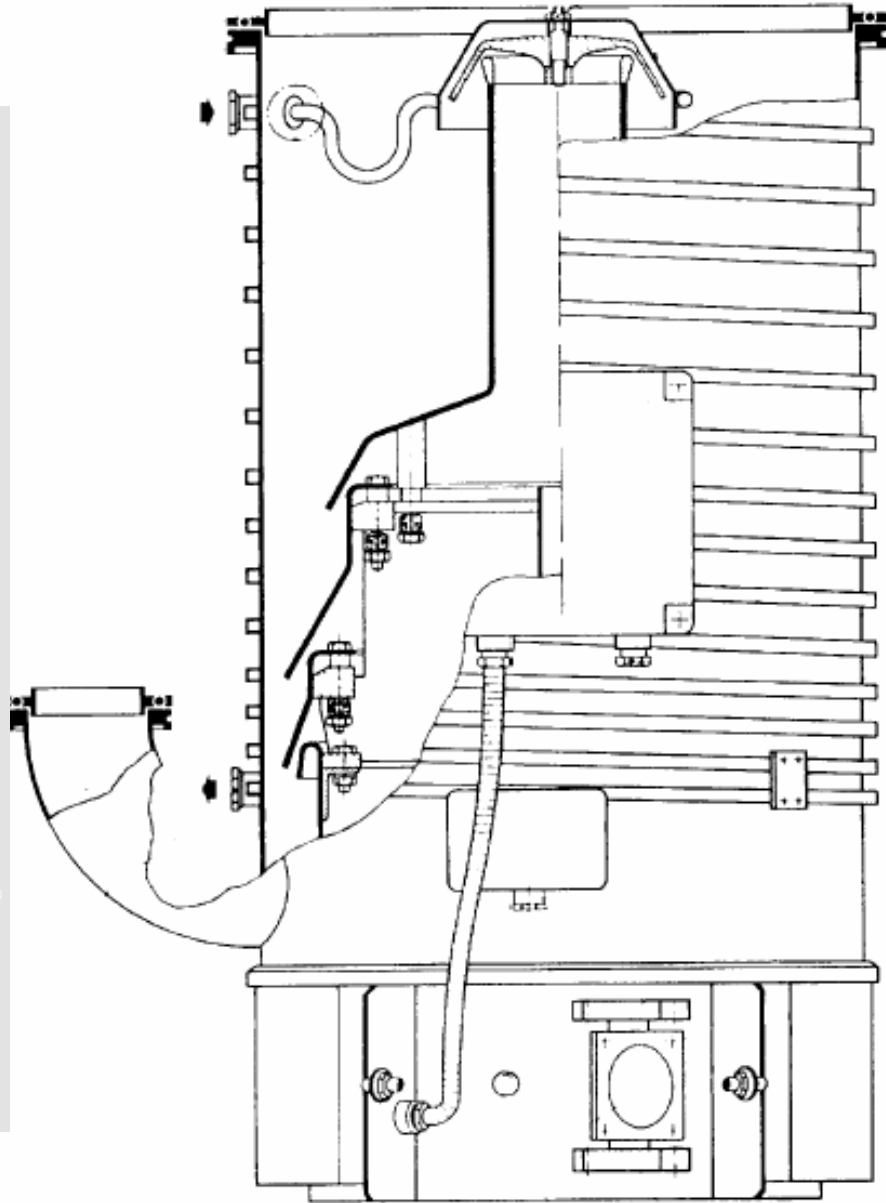
1. Is p_2 **niet voldoende laag** ten opzichte van p_1 dan zal de stroming ter plaatse A_{\min} **niet** de geluidssnelheid bereiken. Bij het binnentreden van het uitlopende deel van de tuit is dan $M_{ch} < 1$ en volgens (3.44) $dv < 0$. Onder deze omstandigheden is de stroming in de **gehele tuit subsoon**; in het **toelopende** deel **subsoon versnellend** en in het **uitlopende** deel **subsoon vertragend**.
 2. **Beneden een zekere waarde** van p_2 wordt in de keel de **geluidssnelheid** bereikt. Nu kan M_{ch} van subsone waarden via $M_{ch} = 1$ ter plekke A_{\min} overgaan in **supersone** waarden in het **uitlopende** tuitdeel en vindt in dit uitlopende deel een **verdere versnelling** van de gasstroom plaats. De druk, dichtheid en temperatuur in de stroming zullen **verder dalen**, terwijl de **stroomsnelheid** afhankelijk van de gassoort tot **hoge** waarden kan oplopen.
- Van deze twee mogelijkheden is de onder punt 2 beschreven supersone stroming uiteraard het **meest interessant**. De supersone jetstroom vormt de basis voor de **dampstroompompen**

