

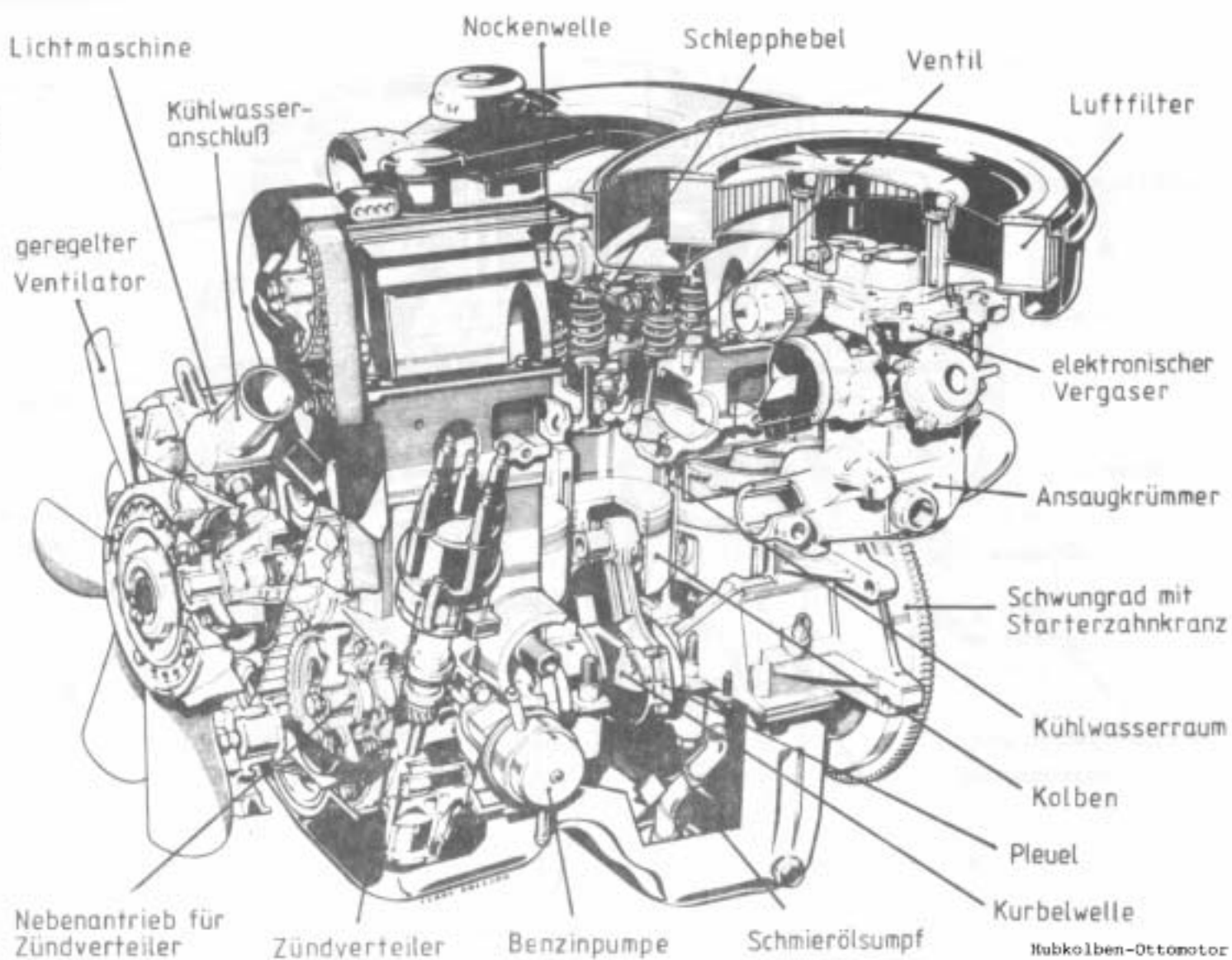
4-Takt-Dieselmotor für LKW-Antrieb

**Mercedes-Benz OM 442 LA**

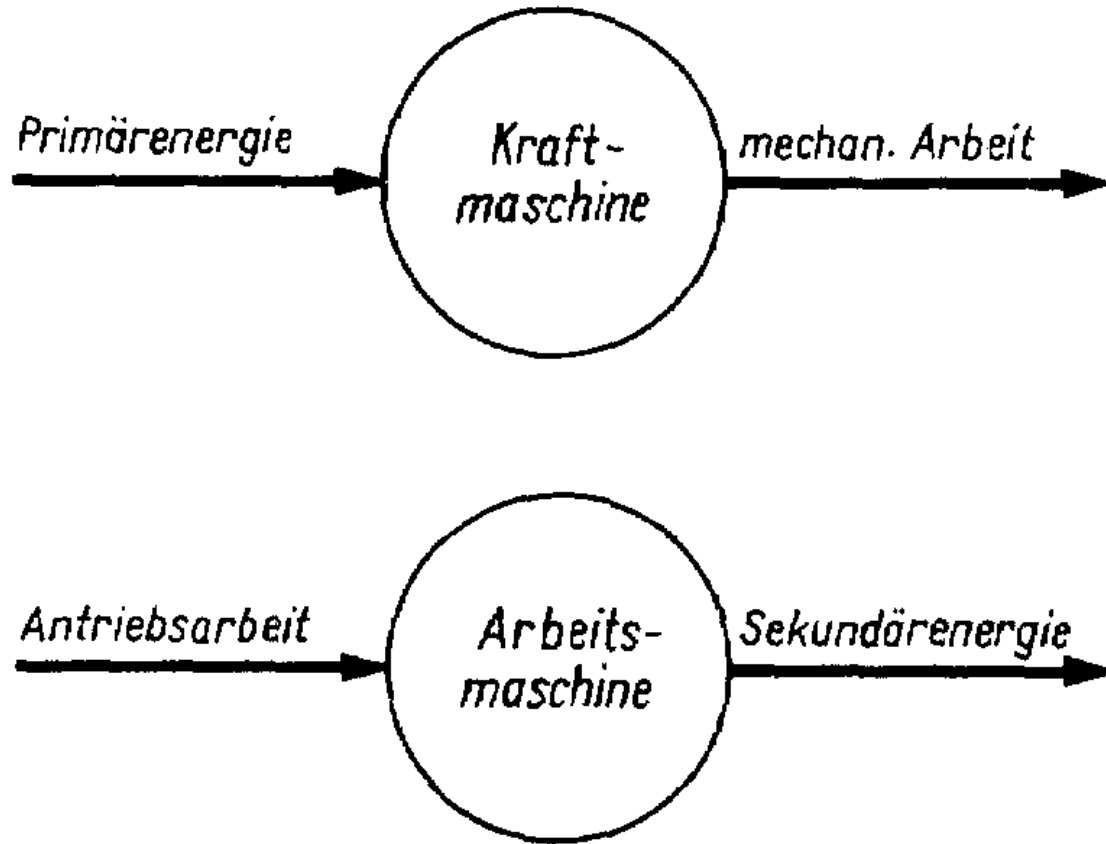
$D = 128 \text{ mm}$ ,  $s = 142 \text{ mm}$ ,  $P_e = 320 \text{ kW}$  (435 PS)

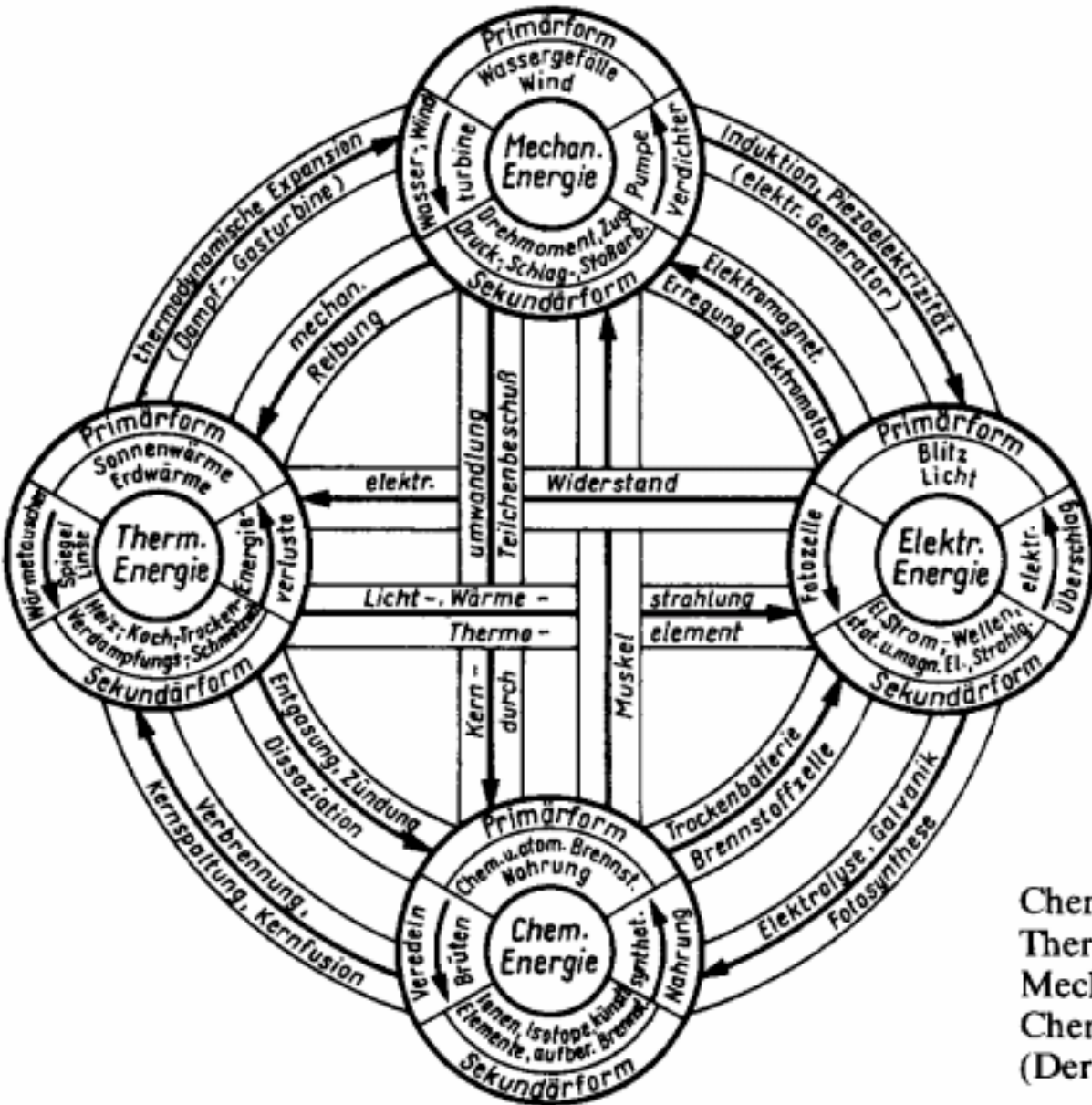
bei  $n = 2100 \text{ min}^{-1}$ ,  $z = 8$

05394



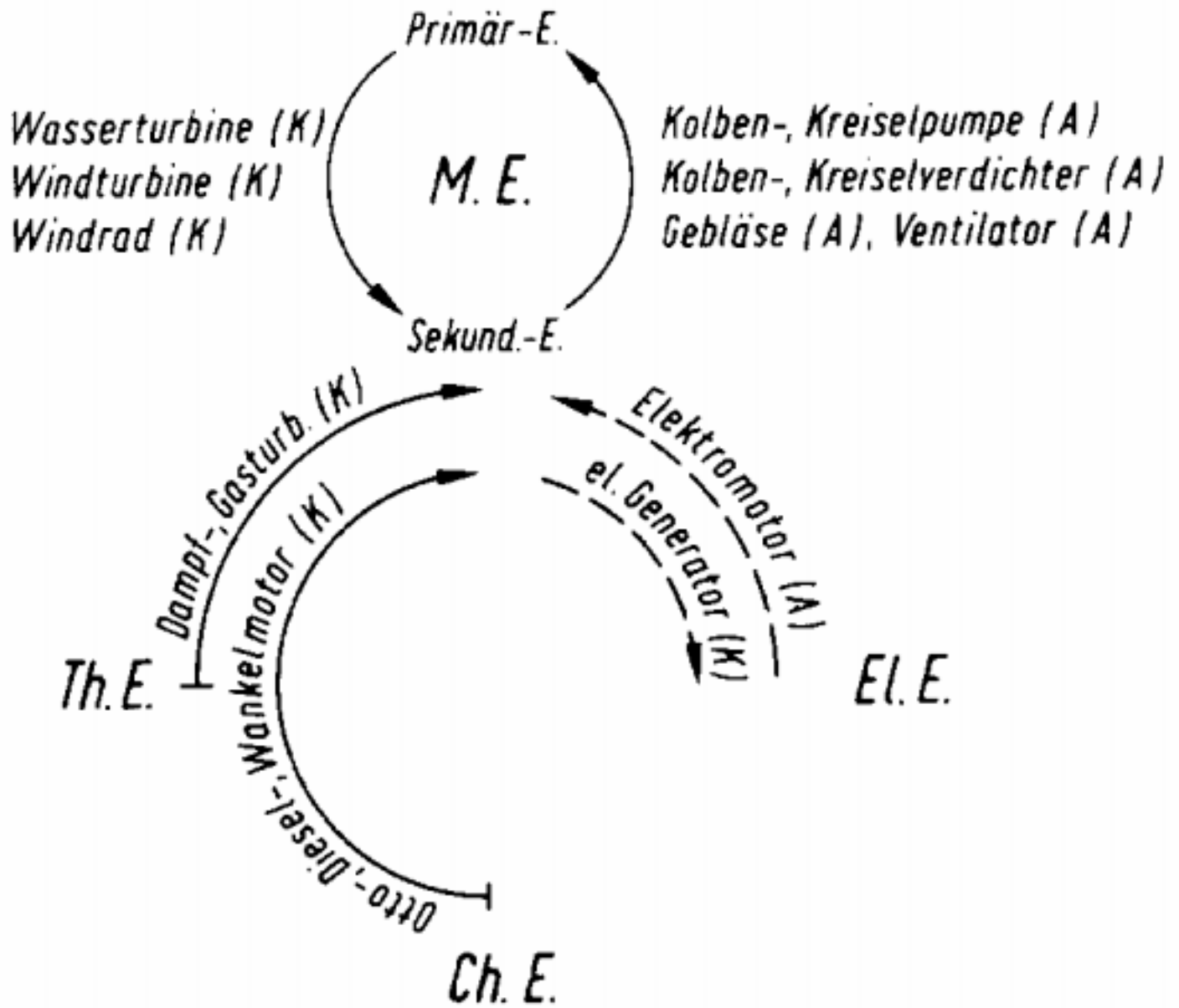
Hubkolben-Ottomotor (4-Takt) für PKW-Antrieb  
**Ford Sierra 2,0 L**  
 $D = 90,82 \text{ mm}$ ,  $s = 75,95 \text{ mm}$ ,  $P_{\text{e}} = 77 \text{ kW (90 PS)}$   
 bei  $n = 5200 \text{ min}^{-1}$ ,  $z = 4$





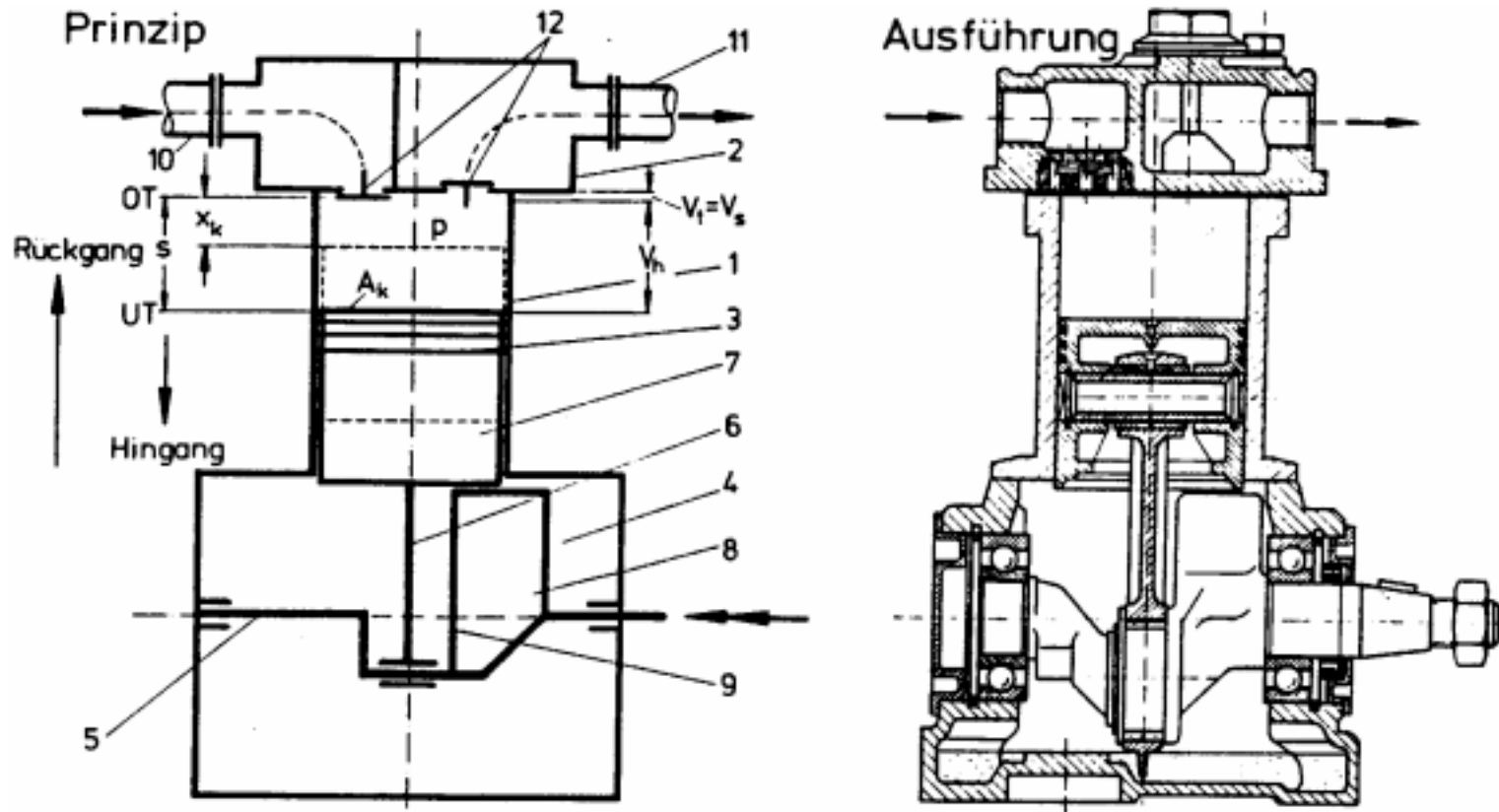
Chemisch	- Thermisch	80-92%
Thermisch	- Mechanisch	20-45%
Mechanisch	- Elektrisch	90-98%
Chemisch	- Elektrisch	45-50%