5-traps stoomstraalpomp



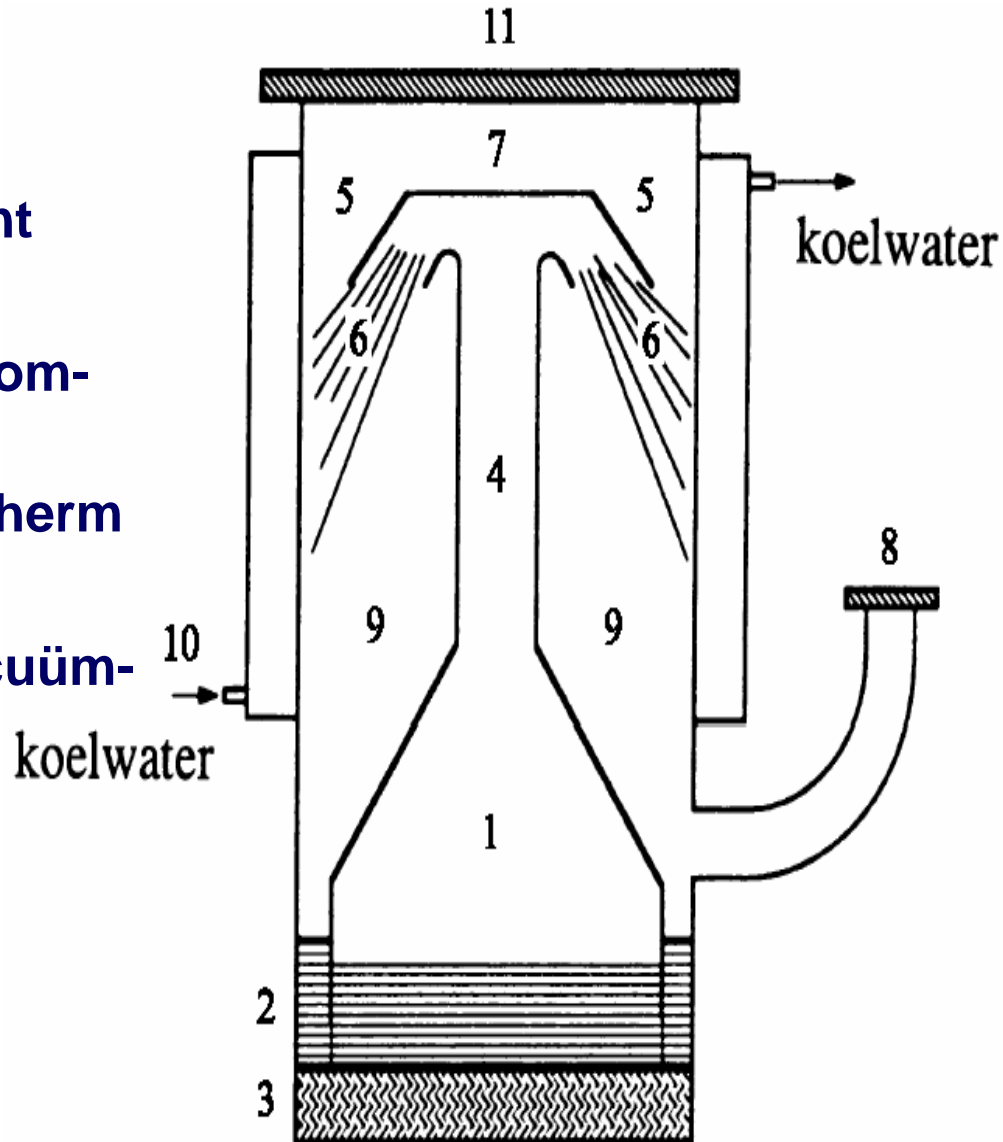
- Vijftraps stoomstraalsysteem met condensors in doorsnede, 1 - 5 = Stoomstraaltrappen
- I-III = condensors
- A - inlaatopening, B - stoomleiding, C - koelwaterleiding, D - afvoer condenswater, E - uitlaatopening

Diffusiepomp



Diffusiepomp (doorsnede)

- 1 - kookbad
- 2 - pompvloeistof
- 3 - verwarmingselement
- 4 - stijgbuis
- 5 - ringvormige uitstroomopening
- 6 - supersoon dampscherm
- 7 - omkeerkap
- 8 - aansluiting voorvacuümpomp
- 9 - voorvacuümruimte
- 10 - koeling
- 11 - aansluiting hoogvacuümruimte.