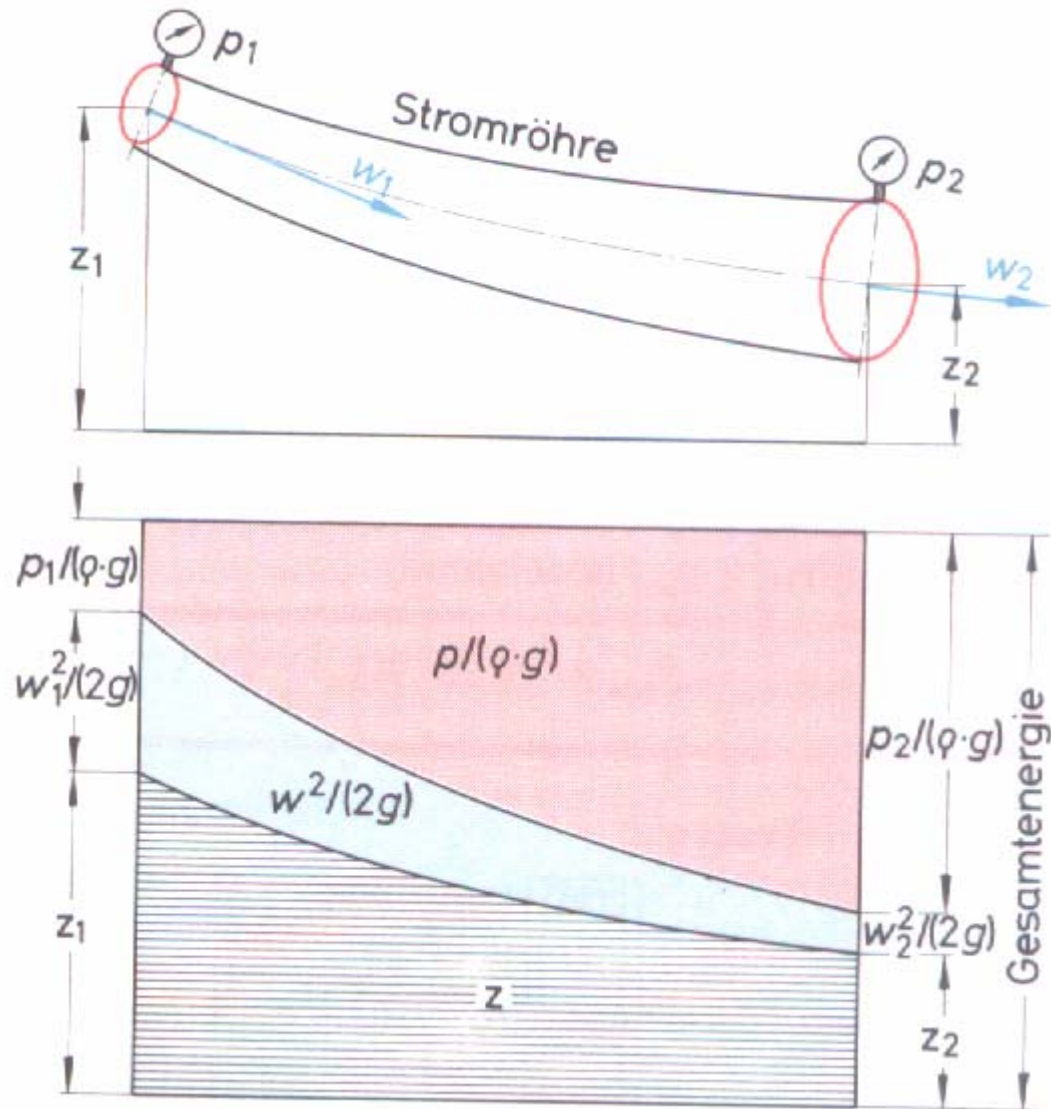
(Derzeitiger Stand der Technik)

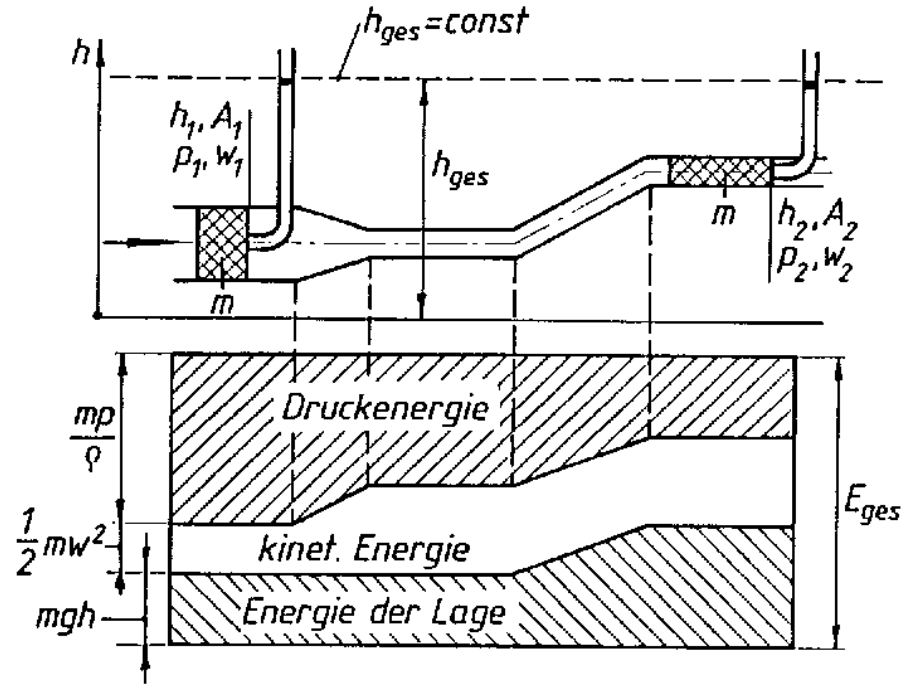




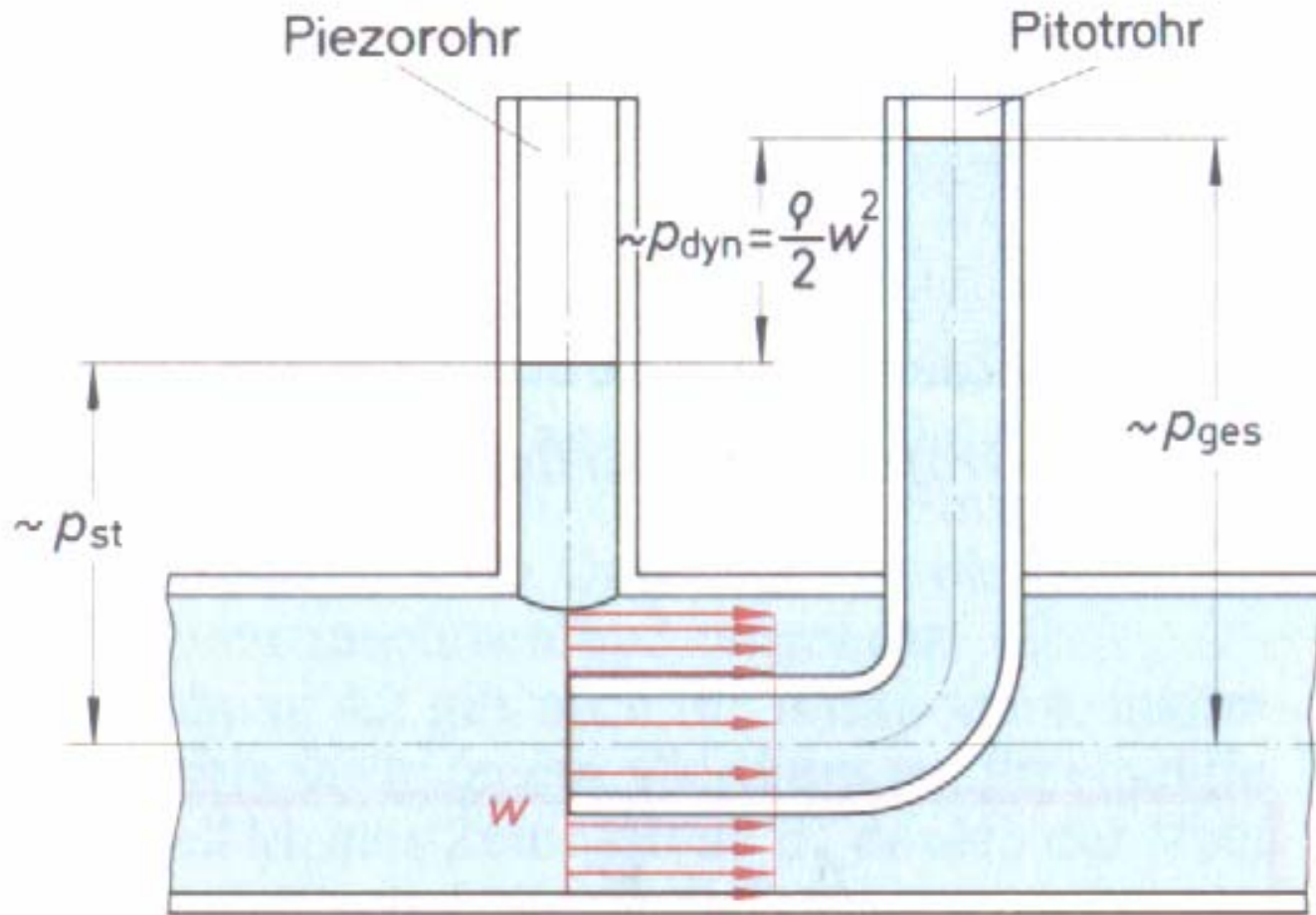
# Kolbenmaschinen I (Verdrängermaschinen)





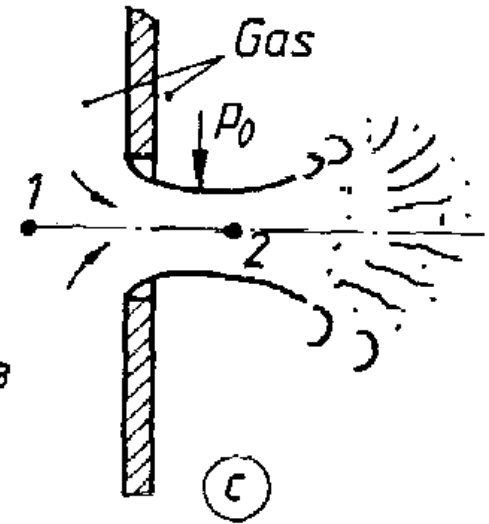
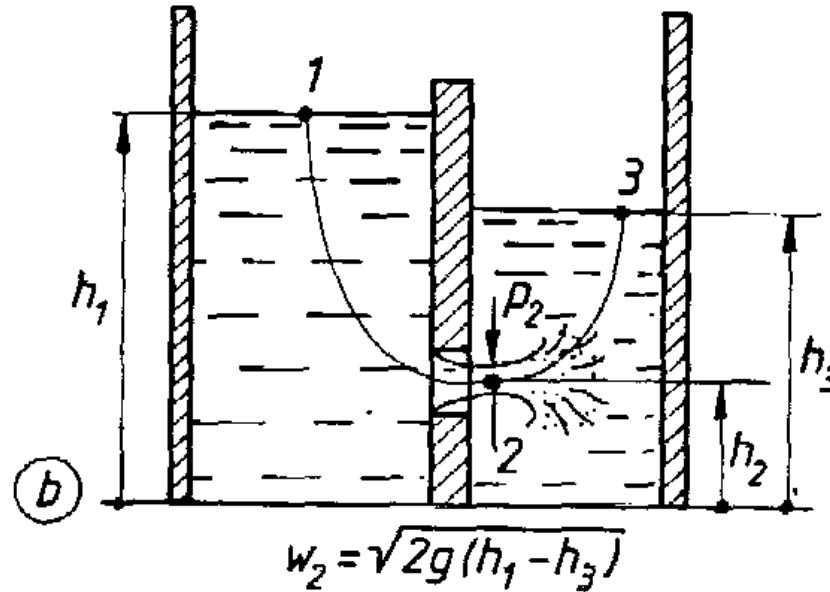
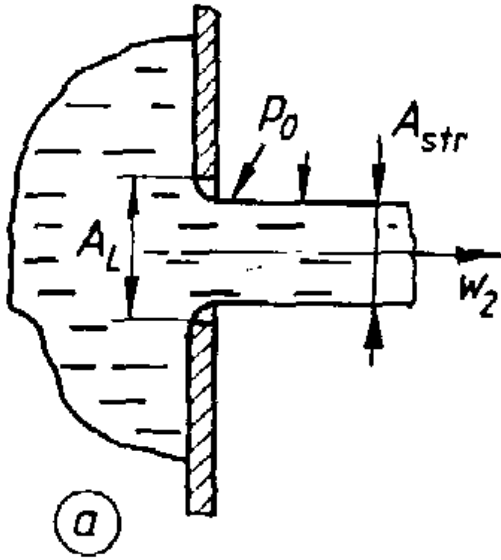


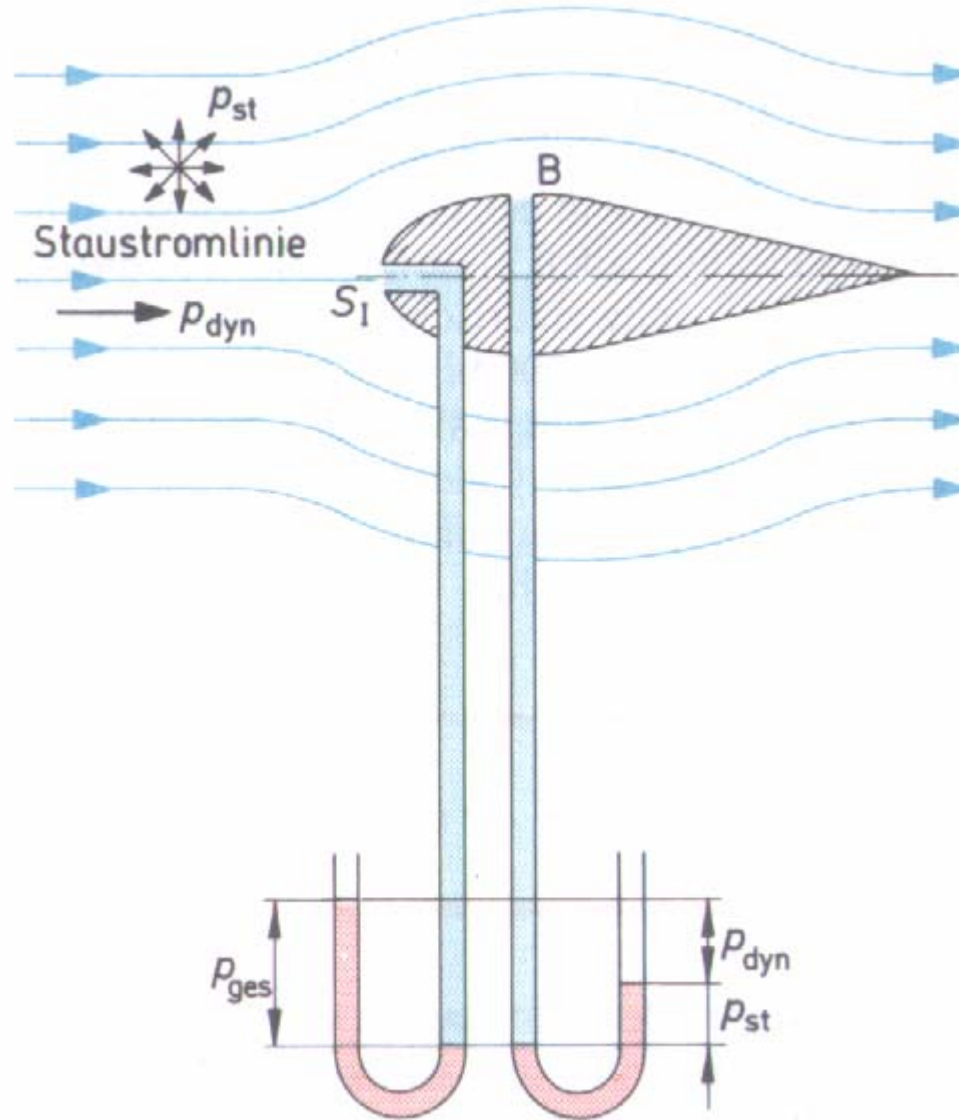
Dynamischer Anteil	Geodätischer Anteil	Statischer Anteil	Gesamt	SI-Einh.		
Energiegleichung						
$\frac{w^2}{2}$	+	$g \cdot h$	+	$\frac{p}{\rho}$	= $e_{ges} = \text{const.}$	$\frac{\text{Nm}}{\text{kg}}, \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$
Druckgleichung						
$\rho \cdot \frac{w^2}{2}$	+	$\rho \cdot g \cdot h$	+	$p$	= $\text{const.}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
Höhengleichung						
$\frac{w^2}{2g}$	+	$h$	+	$\frac{p}{\rho \cdot g}$	= $h_{ges} = \text{const.}$	$\text{m}$