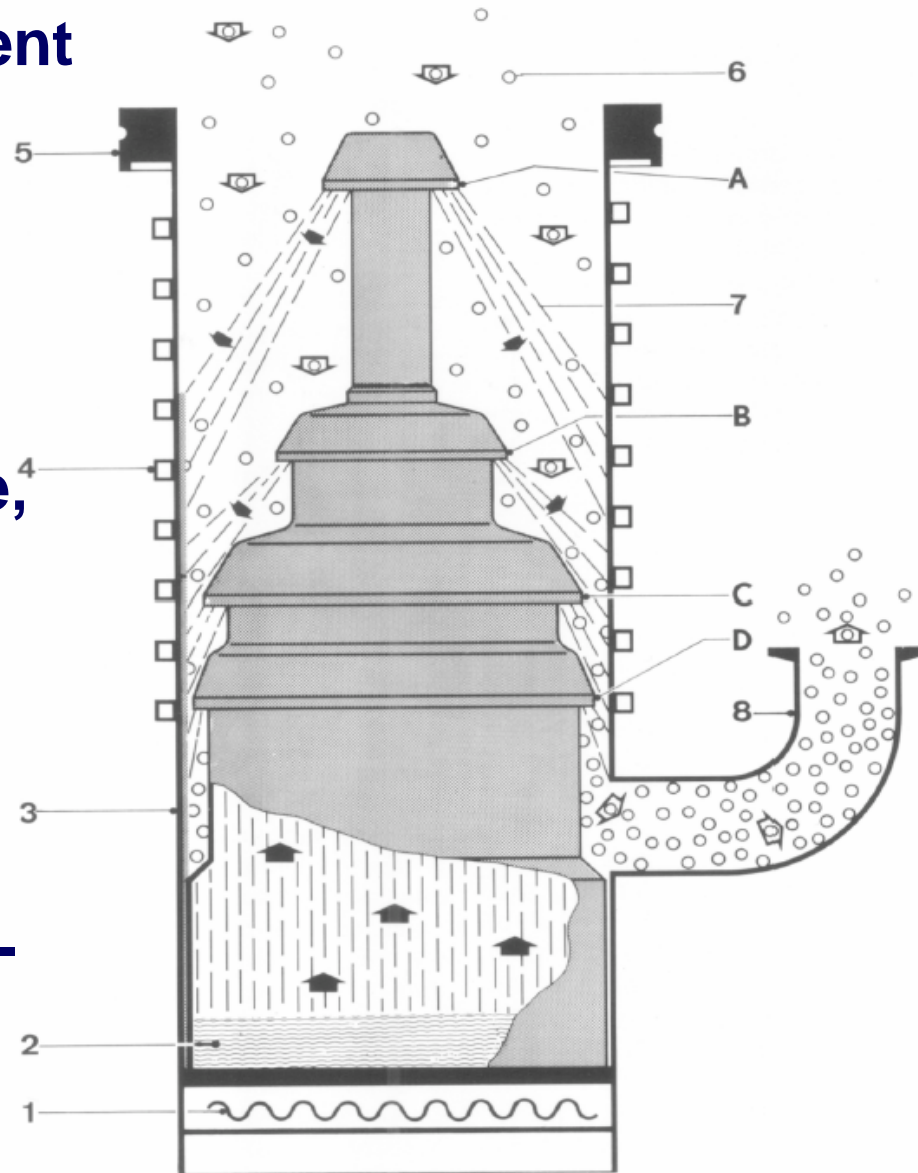


Technische gegevens diffusiepompen

Technical Data		DIP 3000	DIP 8000	DIP 12000	DIP 20000	DIP 30000	DIP 50000
High vacuum/ forevacuum connection	DN	250 ISO-K/ 63 ISO-K	400 ISO-K/ 63 ISO-K	500 ISO-K/ 100 ISO-K	630 ISO-F/ 100 ISO-K	800 ISO-F/ 160 ISO-K	1000 ISO-F/ 160 ISO-K
Pumping speed for air * below 1×10^{-4} mbar	$l \times s^{-1}$	3 000	8 000	12 000	20 000	30 000	50 000
Operating range	mbar	$< 10^{-2}$ to 10^{-7}					
Ultimate total pressure **	mbar	$< 5 \times 10^{-7}$					
Max. permissible forevacuum pressure	mbar	6×10^{-1}					
Pump fluid filling, min./max.	l	1.0 / 1.4	1.7 / 3.4	2.4 / 5.3	5.0 / 9.0	7/15	12/25
Main connection							
Standard, 50/60 Hz	V	230 ~ 1 Ph	230/400 ~ 3 Ph Δ/Y	400 ~ 3 Ph Y	230/400 ~ 3 Ph Δ/Y	230/400 ~ 3 Ph Δ/Y	230/400 ~ 3 Ph Δ/Y
Special, 50/60 Hz	V		460 ~ 3 Ph Δ		460 ~ 3 Ph Δ	460 ~ 3 Ph Δ	460 ~ 3 Ph Δ
Heating power	kW	2.4	4.8	7.2	12	18	24
Number of heating cartridges		2	6	9	12	18	24
Heating up time	min	< 25	< 25	< 25	< 25	< 30	< 30
Cooling water (minimum)							
for pump ***	$l \times h^{-1}$	160	290	500	600	900	1500
for cold cap baffle	$l \times h^{-1}$	20	40	50	80	80	1506
Max. supply pressure	bar	6	6	6	6	6	6
Number of cooling circuits							
(including cold cap baffle)		2	2	2	2	3	3
Cooling water connection							
for pump	G	3/8"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
for cold cap baffle	G	1/4"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
Weight, approx.	kg (lbs)	29 (64)	70 (154)	102 (225)	172 (379)	296 (653)	560 (1235)

Viertraps diffusiepomp

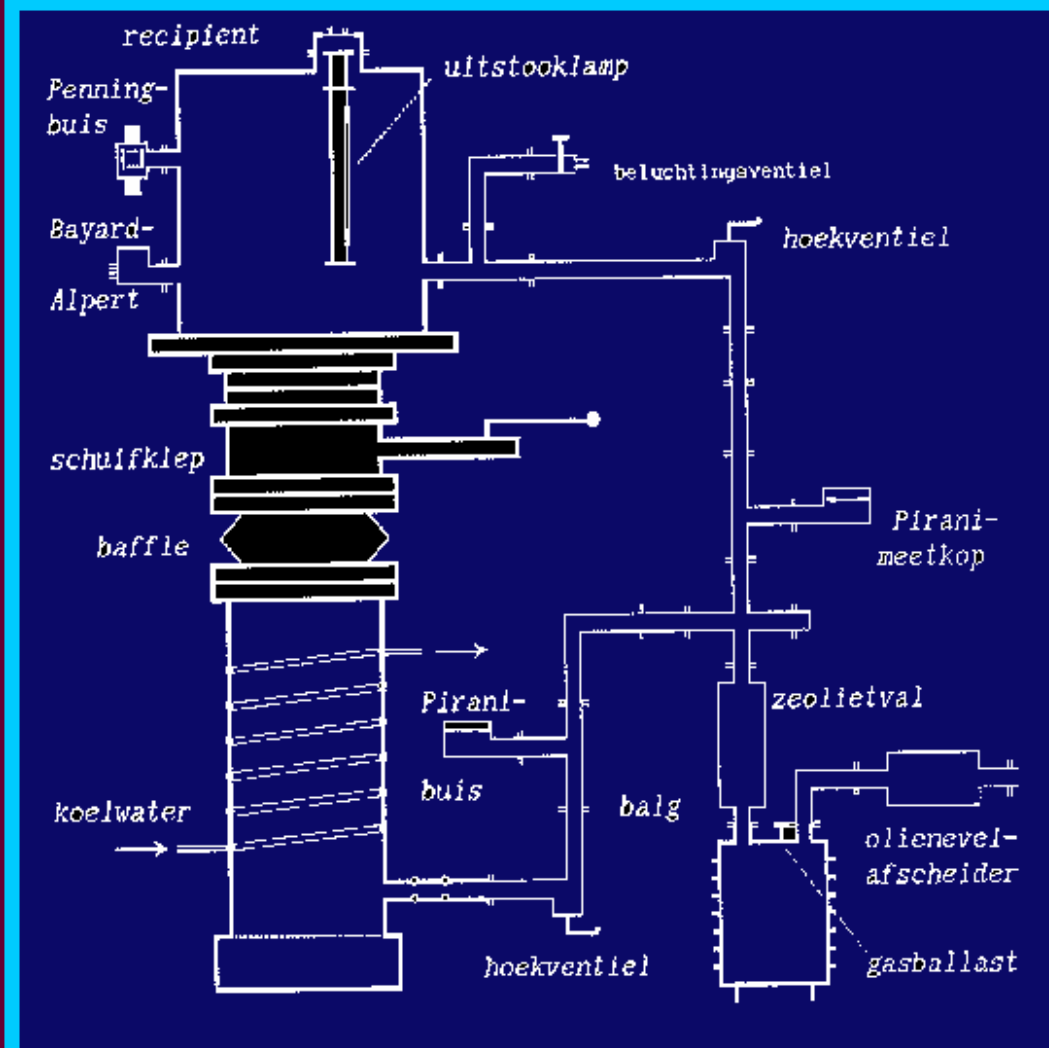
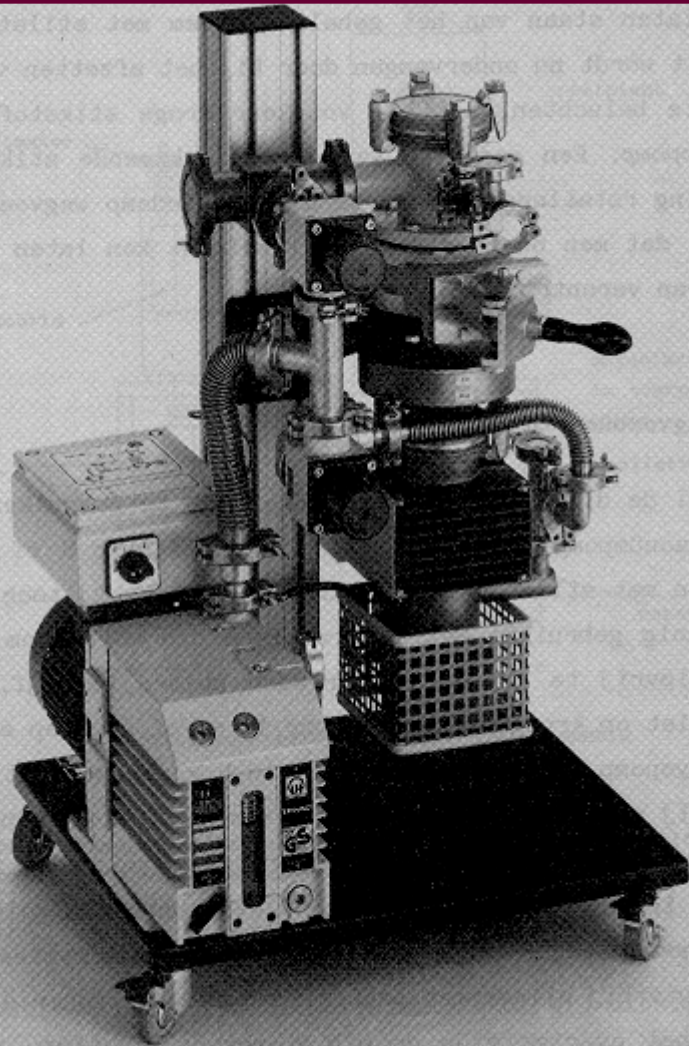
- 1 - verwarmingselement
 - 2 - pompmedium
 - 3 - pomphuis
 - 4 - koelleiding
 - 5 - aansluitflens
hoogvacuümruimte,
 - 6 - gasdeeltjes
 - 7 - dampscherm
 - 8 - uitlaat
- A t/m D vormen
de ringvormige straal-
openingen.