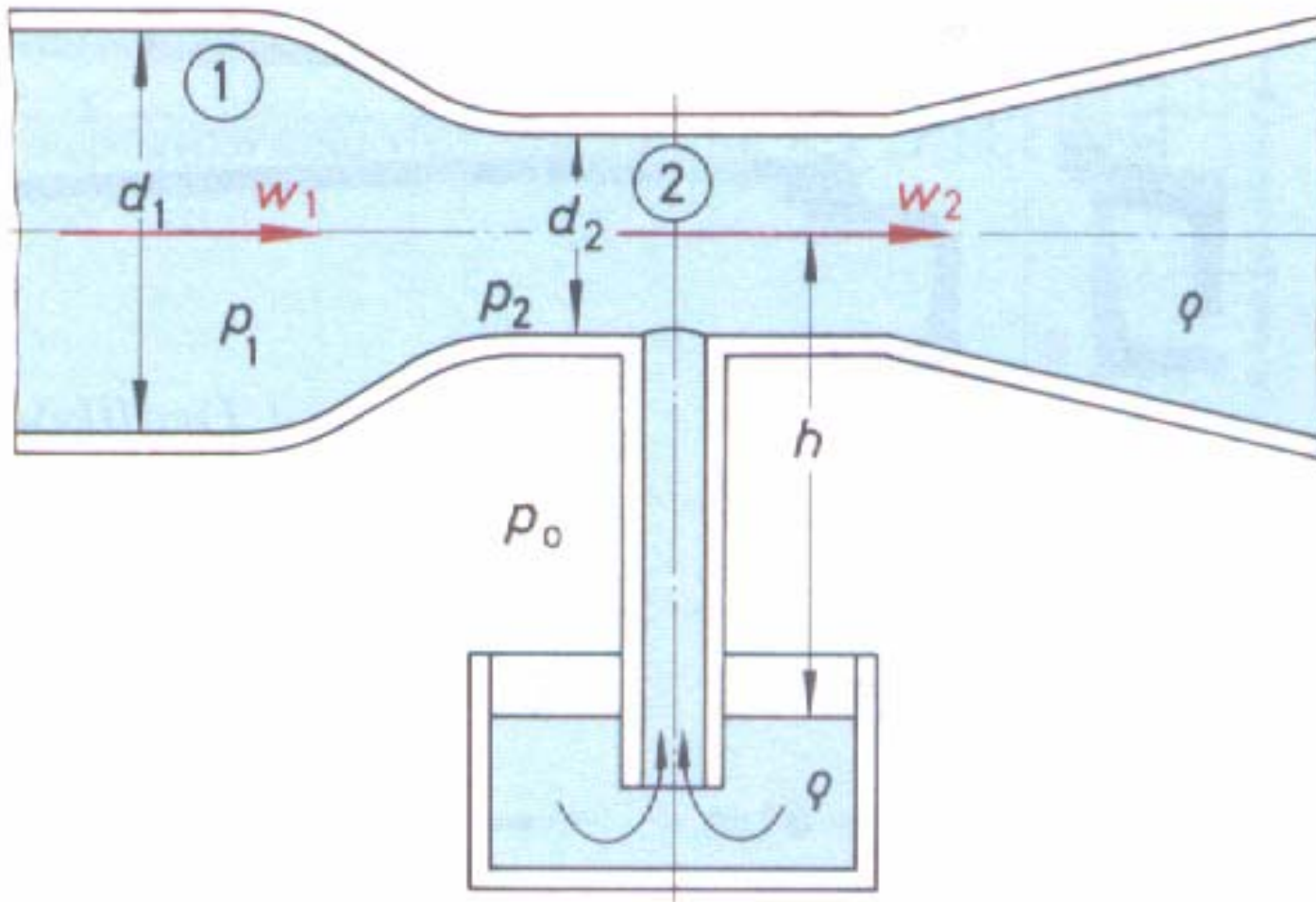


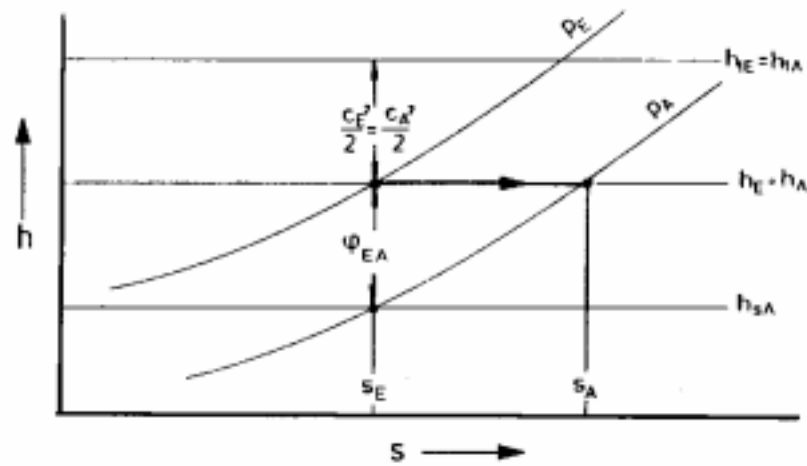
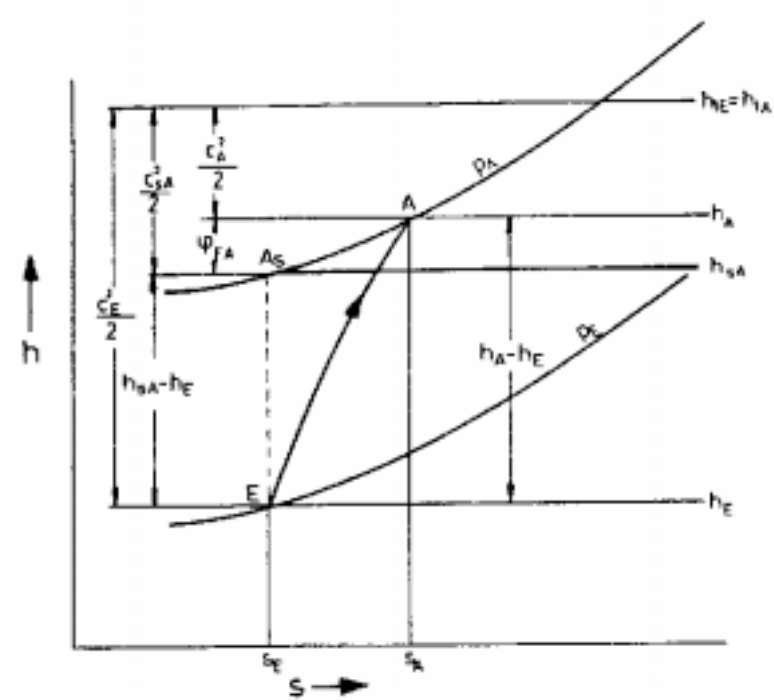
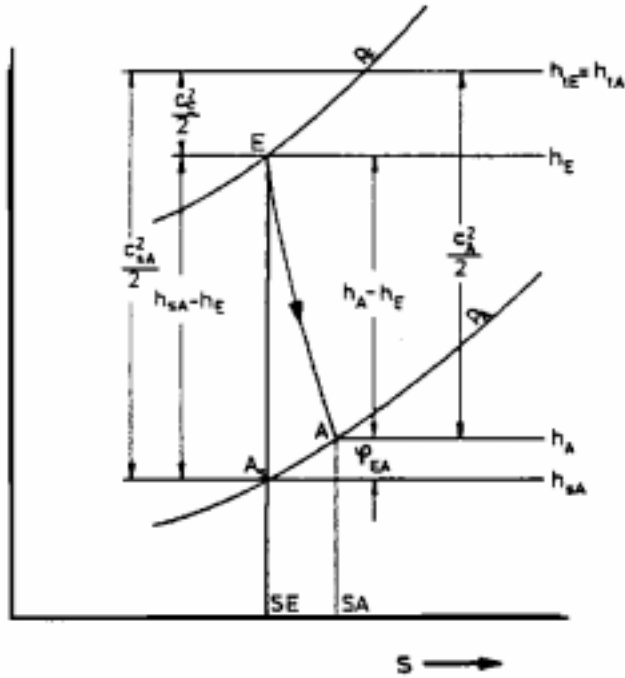
$$\frac{p_1}{\rho} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}w_2^2 + gh_2$$