Opdracht 1

- Maak opgave 4.4 (54 uit de Vraagstukkenbundel)
- Maak opgave 55 uit de Vraagstukkenbundel
 - onderdeel d aangevuld met de volgende vraag:
 - hoe lang kan dit systeem werken met een *buffervat* van 15 dm^3 met uitgeschakelde voorvacuümpomp, als de voorvacuümbestendigheid 20 Pa bedraagt.

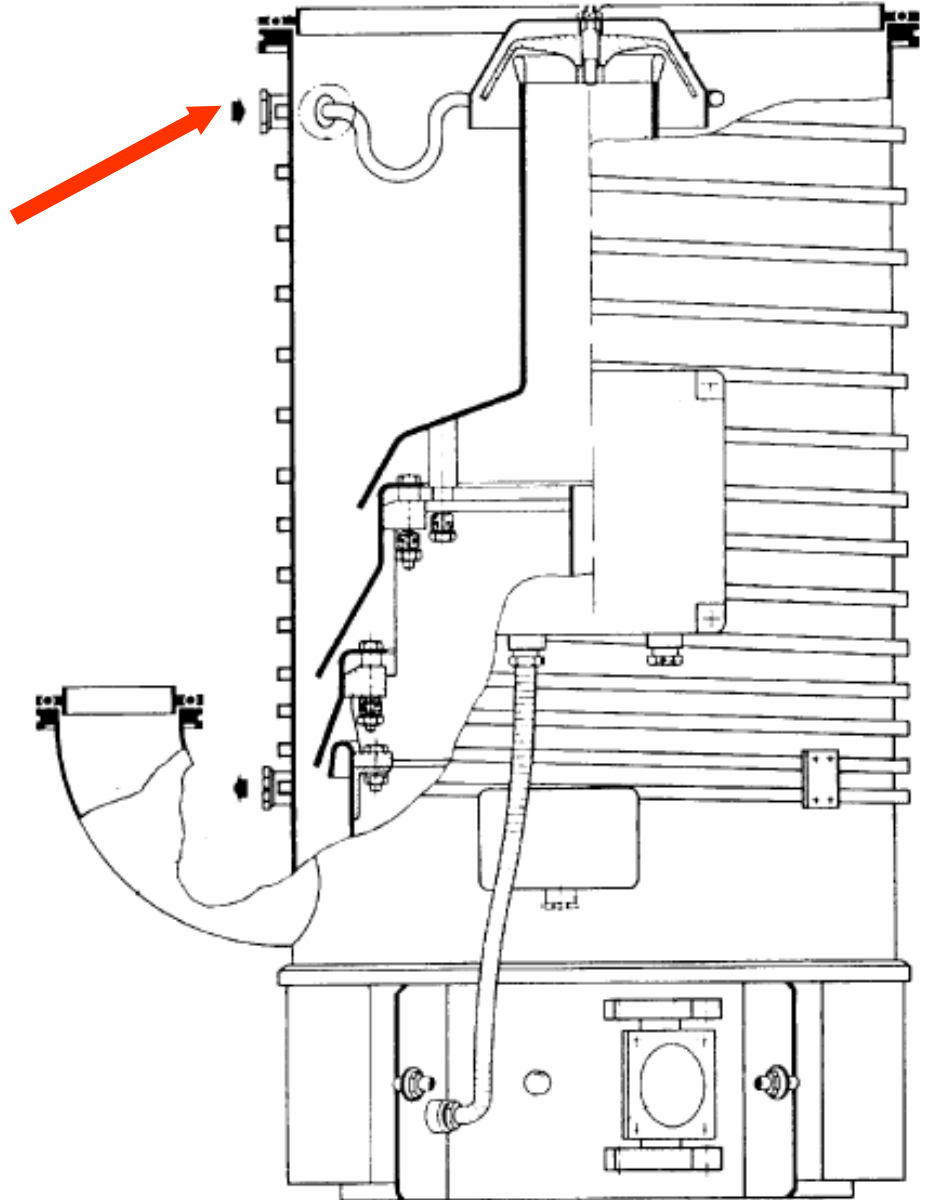
Diffusiepompopstelling



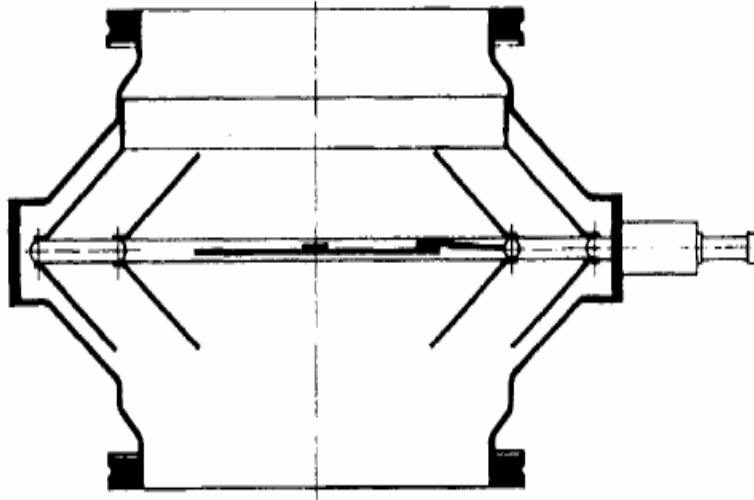
Olie moet via compromis aan tegenstrijdige eisen voldoen: *lage* dampdruk bij kamertemperatuur, *hoge* dampdruk bij hogere T.

Gekoelde hoed

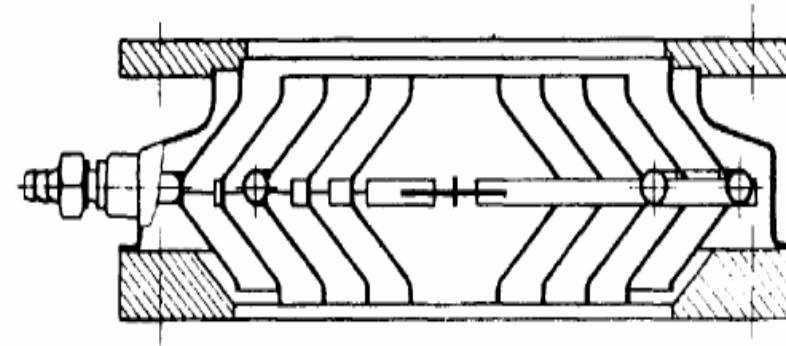
koelwateraansluiting



Gekoelde baffles



a



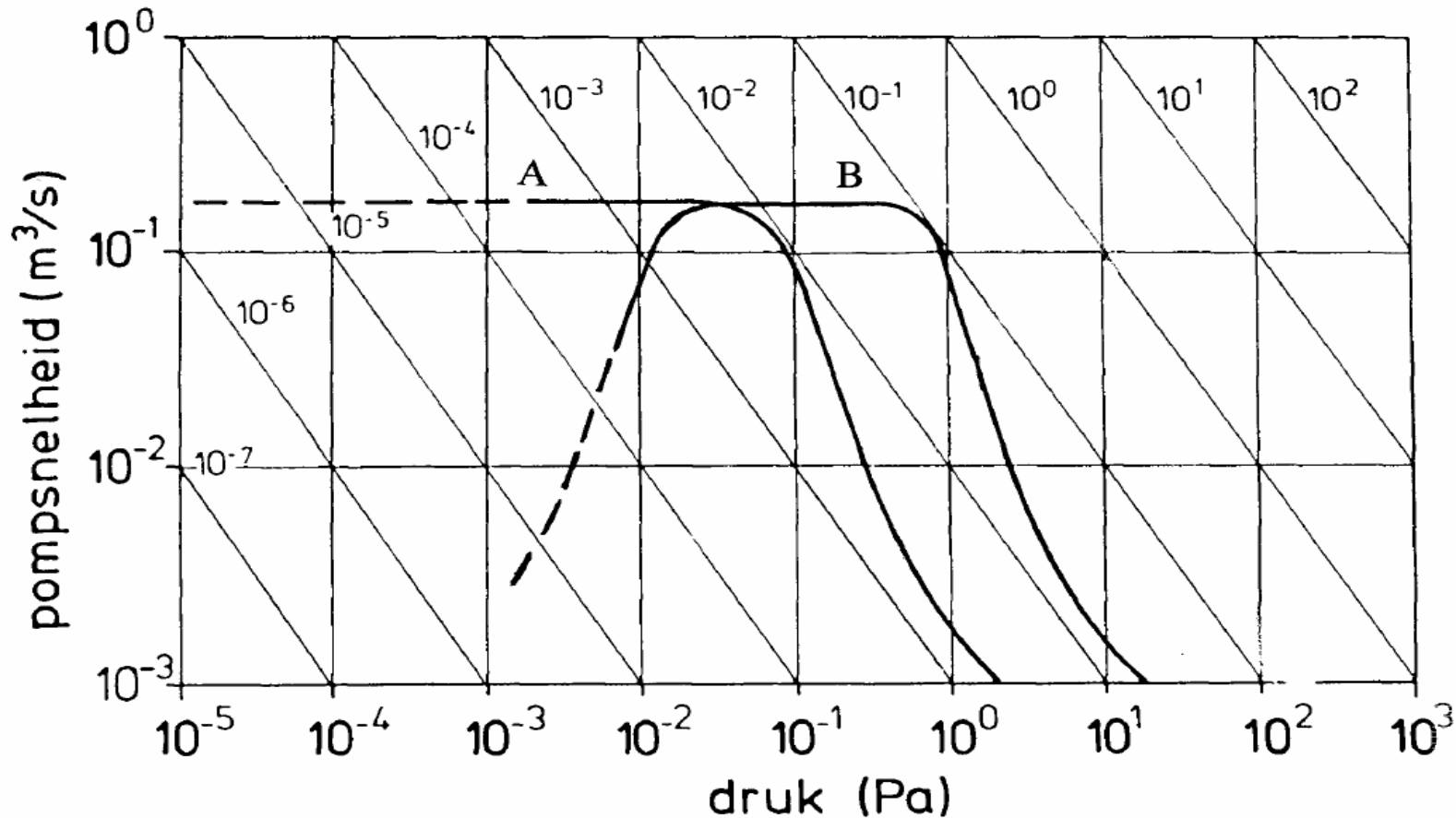
b

- plaatbaffle (a)
- chevron baffle (b).