$$p_2 = \rho g(h_3 - h_2)$$

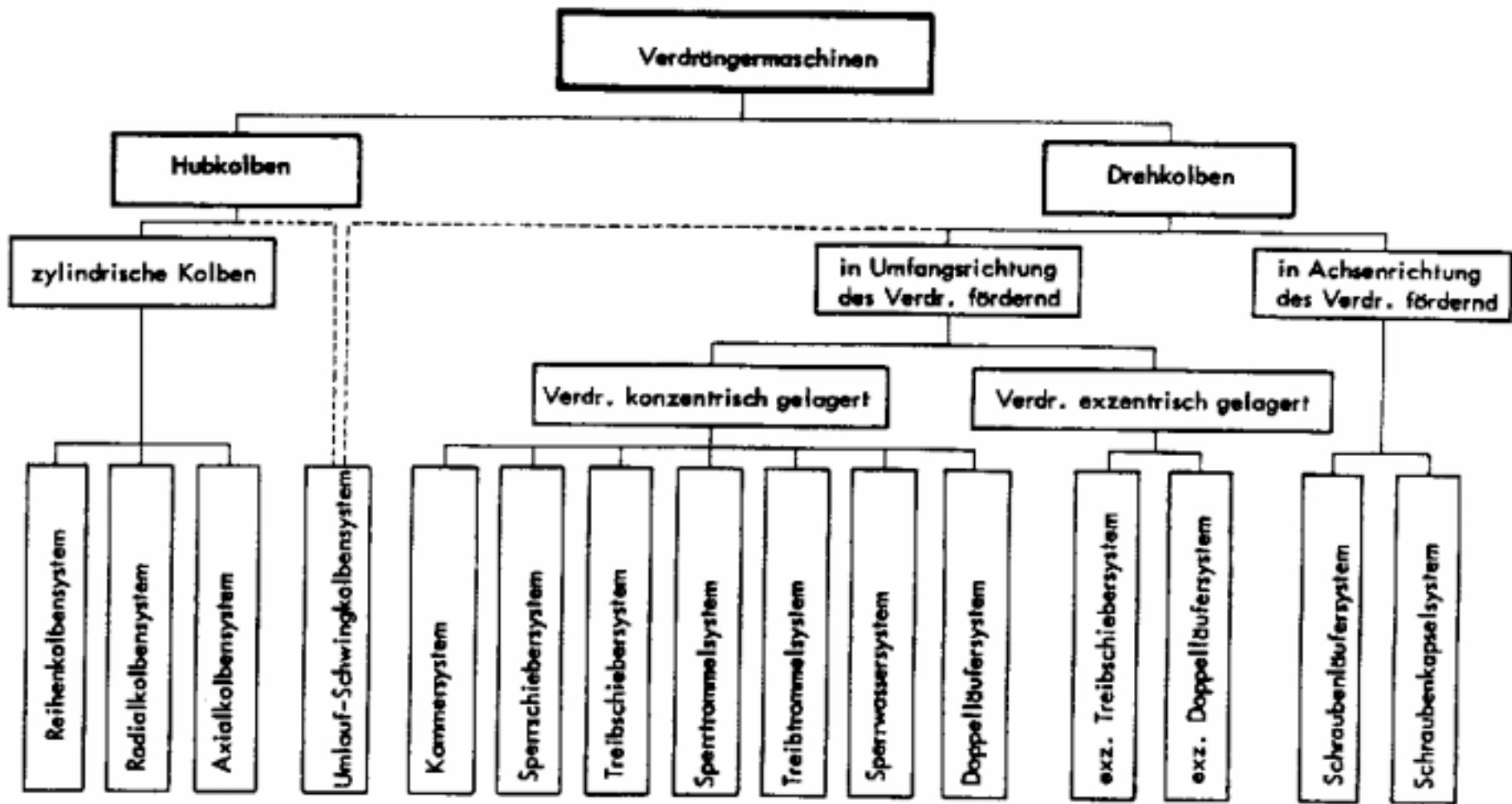


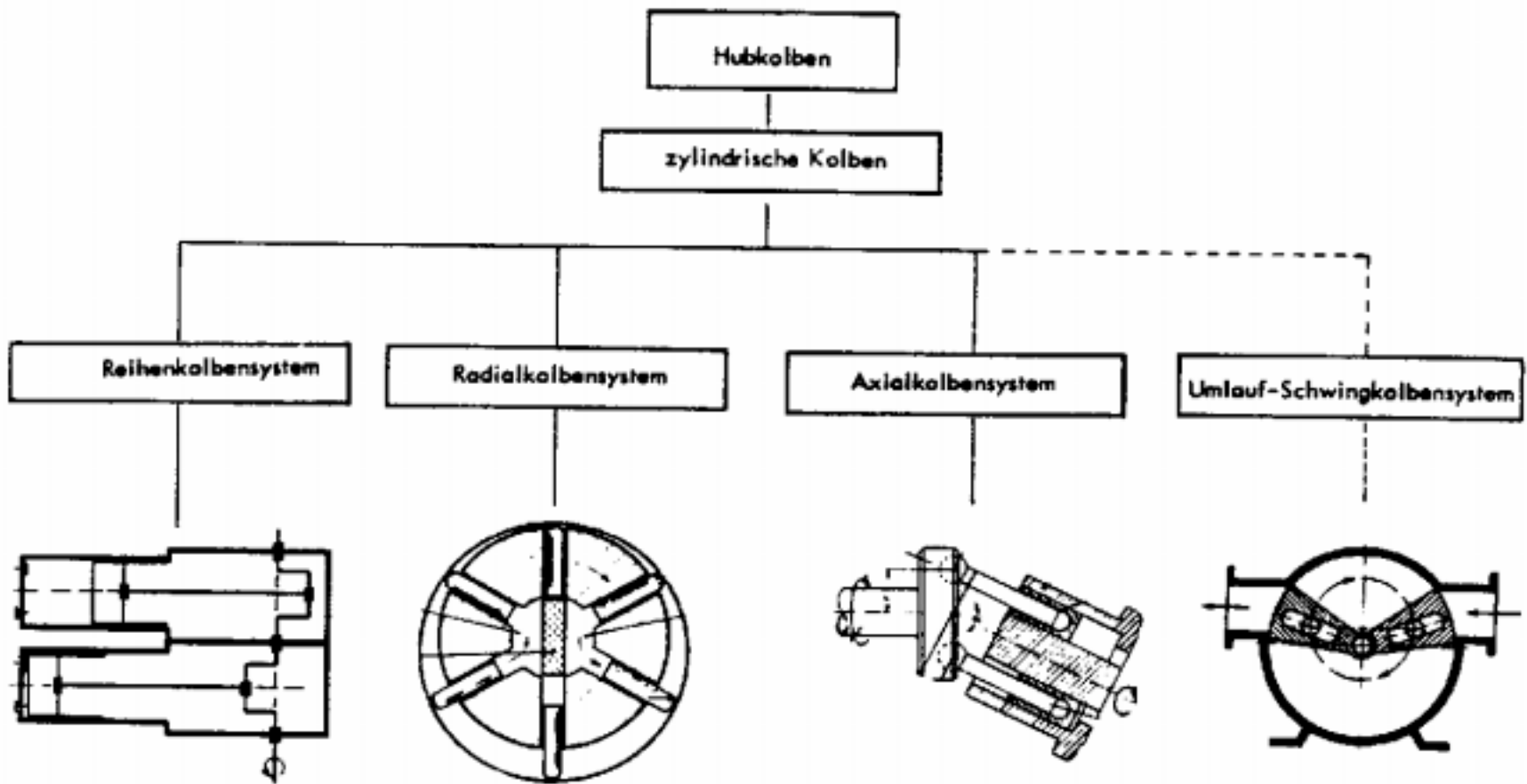


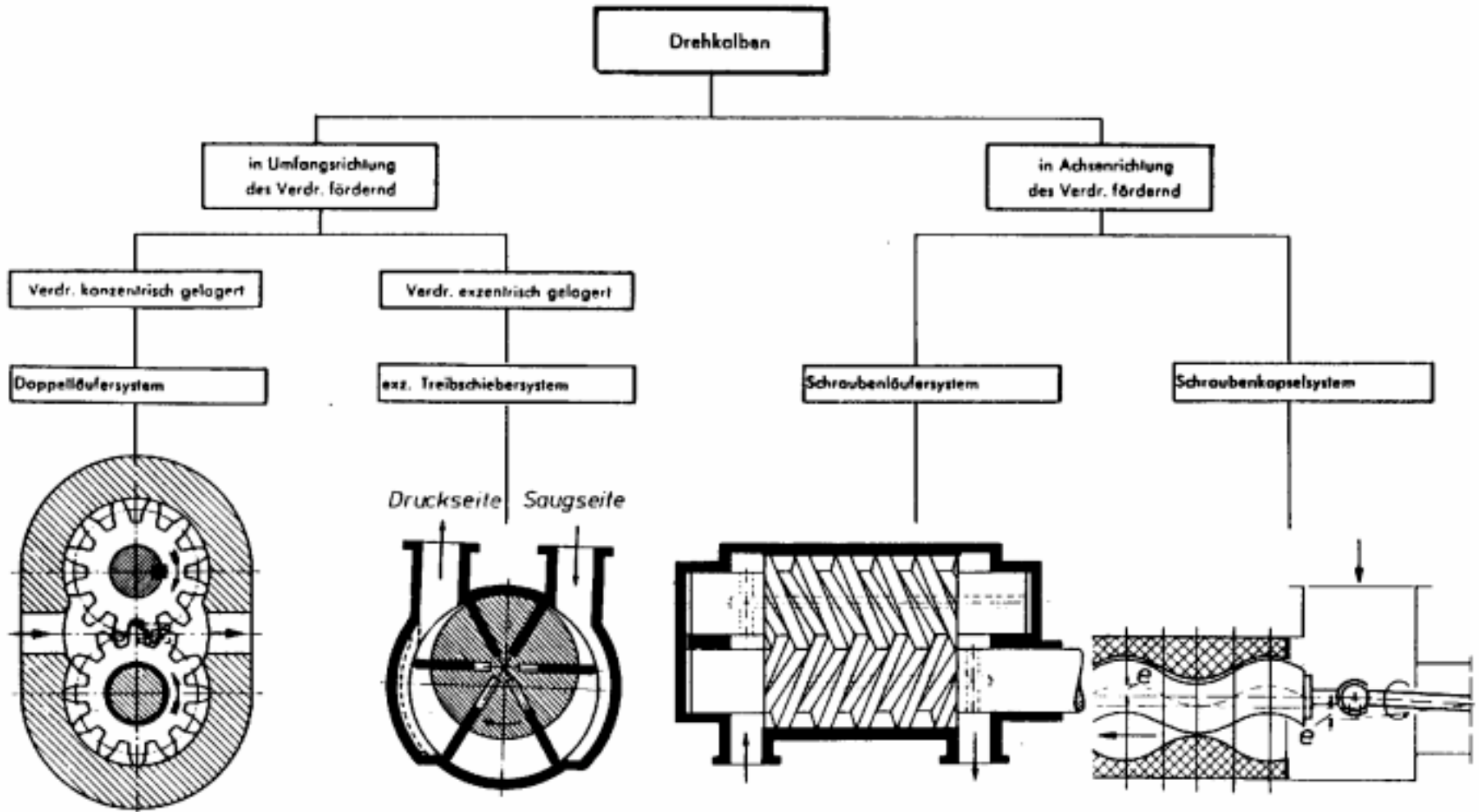


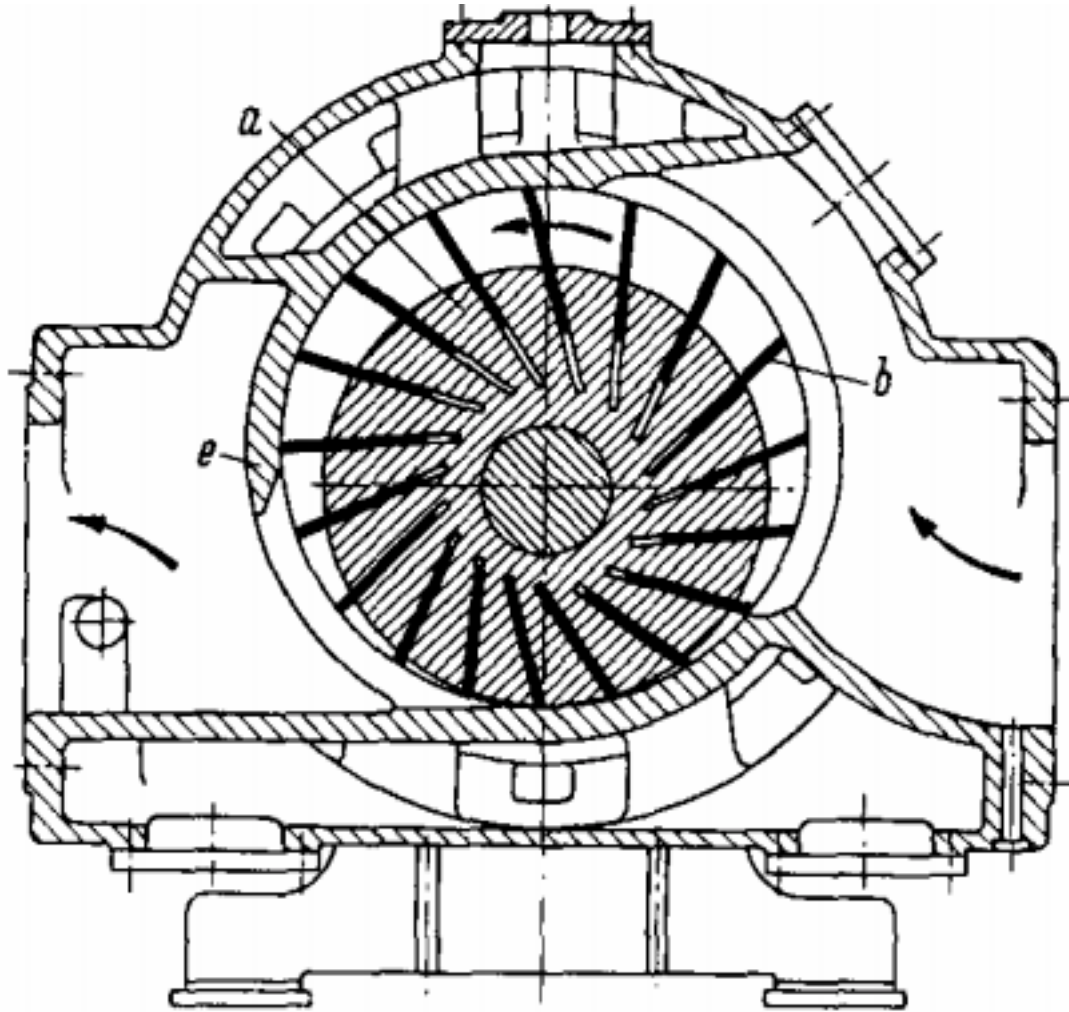


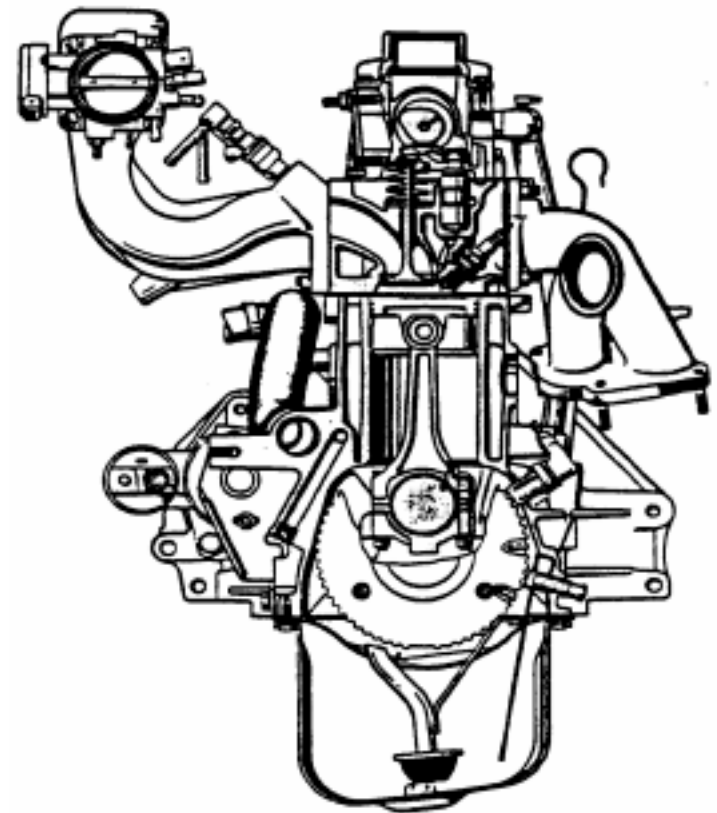
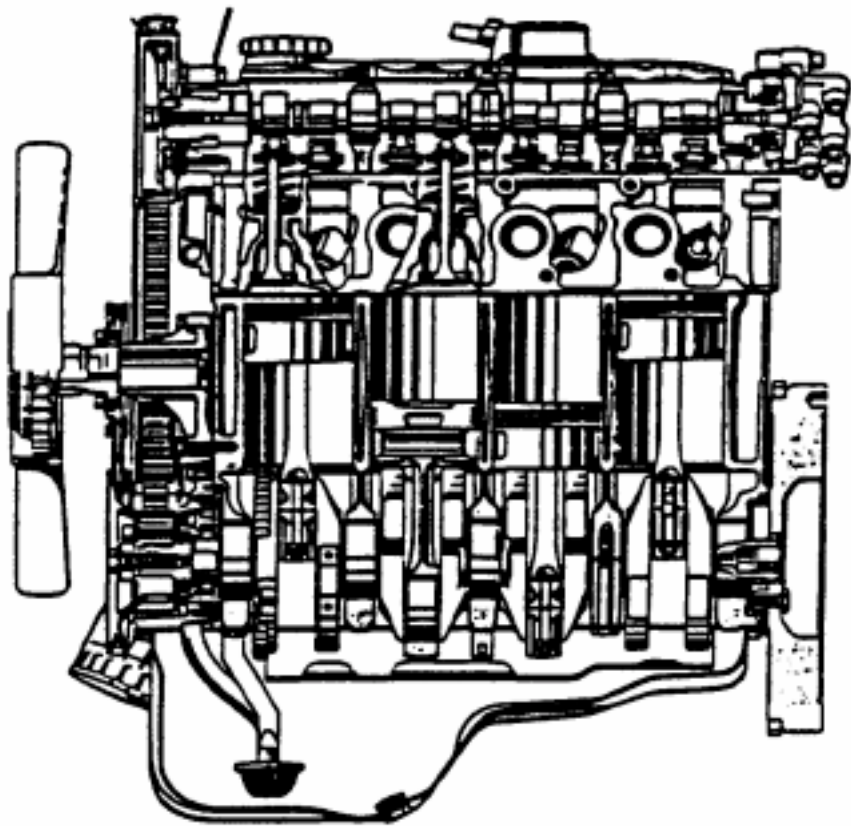