**Goede baffle: Geleidingsvermogen
even groot als pompsnelheid**



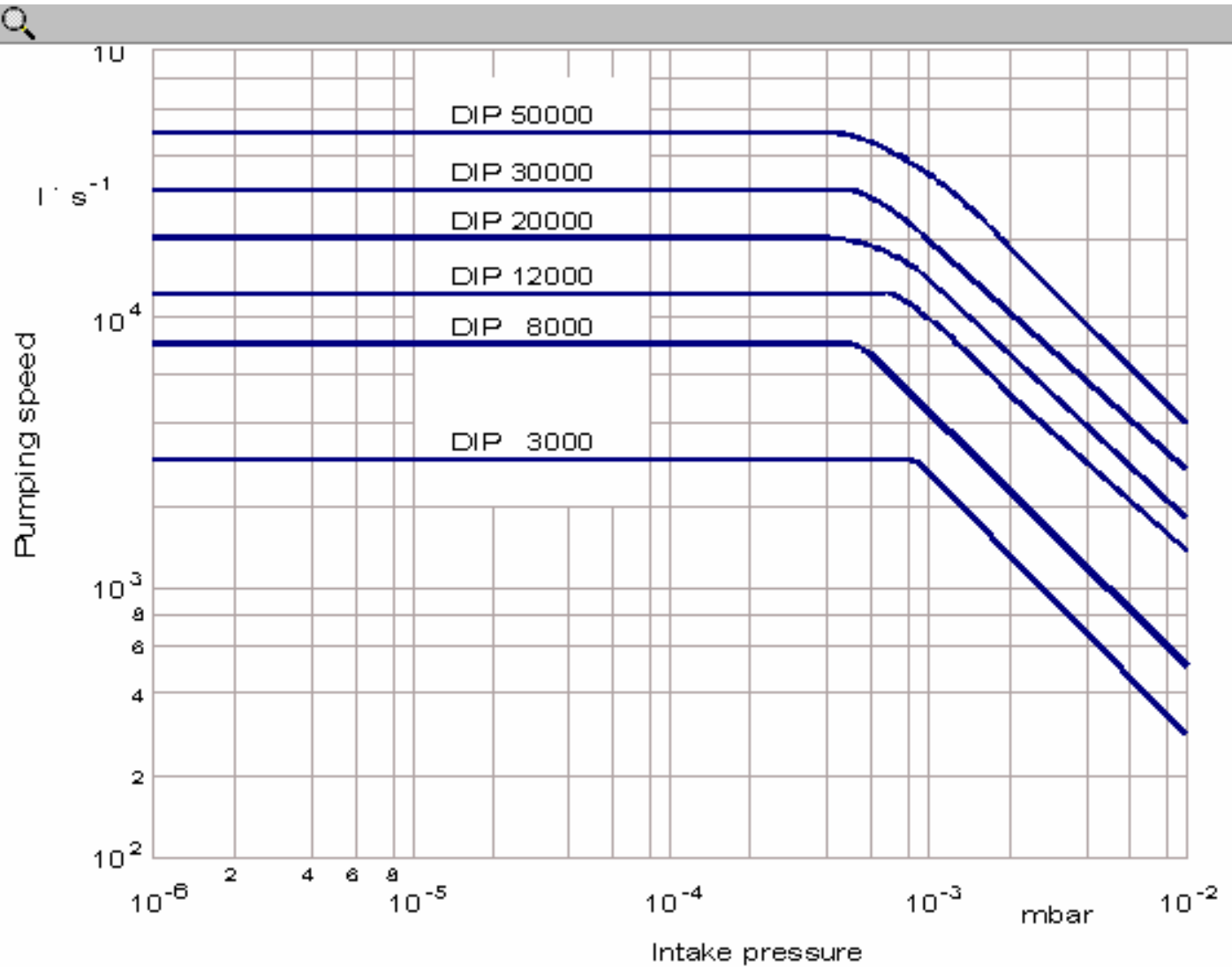
Pompsnelheid



Karakteristieke pompsnelheidscurves van een diffusiepomp (A) en een Rootspomp (B).

De schuine lijnen geven de hoeveelheid verpompt gas (pV debiet) weer in Pam^3/s .

Pompsnelheidscurves



Pumping speed characteristics of the DIP pumps as a function of intake pressure

Opdracht 2

- **Maak examenopgave MV-93-3**

Opstartprocedure

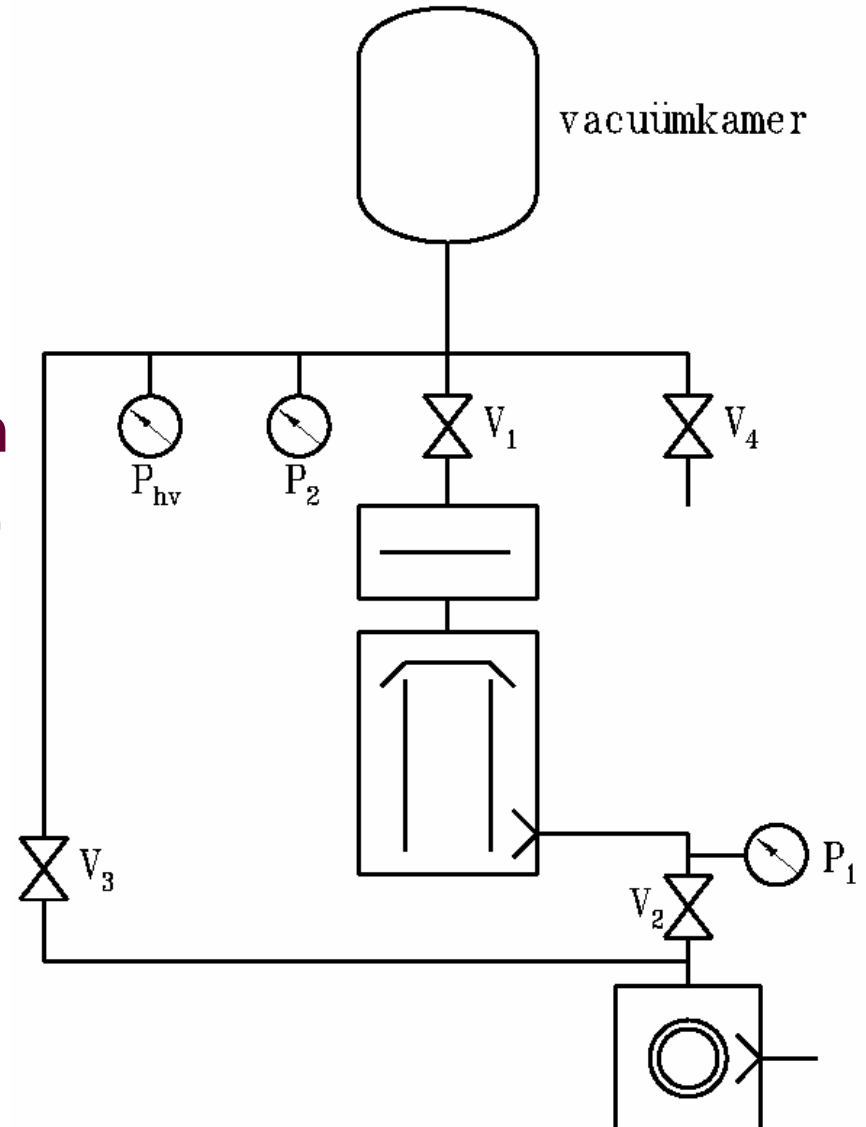
Indien er vanuit wordt gegaan dat:

a. alle afsluiters en kleppen dicht zijn,

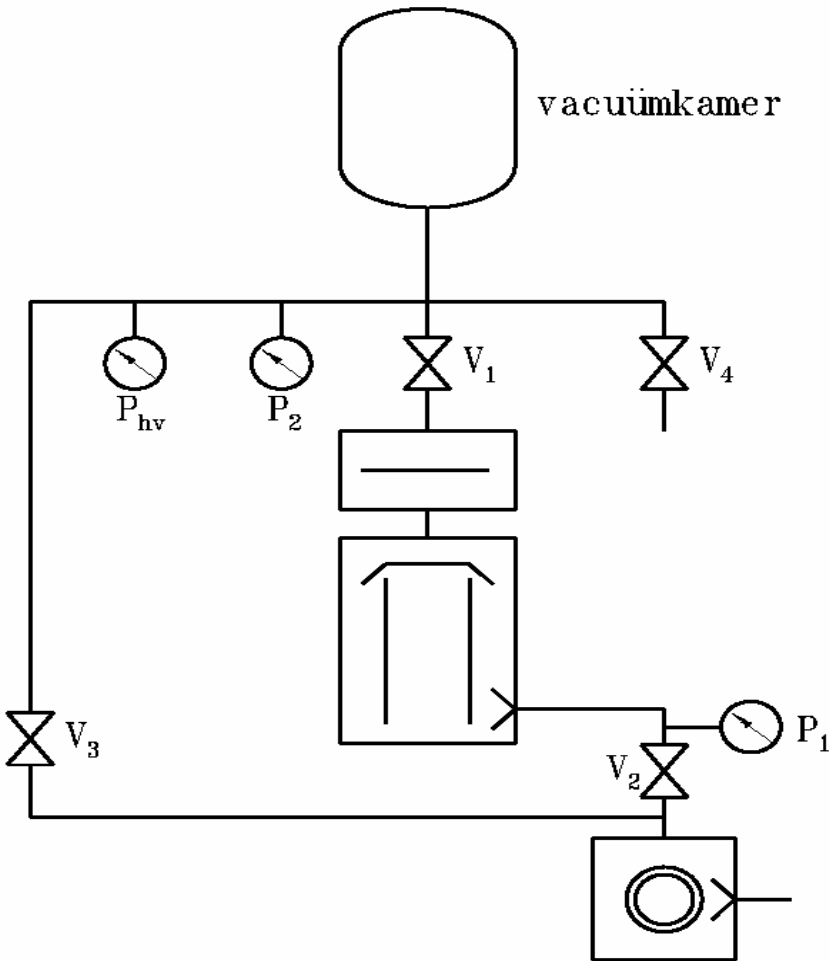
b. alle systeemonderdelen op kamertemperatuur zijn,

c. het gehele systeem belucht is,

dan verdient de volgende methode de voorkeur om het systeem in bedrijf te nemen:

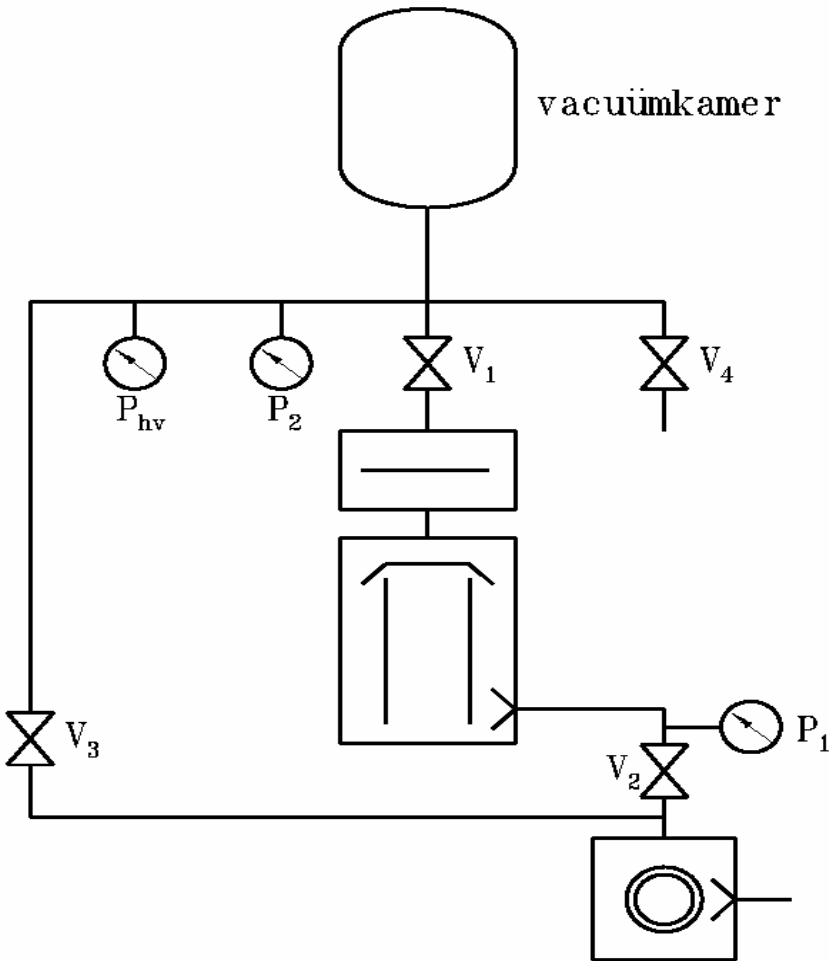


Opstartprocedure (vervolg)



1. *Start de voorvacuümpomp.*
2. *Open V_2 .*
3. *Zorg voor waterkoeling van diffusiepomp en baffle.*
4. *Schakel de verwarming van de diffusiepomp in.*
5. *Sluit V_2 en open V_3 .*
6. *Bij het bereiken van een druk $p_{vk} = 5 \text{ Pa}$ in de vacuümkamer mag V_3 dicht. Vervolgens wordt eerst V_2 geopend, waarna tenslotte ook de hoog-vacuümklep V_1 open mag.*
Tijdens het openen van V_1 moet er op worden gelet, dat de voorvacuümbestendigheid niet wordt overschreden.
7. *Als V_1 geheel is geopend, mag de hoogvacuümmeter (P_{hv}) worden ingeschakeld.*

Wisselen charge



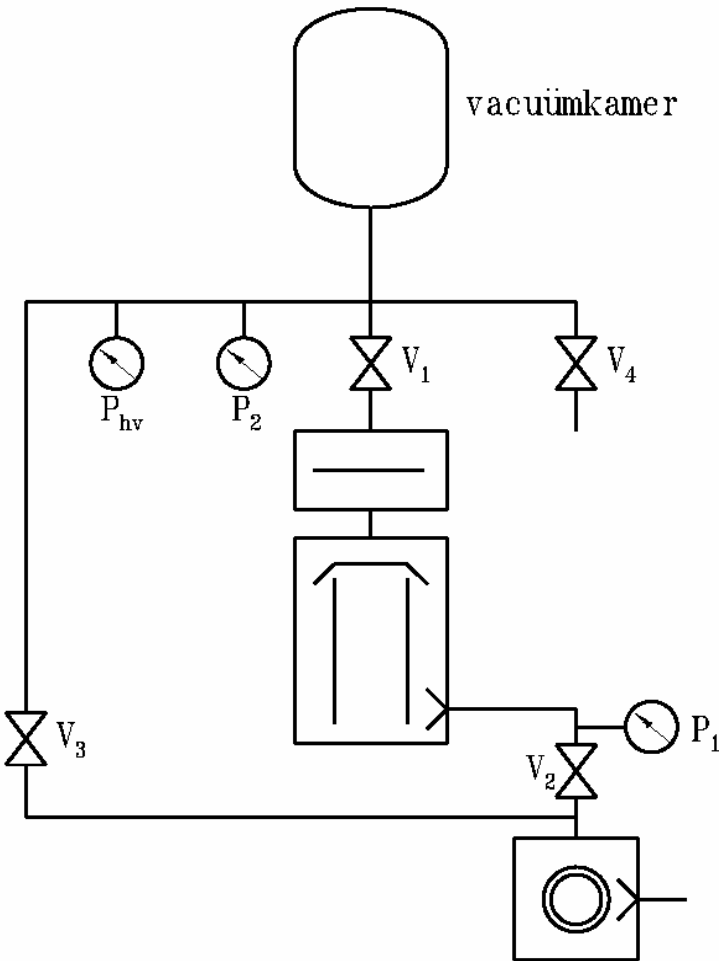
8. *Hoogvacuüm-meter P_{hv} uitschakelen en V_1 sluiten. Vervolgens beluchtingsventiel V_4 openen.*

Als de druk is opgelopen tot 1 atm. kan de vacuümkamer worden geopend om de charge te wisselen en eventuele andere werkzaamheden in de kamer te verrichten.

De kamer kan daarna als volgt weer op hoogvacuüm worden gebracht:

9. *Vacuümkamer weer sluiten en V_4 dicht.*
10. *Zie de punten 5, 6 en 7.*

Uitschakelen



11. *Sluit V_1* en schakel de verwarming van de diusiepomp uit.

12. Indien de bedrijfstemperatuur van de diusiepomp tot beneden ca. 50 °C is gedaald, wordt V_2 gesloten, de voorvacuümpomp uitgeschakeld en de koelwatertoevoer afgesloten. Dit is het moment om de koelwaterbeveiliging op zijn werking te controleren. Door kalkaanslag of andere vervuiling vraagt deze koelwaterbeveiliging het nodige onderhoud.

De diffusiepomp wordt niet belucht, doch onder vacuüm gehouden. De diffusiepompolie blijft op die manier schoon, d.w.z. er zal geen lucht in de olie oplossen. Ook het volume van de diffusiepomp behoeft bij een volgende start niet meer vanaf 1 atm. te worden afgepompt, waardoor de startperiode wordt ingekort.

Subject: **Fore Vacuum Pressure**

Date: 12/03/01 at 8:46 AM

Posted by: Anneleen

E-mail: Annieds9@hotmail.com

Message Posted:

Dears,

Can someone explain me the following settlement:

When the fore vacuum pressure is $10E-3$ mbar, we measure in our diffusionpump temperatures of $150^{\circ}C$ (oil).

When the fore vacuum pressure is $10E-2$ mbar, we measure temperatures of $110^{\circ}C$.

That's a difference of $40^{\circ}C$. I do not see the link between the temperature en this pressure?

A consequence is more backstreaming (oil temp is not high enough anymore), and that's what I need to avoid.

Hoping someone can explain me,

Thanks a lot,

Anneleen

Antwoorden

Subject: **Re: Fore Vacuum Pressure**

Date: 12/03/01 at 6:01 PM

Posted by: Vladimir Tchoutko

E-mail: chutko@earthlink.net

Message Posted:

In Reply to: [Fore Vacuum Pressure](#) posted by Anneleen on 12/03/01 at 8:46 AM:

Dear Anneleen,

It seems to me something is wrong ... Looks like the temperature is too small. I never used to measure it but let me give you a standard boiling points for diffusion oils: DC702 - 180C, DC704 - 215C, DC705 - 245C, Santovac5 - 275C (at pressure 0,5 torr); Apiezon 201 - 160C, Apiezon A - 190C, ApiezonB - 220C, ApiezonC - 255C (1.3 mbar), and only Difoil - 127C and Difoil-S - 141C at 0.01 torr. Are you sure that your diffusion pump heater is OK?

Vladimir

Nog meer antwoorden

Subject: **Re: Fore Vacuum Pressure**

Date: 12/19/01 at 10:54 PM

Posted by: Bill Rich

E-mail: crudly1@yahoo.com

Message Posted:

Annalene,

While Vladimir is correct as it does seem there is something else wrong with the system. I would like to suggest this possibility to answer your question. Maybe when the foreline is at the higher pressure it is giving some of it's energy to the gas it is pumping, it must be pumping gas if the foreline is higher. Perhaps there is more heat transfer to the diffusion pump walls through the gas when at a higher pressure. In either case those pressures are not enough to explain any difference of temperature on a properly functioning Diff pump

Gegevens diffusiepomp

Model Type Number	M-2 0189	HS-2 0160	M-4 0187	VHS-4 0183	M-6 0188
Speed (l/s)					
Air	175	285	800	1,200	1,500
Hydrogen	210	340	1,000	1,600	1,800
Helium	210	340	1,000	1,500	1,800
Normal Operating Range	2×10^3 to $< 5 \times 10^{-8}$	2×10^3 to $< 5 \times 10^{-8}$	1×10^3 to $< 5 \times 10^{-9}$	2×10^3 to 5×10^9	1×10^3 to 5×10^9
Untrapped, Torr (mbar)	(2.6×10^{-3}) to 6.5×10^{-8})	(2.6×10^{-3}) to 6.5×10^{-8})	(1.3×10^{-3}) to 6.5×10^{-9})	(2.6×10^{-3}) to 6.5×10^{-9})	(1.3×10^{-3}) to 6.5×10^{-9})
Maximum Forepressure					
Torr (mbar)					
No load	0.55 (.71)	0.55 (.71)	0.65 (.86)	0.65 (.84)	0.70 (.91)
Full load	0.40 (.52)	0.40 (.52)	0.45 (.59)	0.55 (.71)	0.60 (.78)
Maximum Throughput					
at 1×10^{-2} Torr (mbar-l/s)	0.65 (.84)	0.55 (.71)	1.5 (2.0)	2.5 (3.2)	2.4 (3.1)
Minimum Recommended Backing Pump for Maximum Throughput					
cfm (m^3/hr)	5 (8.5)	5 (8.5)	10 (17)	10 (17)	11 (18.7)
Backstreaming Rate at inlet flange					
($mg/cm^2/min$)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-4}
Warmup Time (minutes)	10	15	12	10	12
Cooldown Time (minutes) with Quick Cool Coil where applicable	30	10	20	10	20
Fluid Charge	100 cm^3	100 cm^3	250 cm^3	300 cm^3	400 cm^3