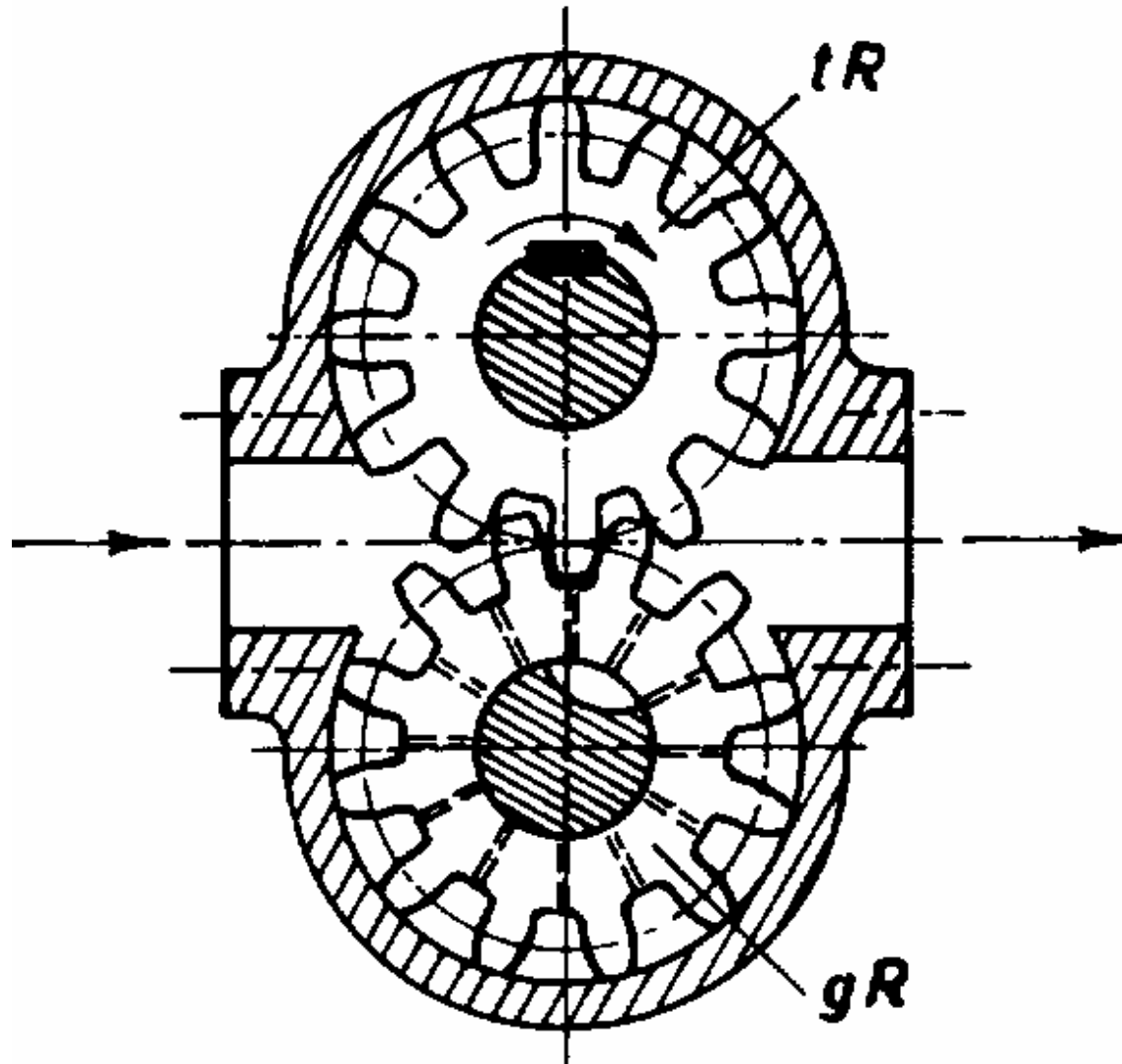


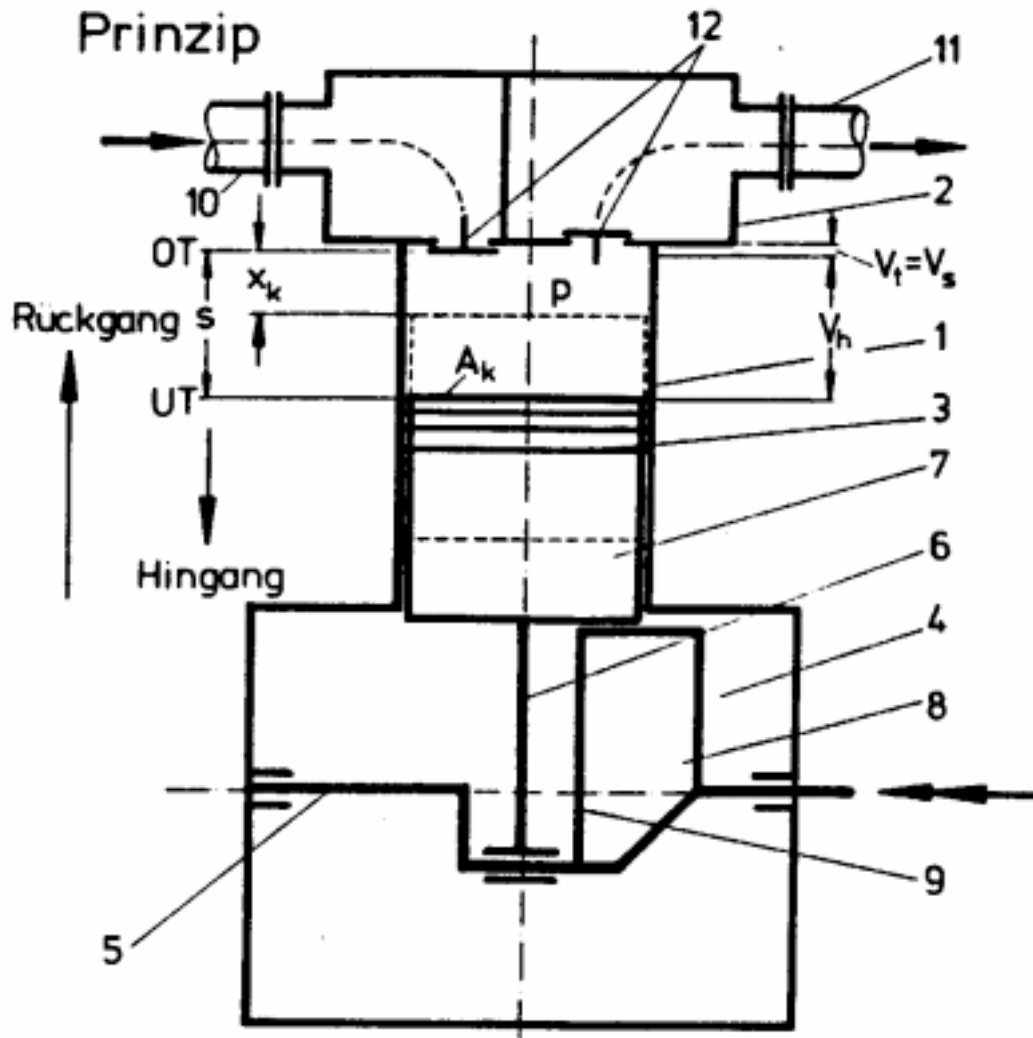


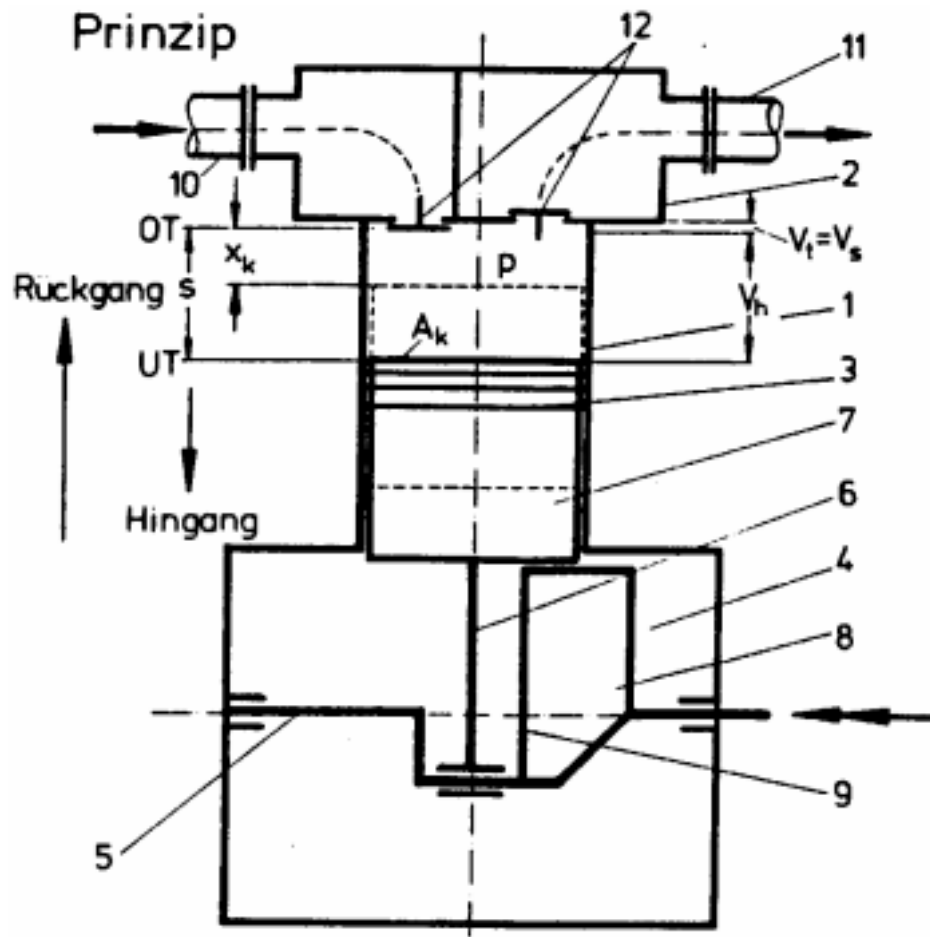




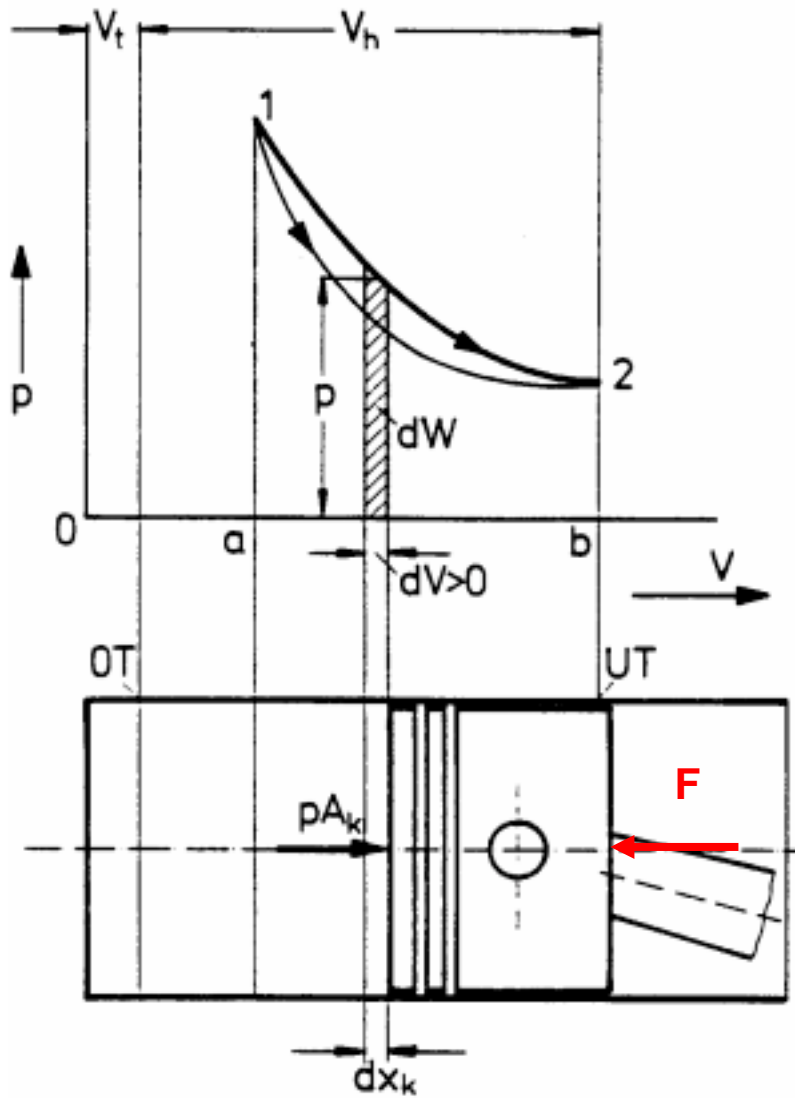


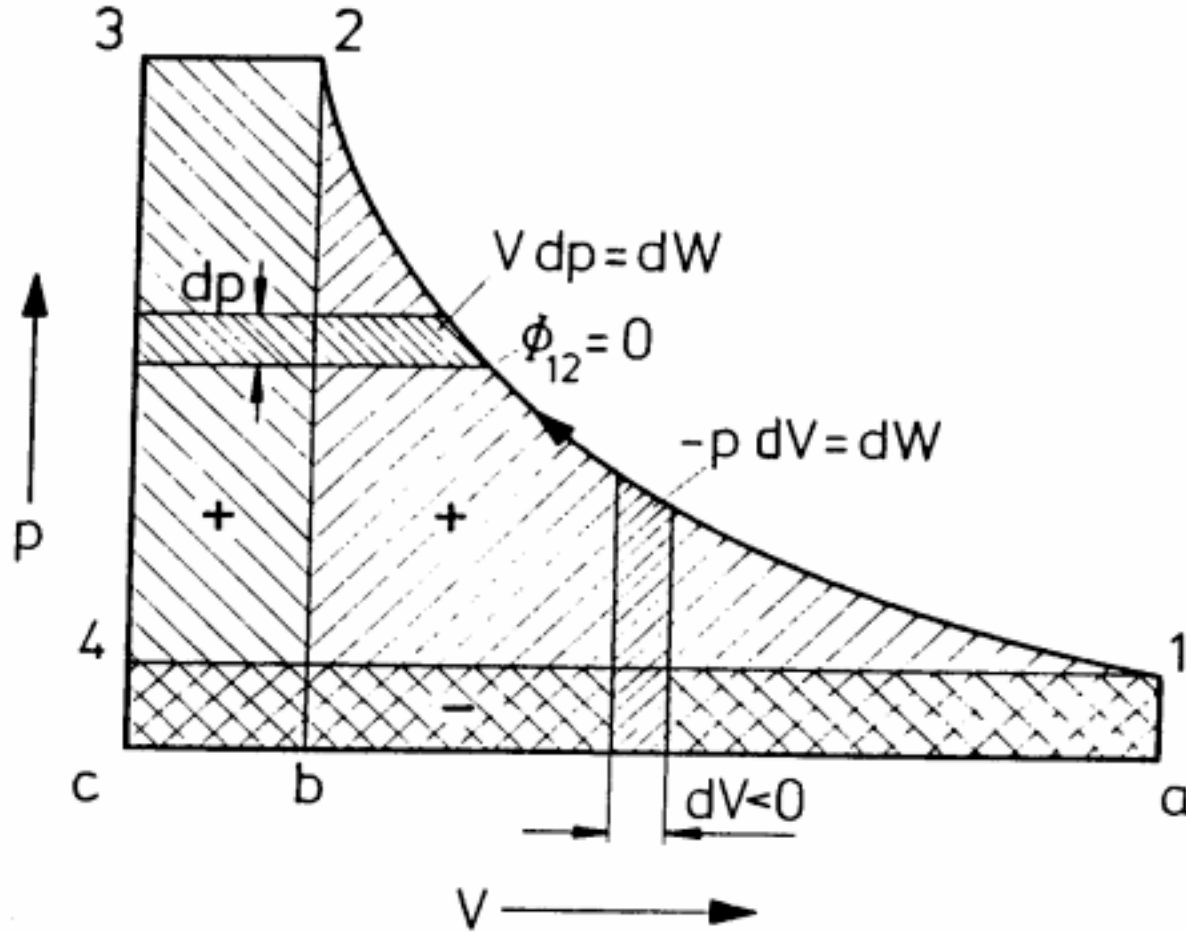


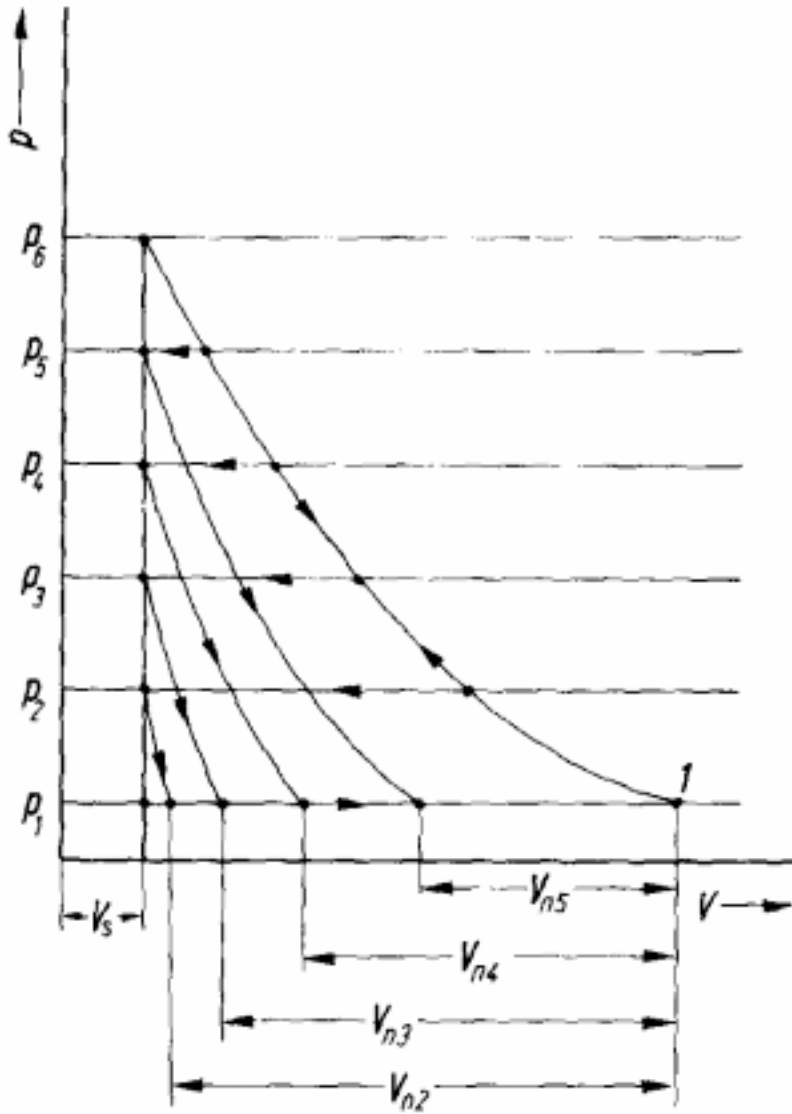




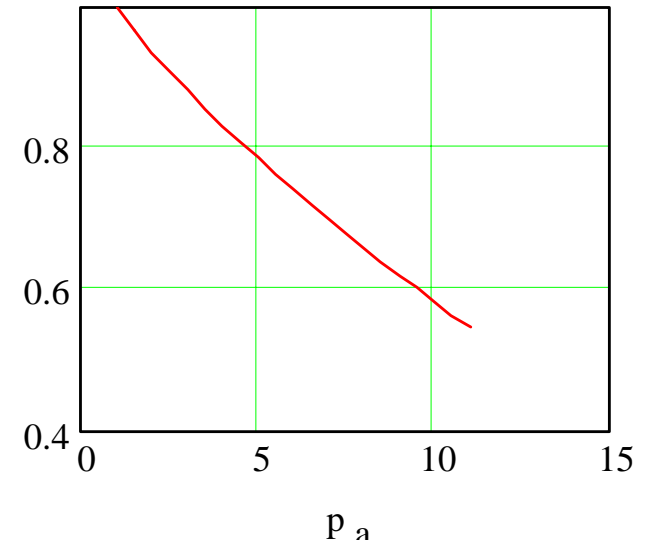




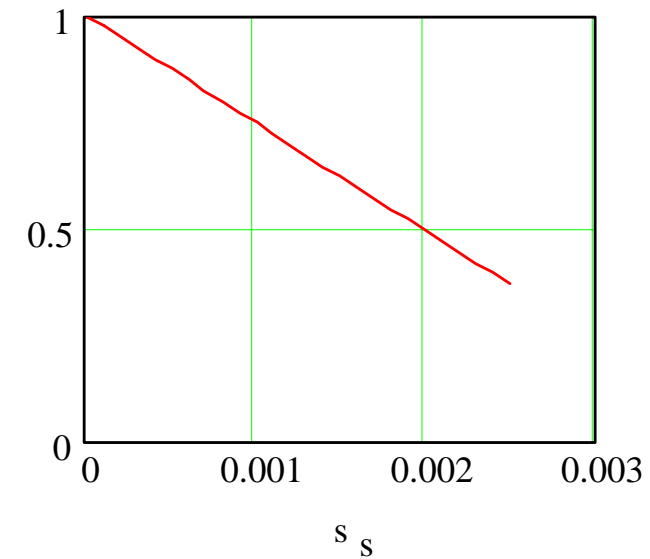


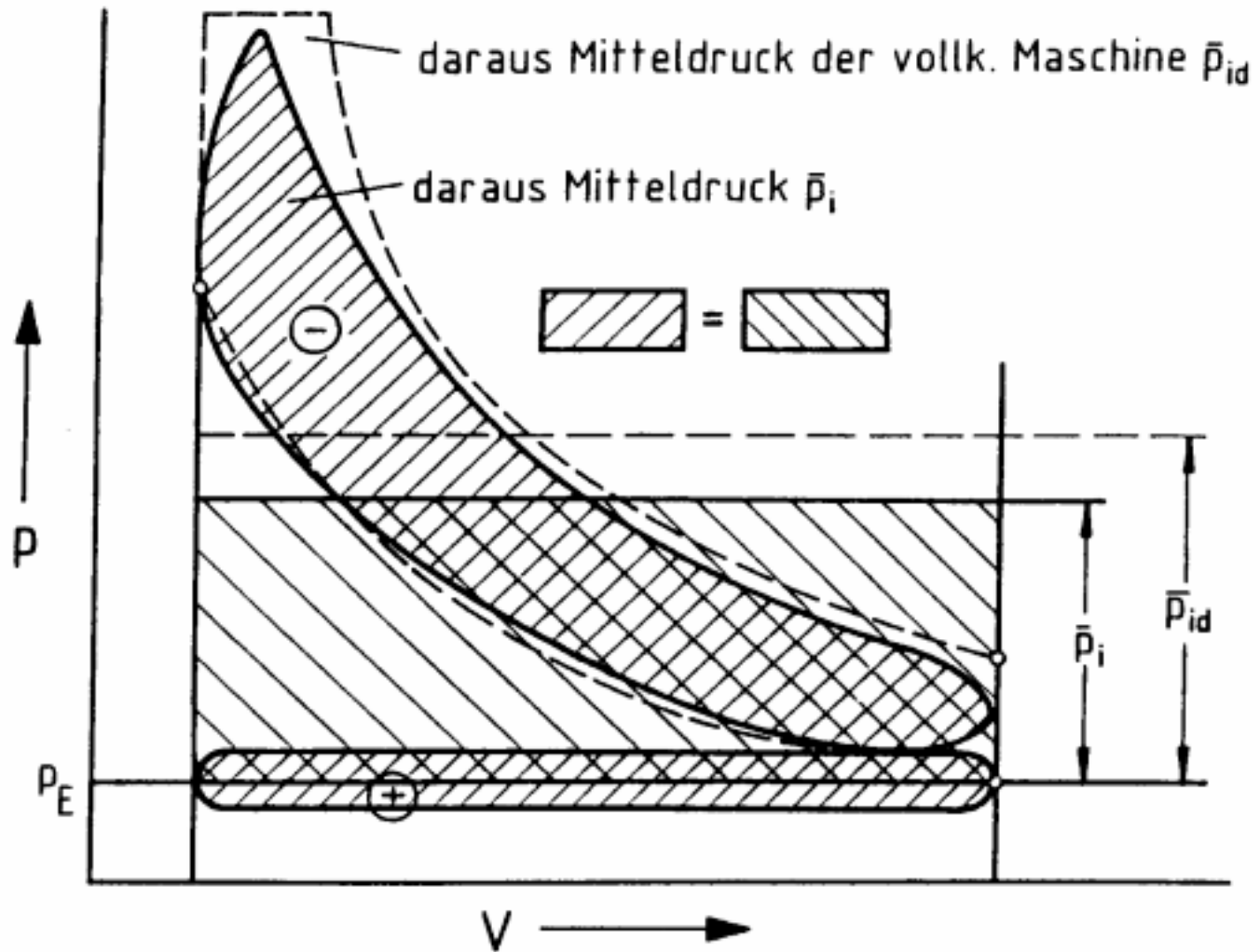


$$\lambda_{F_p}(p_a)$$



$$\lambda_{F_s}(s_s)$$

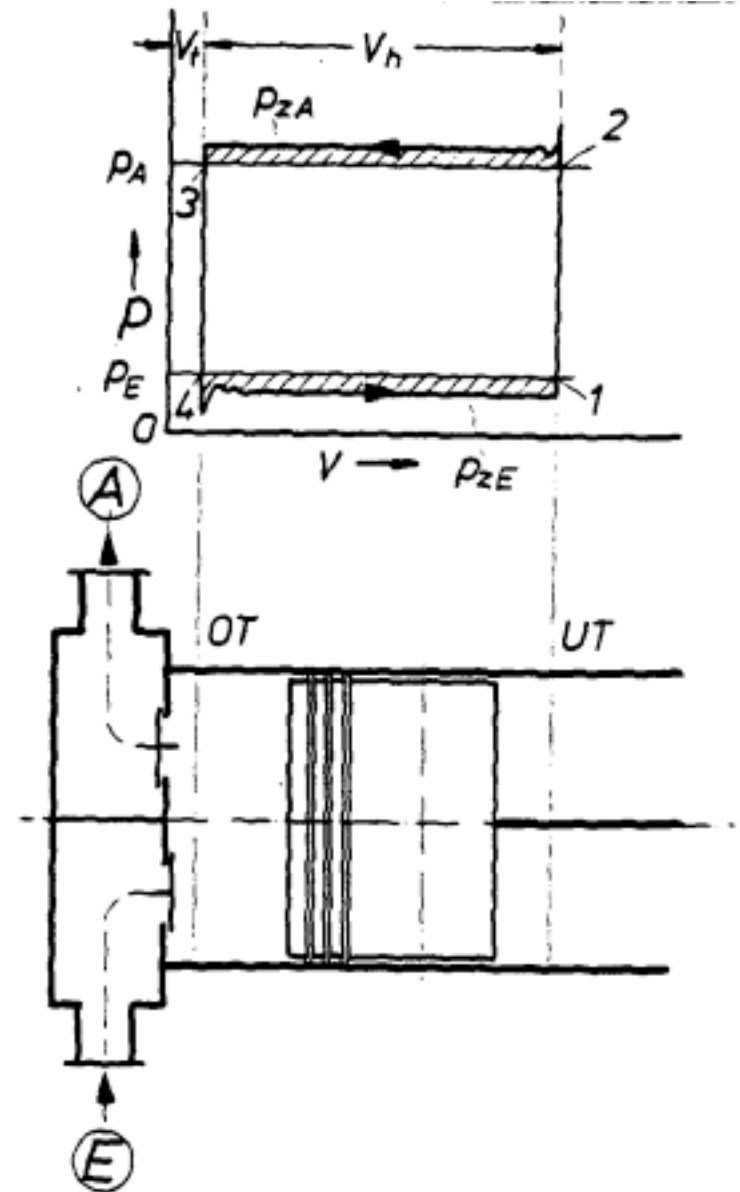




Arbeitsspiele von Verdrängerpumpen:

1. Ansaugen (dissipativ)
2. Druckerhöhung / Kompression
3. Ausschieben (dissipativ)

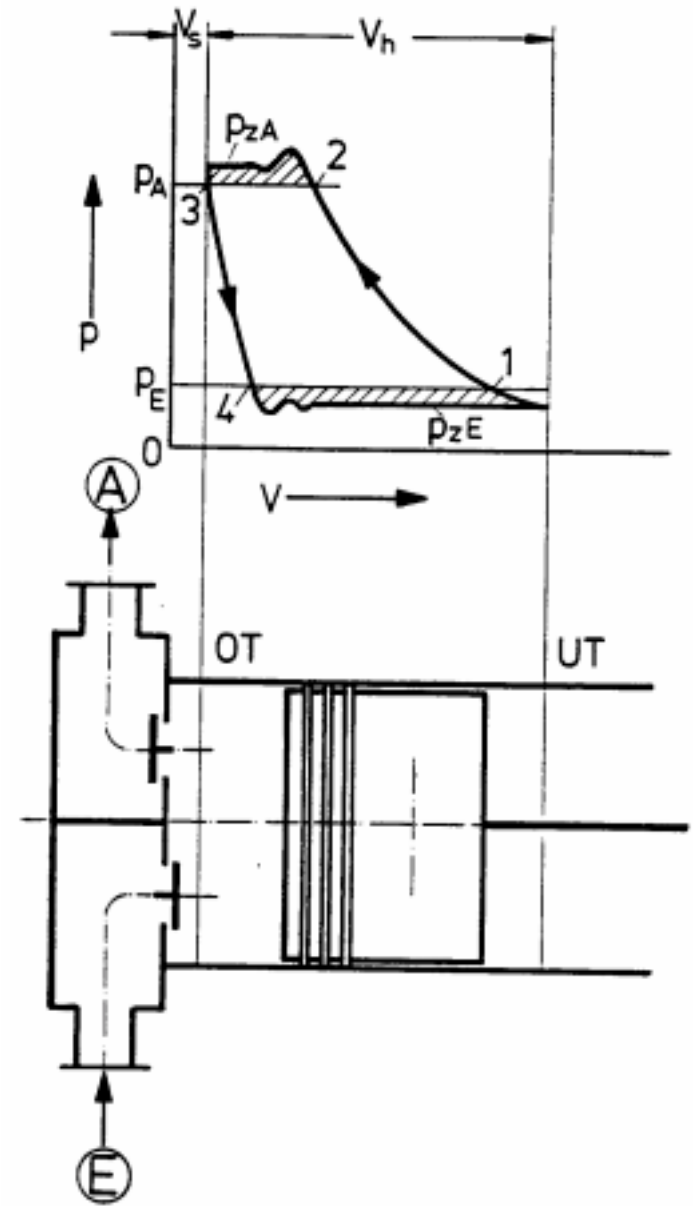
Ideale tropfbare Flüssigkeiten sind inkompressibel. Bei vielen Betrachtungen ist es oft auch bei realen Flüssigkeiten zulässig, inkompressibel zu rechnen, aber nicht immer (speziell bei sehr großen Druckunterschieden und bei Fluiden, die einen hohen Gasanteil gebunden haben und diesen bei Druckänderung freisetzen)



Arbeitsspiele von Kompressoren:

1. Ansaugen (dissipativ)
2. Kompression
3. Ausschieben (dissipativ)
4. Rückexpansion

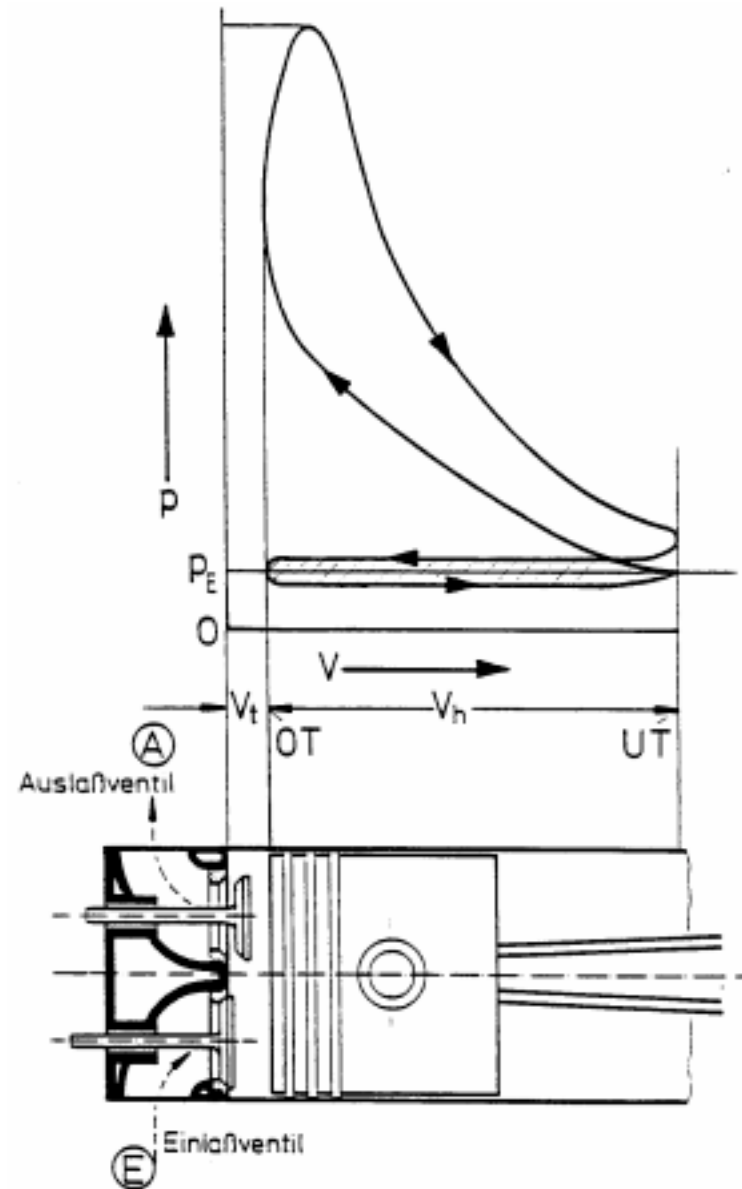
Die Masse im Zylinder wird zwischen 2 und 3 (OT) ausgeschoben (Schadraum). Die Restmasse 3 expandiert auf den Ansaugdruck zurück und verringert so die theoretisch ansaugbare Frischladung



Arbeitsspiele von Verbrennungsmotoren:  
(4-Takt; 1 Arbeitsspiel / 2 Umdrehungen)

- |                 |      |         |
|-----------------|------|---------|
| 1. Ansaugen     | 0    | →180°KW |
| 2. Kompression  | 180° | →360°KW |
| 3. Arbeitshub   | 360° | →540°KW |
| 4. Ausschleiben | 540° | →720°KW |

Im Zylinder verbleibt ebenfalls eine Restmasse.  
Zum Ladungswechsel sind zwangsgesteuerte Ventile erforderlich



Arbeitsspiele von Verbrennungsmotoren:  
(2-Takt; 1 Arbeitsspiel / Umdrehung)

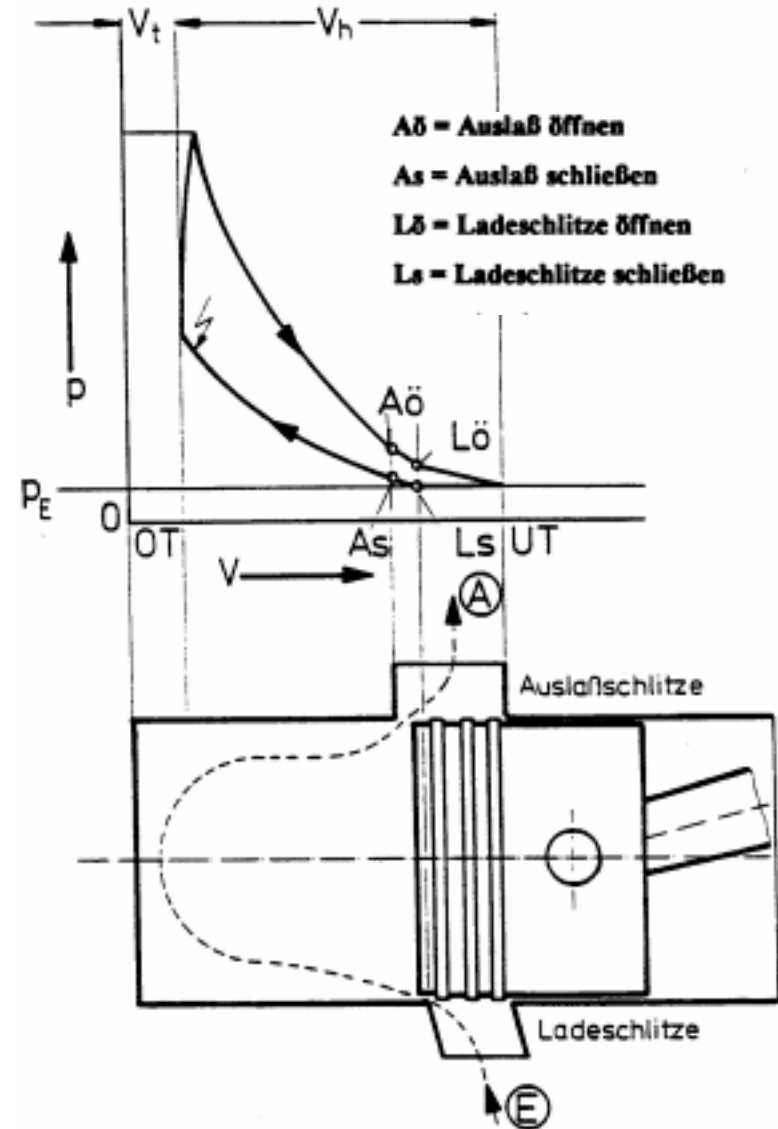
1. 0 → 180° KW

Bis AÖ: Ladungswechsel; Restgase werden von Frischmasse verdrängt.  
Kompression und Zündung (kurz vor OT)

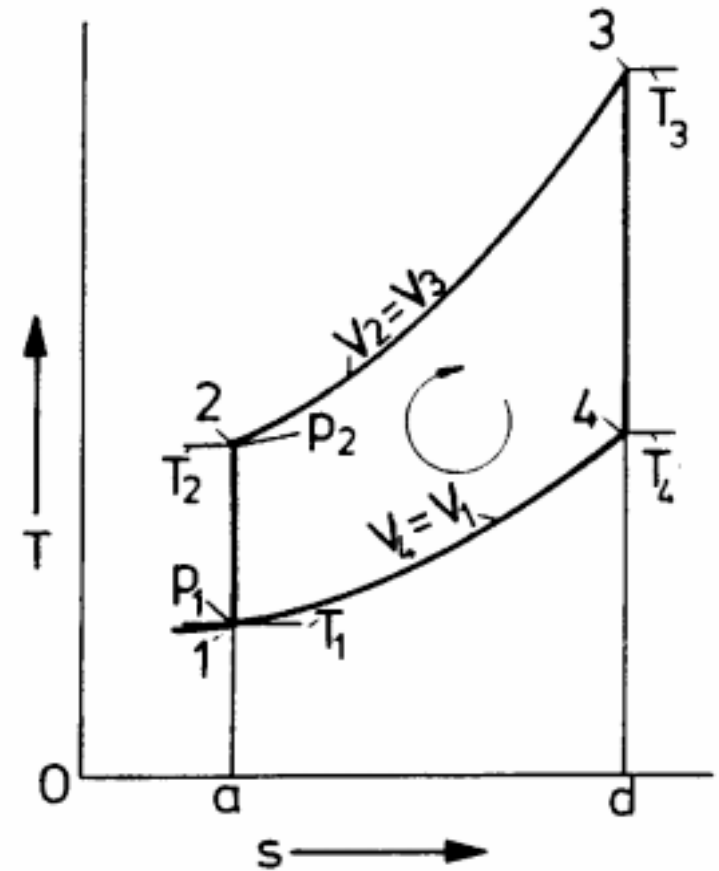
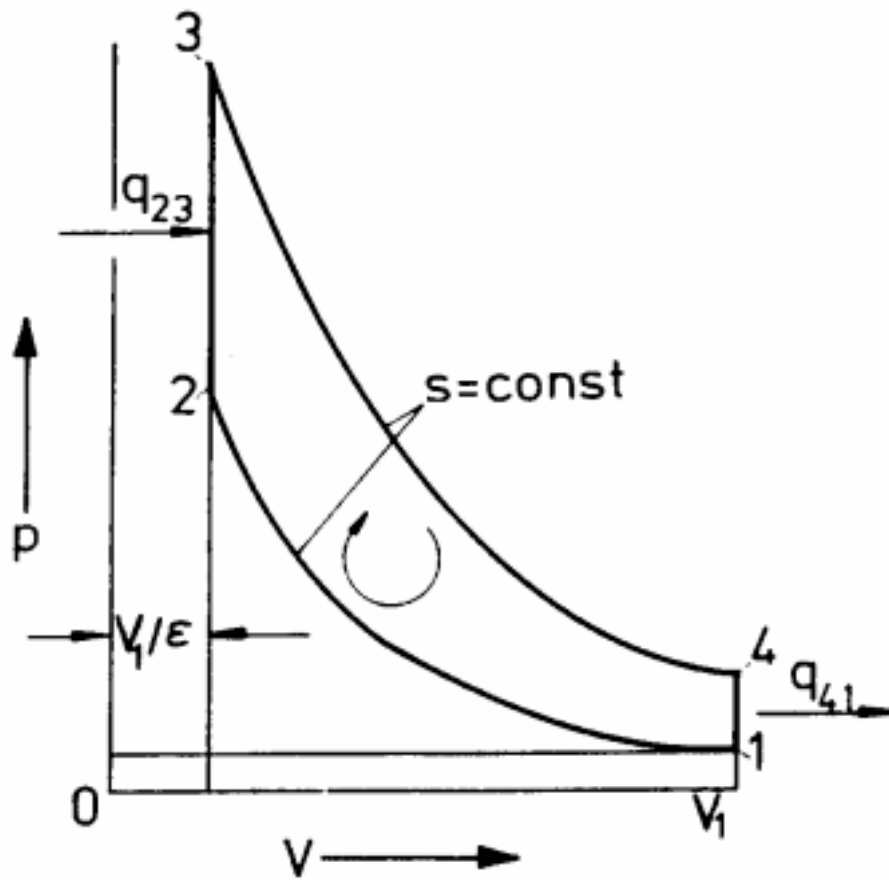
2. 180° → 360° KW

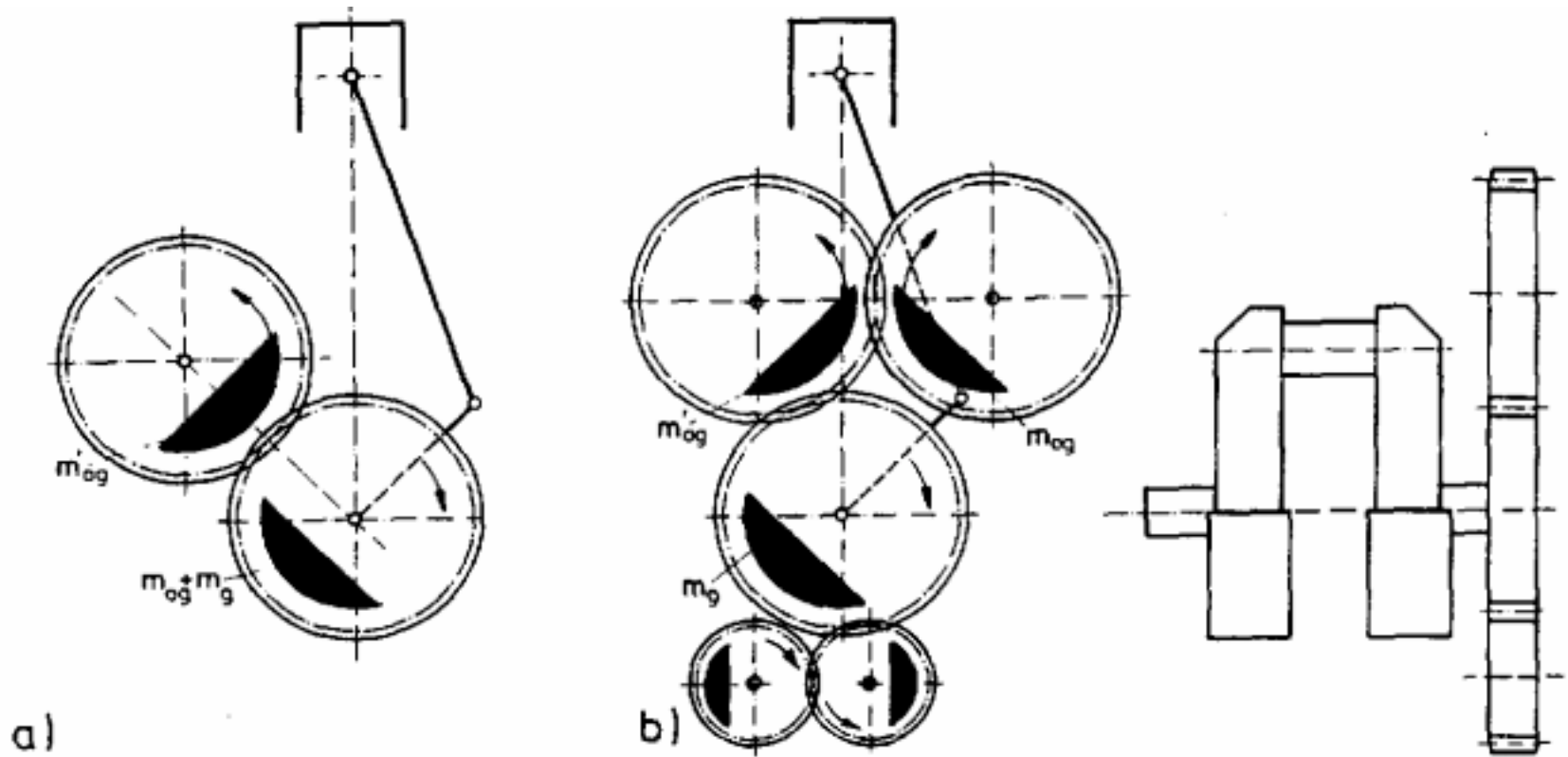
Expansionsarbeit, bis AÖ  
Verbrennungsgase entweichen zur Atmosphäre  
ab LÖ: Beginn Ladungswechsel

Eine „Spülpumpe“ muß den  
Ladungswechsel unterstützen  
Zum Ladungswechsel sind keine Ventile  
erforderlich





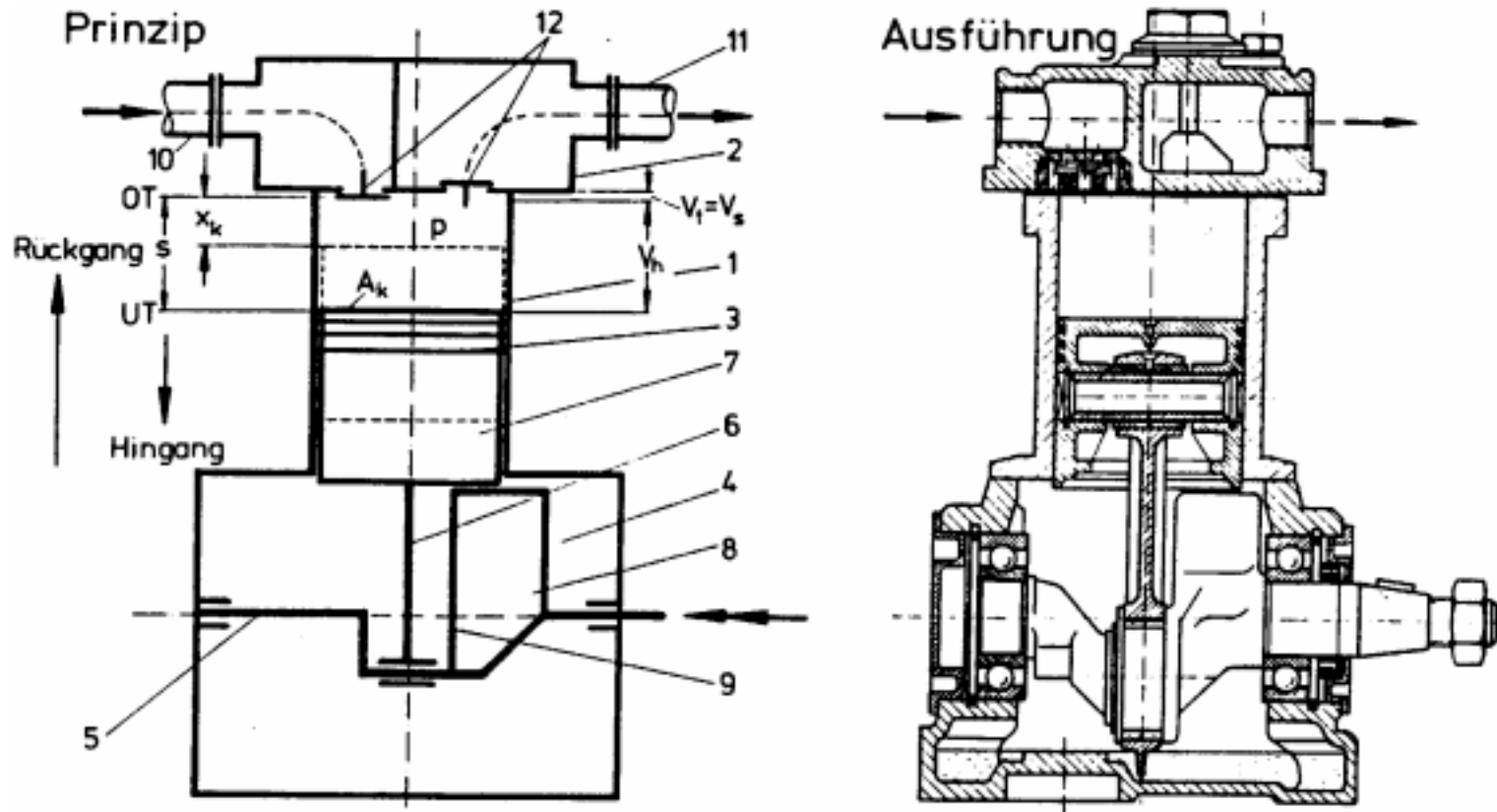




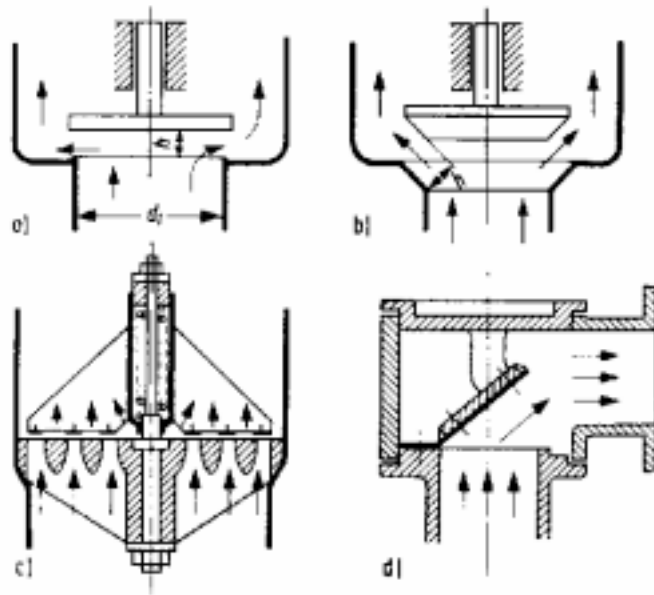
**a Ausgleich der Kräfte I. Ordnung**

**b Ausgleich der Kräfte I. und II. Ordnung**

# Kolbenmaschinen I (Verdrängermaschinen)



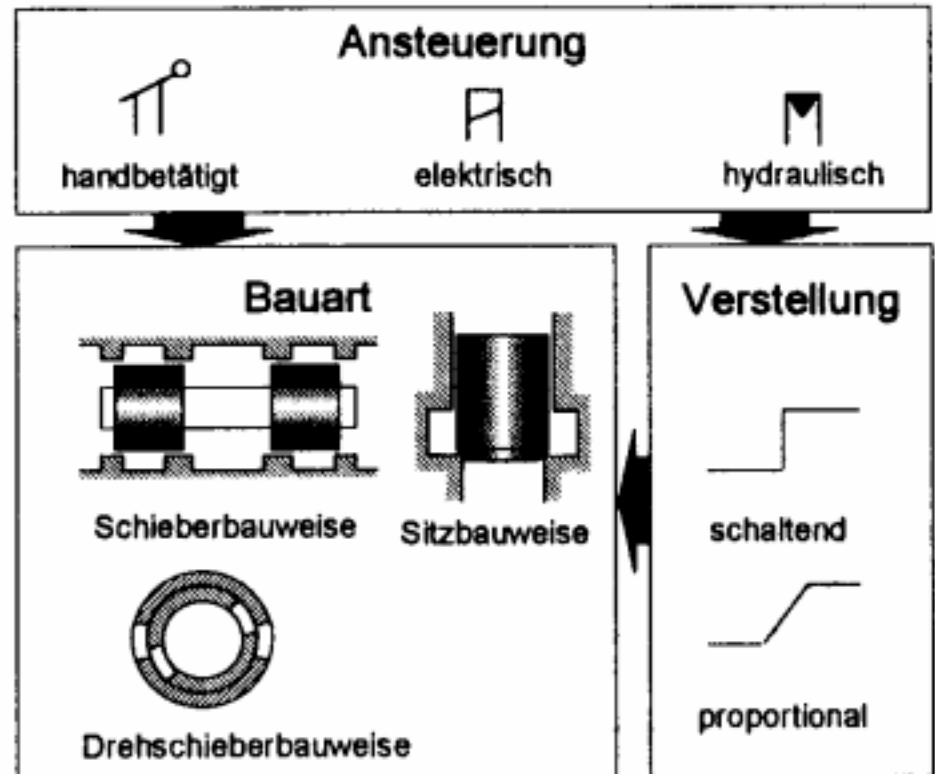
## Maschinenventile



## Pumpenventile

- a) Tellerventil
- b) Kegelventil
- c) Ringventil
- d) Klappe

## Hydraulische Anlagenventile



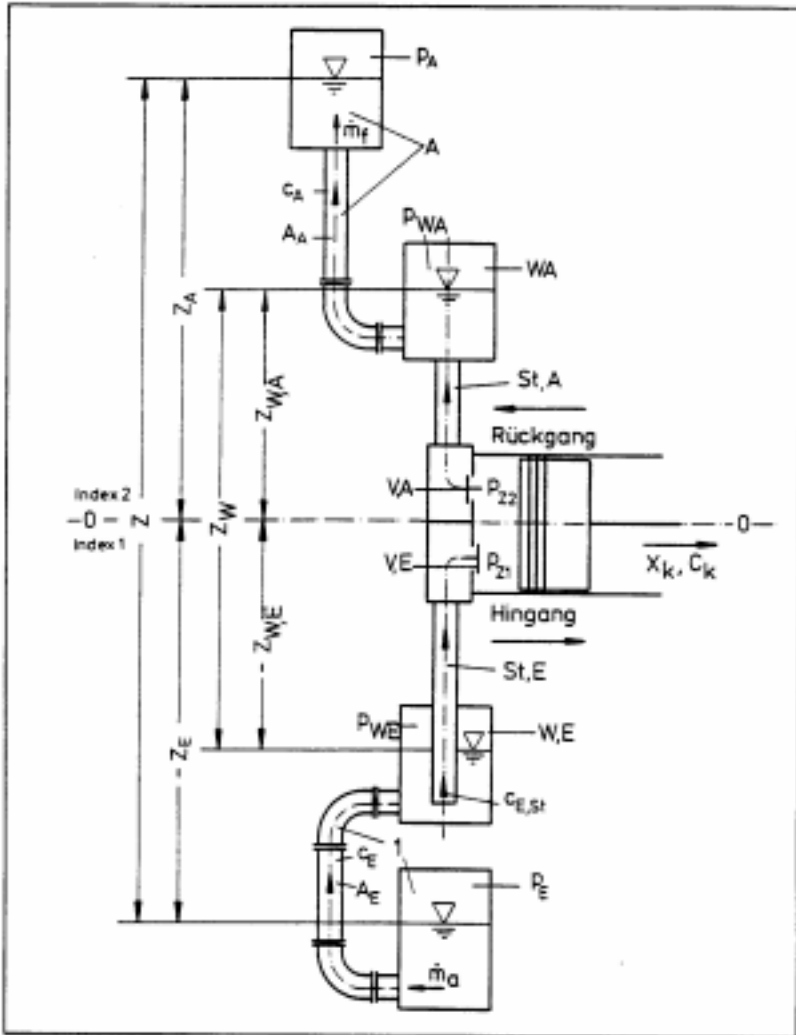


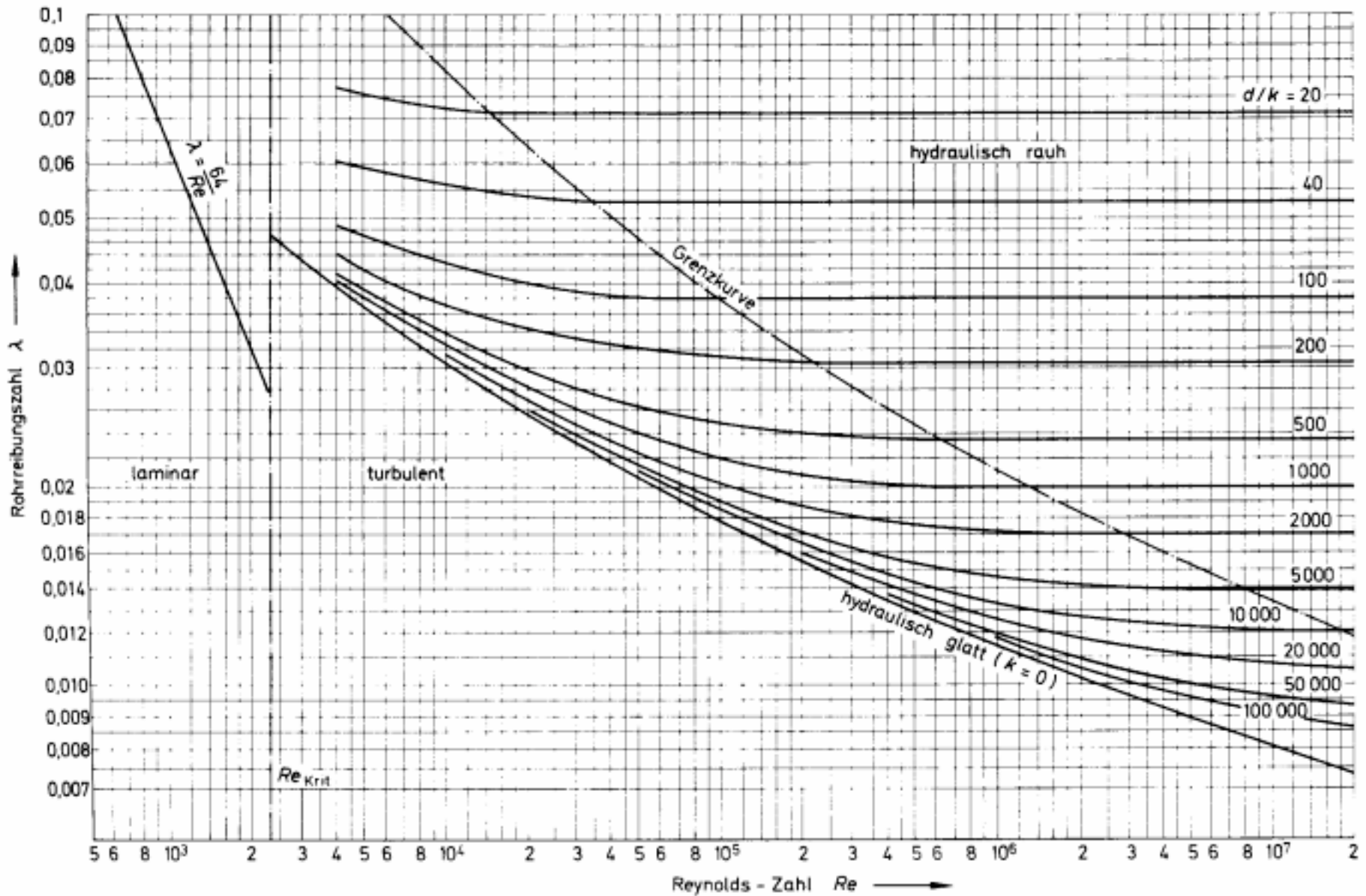
Bild 2.11: Beispiel einer Kolbenpumpenanlage mit:

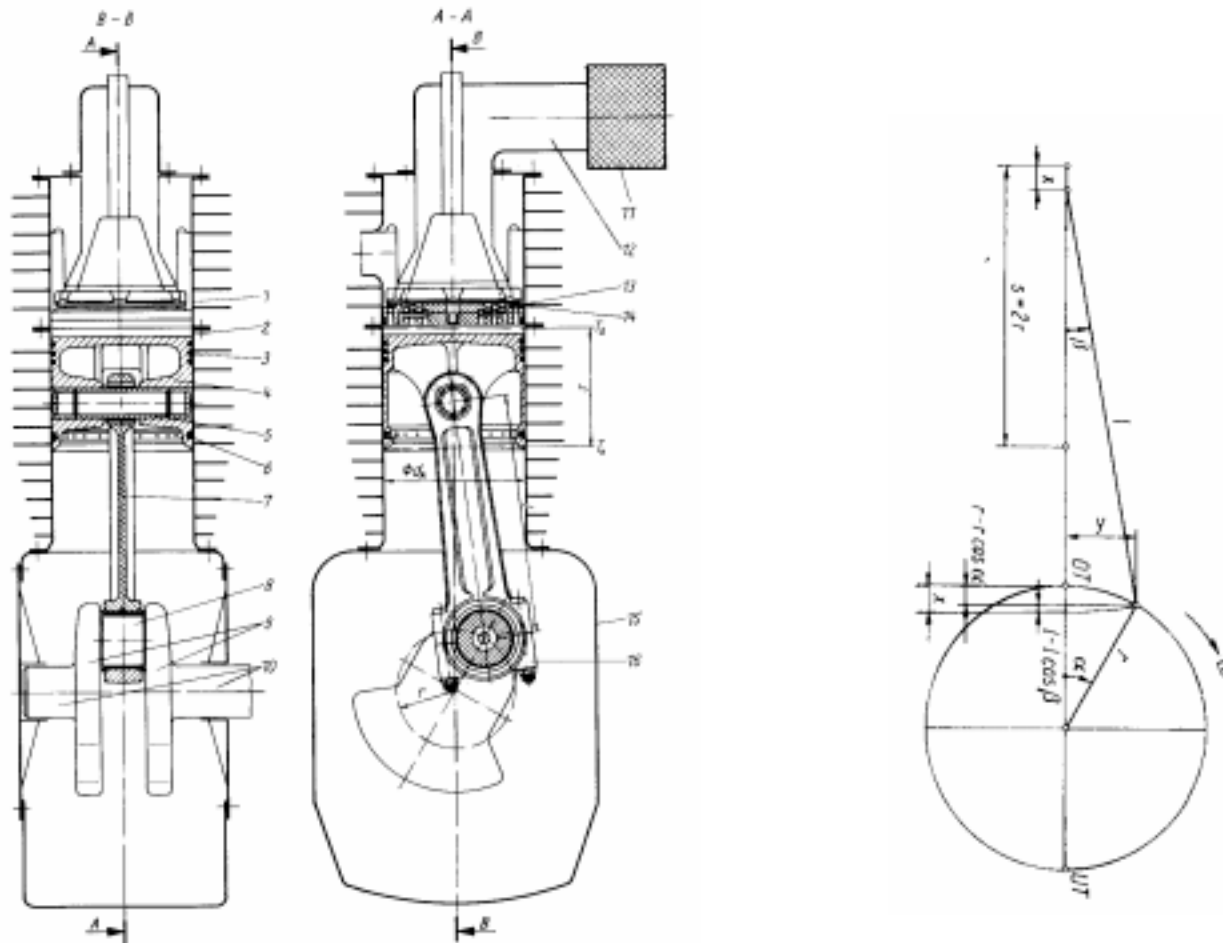
Saug- bzw. Druckbehälter E bzw. A,

Saug- bzw. Druckwindkessel W,E bzw. W,A,

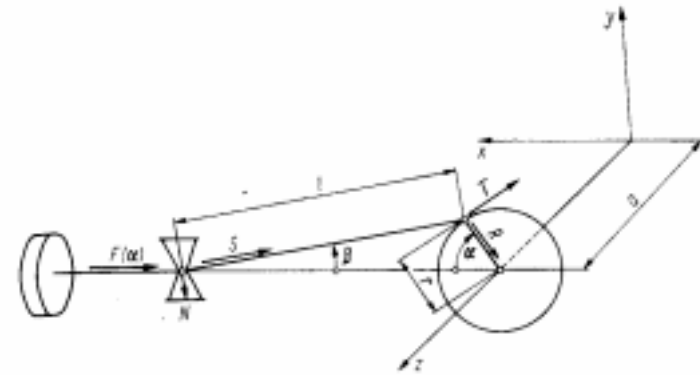
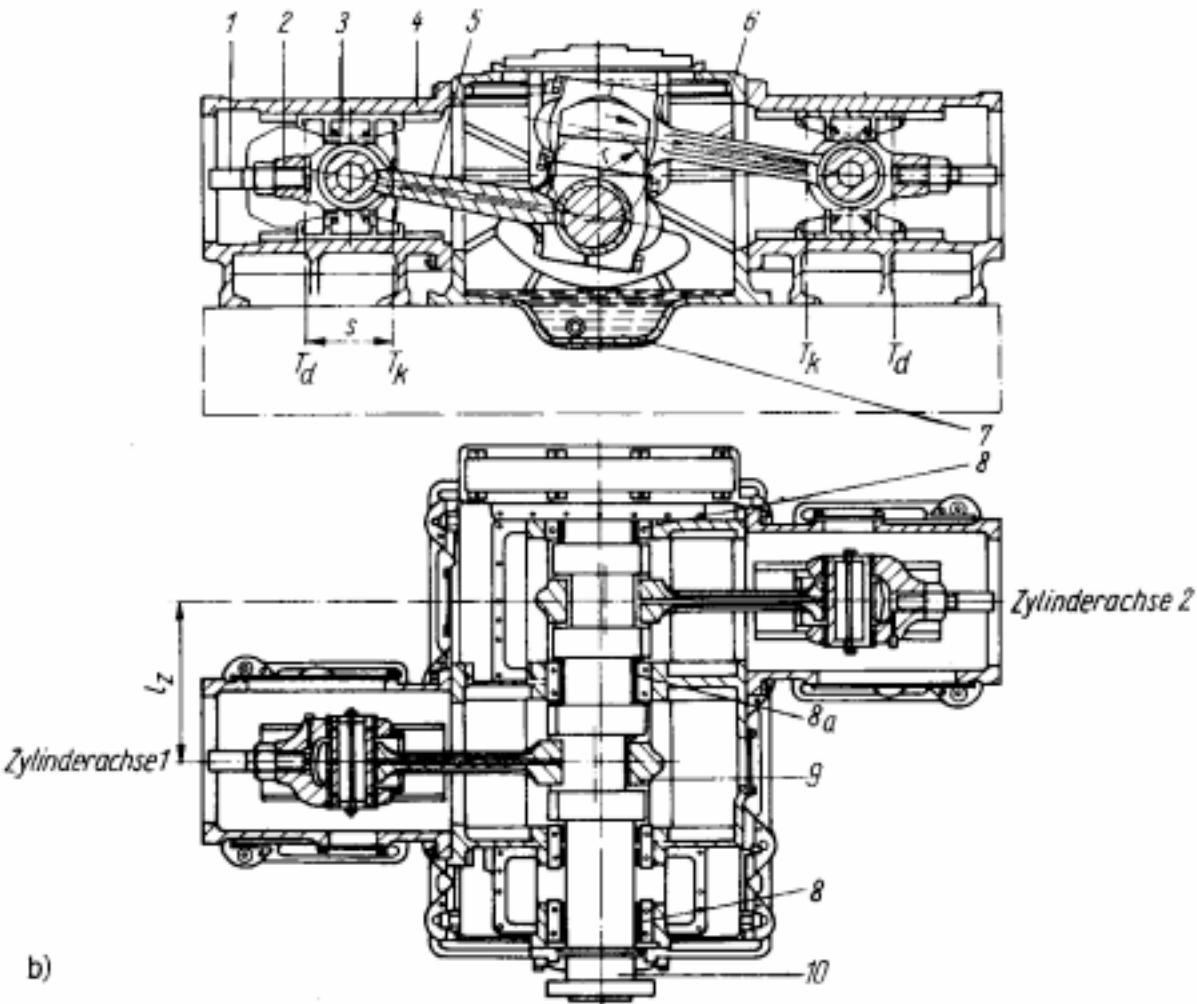
Saug- bzw. Druckstutzen St,E bzw. St,A,

Saug- bzw. Druckventilen V,E bzw. V,A





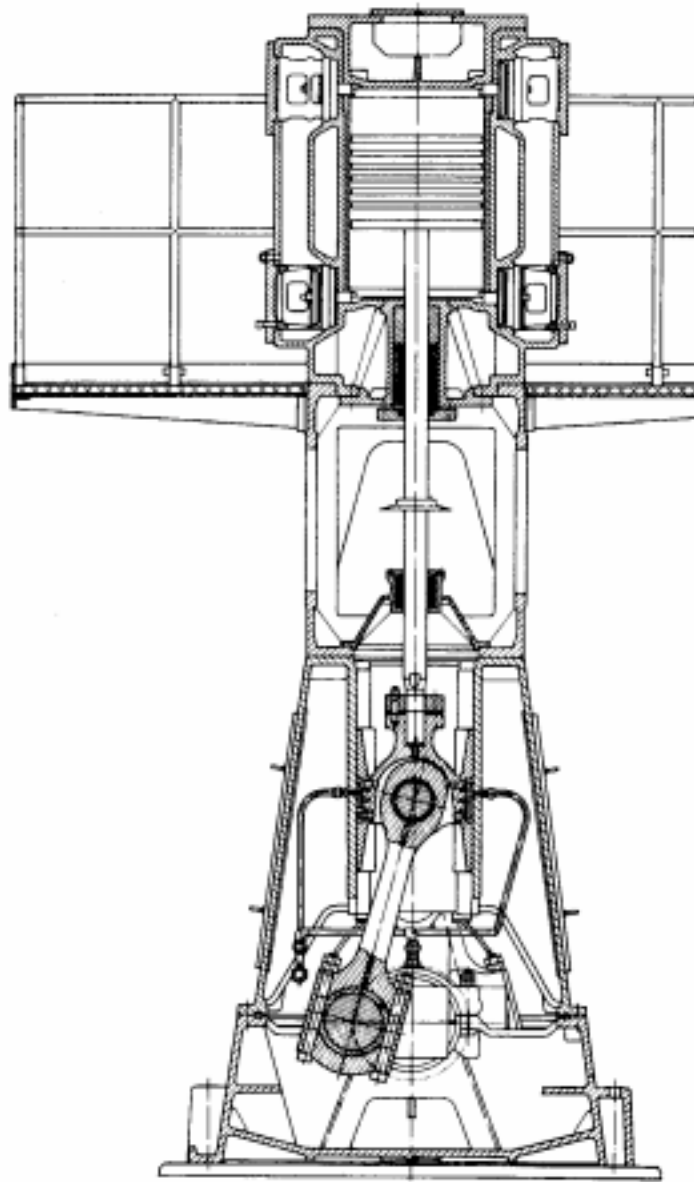
a) Triebwerk einer Tauchkolbenmaschine am Beispiel eines einstufigen, stehenden luftgekühlten Kleinverdichters  
 1 Zylinderdeckel; 2 Arbeitszylinder; 3 Kolbenring (selbstspannender Dichtring); 4 Tauchkolben; 5 Kolbenbolzen;  
 6 Ölabbstreifer; 7 Pleuelstange; 8 Kurbelzapfen; 9 Kurbelwange mit Ausgleichsmasse; 10 Grundlagerzapfen;  
 11 Luftfilter; 12 Ansaugkanal; 13 Zweiringausgventil; 14 Einringdruckventil; 15 Kurbelgehäuse; 16 Pleueldeckel  
 $d_k$  Kolbendurchmesser;  $l$  Länge der Pleuelstange von Mitte-Kolbenbolzen bis Mitte Kurbelzapfen;  $r$  Kurbelhalbmesser;  
 $s$  Kolbenhub;  $T_d$  Lage der Kolbenoberkante bei deckelseitiger Totlage;  $T_k$  Lage der Kolbenoberkante  
 bei kurbelseitiger Totlage

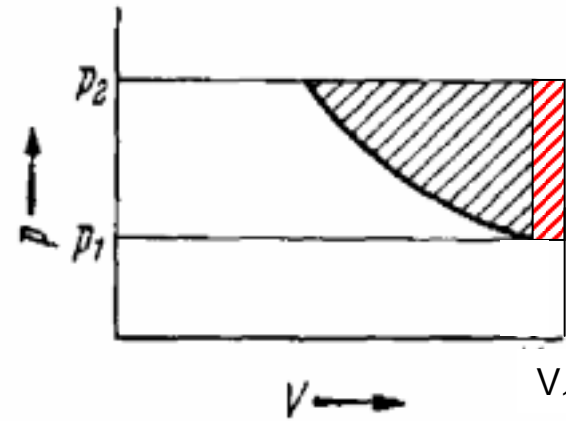
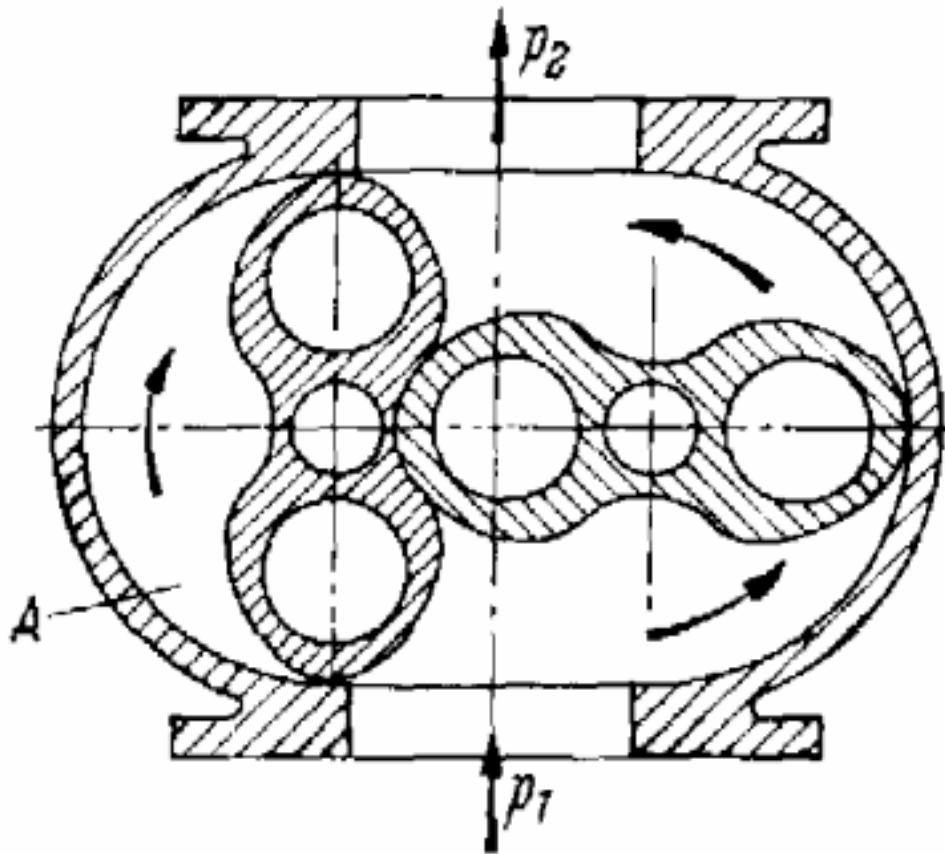


b) Triebwerk einer zweikurbeligen Kreuzkopfmaschine in Boxerbauart

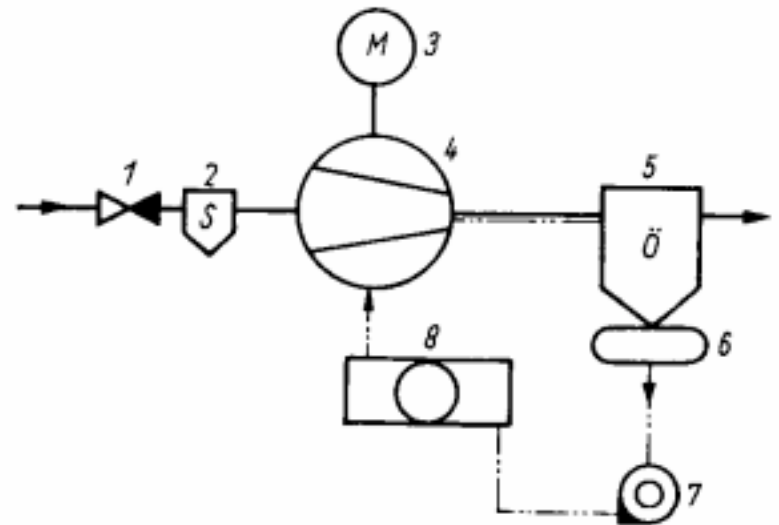
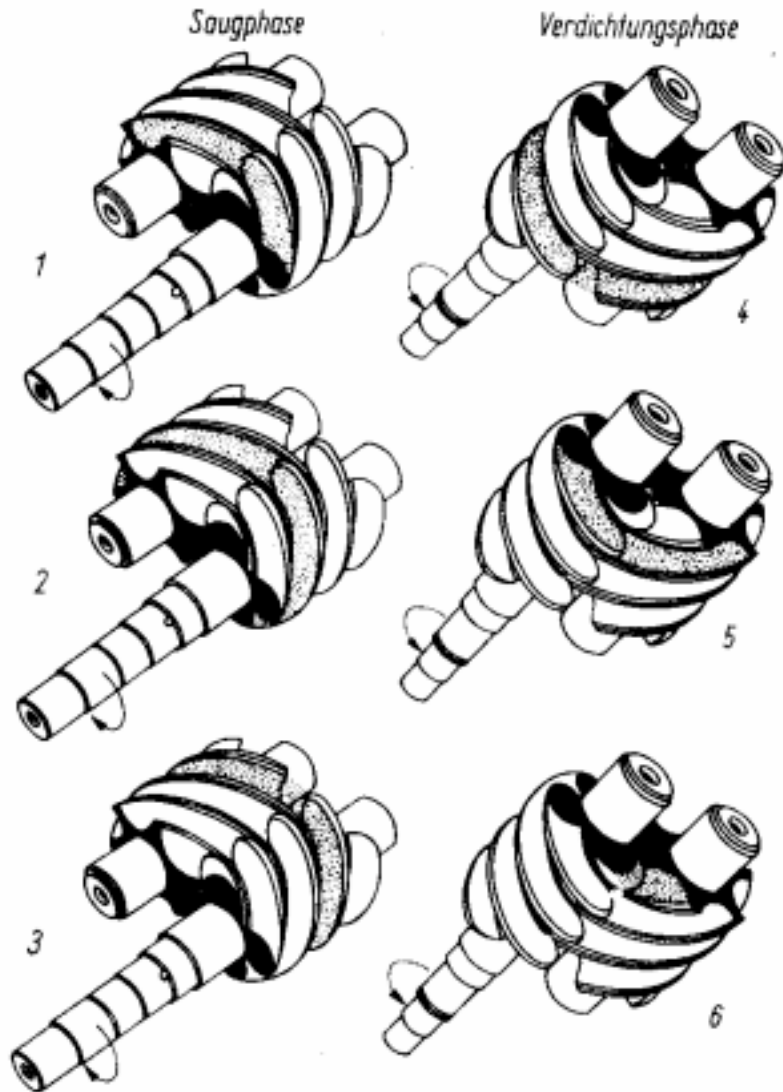
1 Kolbenstange; 2 Kreuzkopf; 3 Kreuzkopfbolzen; 4 Gleitbahn; 5 Pleuelstange; 6 Kurbelgehäuse; 7 Triebwerksschmieröl;  
 8 Grundlager (8a legt die axiale Lage der Pleuelstange fest); 9 Pleuelzapfenlager; 10 Pleuelwelle  
 $l_z$  Zylinderabstand;  $r$  Pleuelradius;  $s$  Pleuelhub;  $T_d$  Pleueldeckelhöhe;  $T_k$  Pleueldeckelhöhe





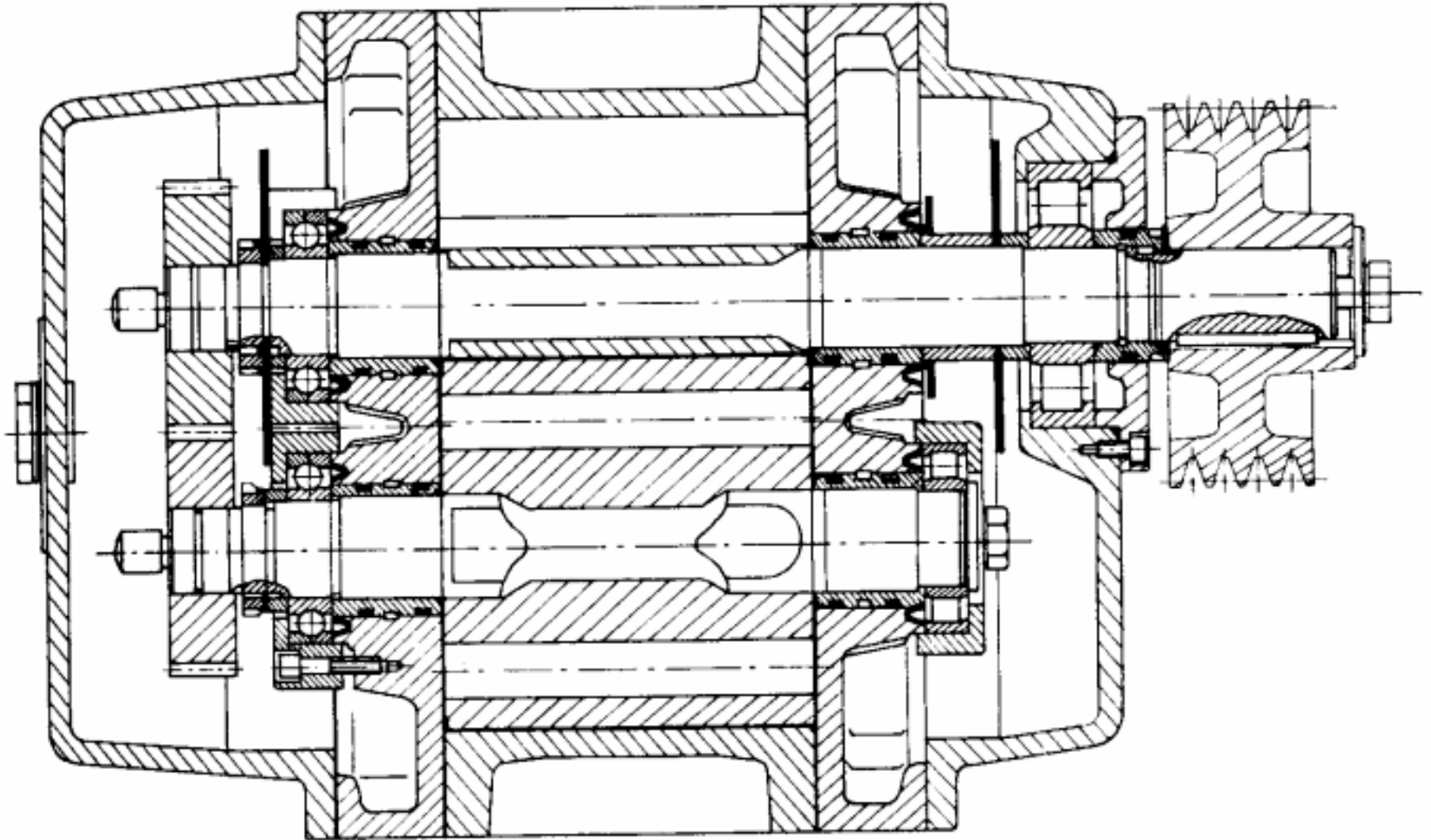


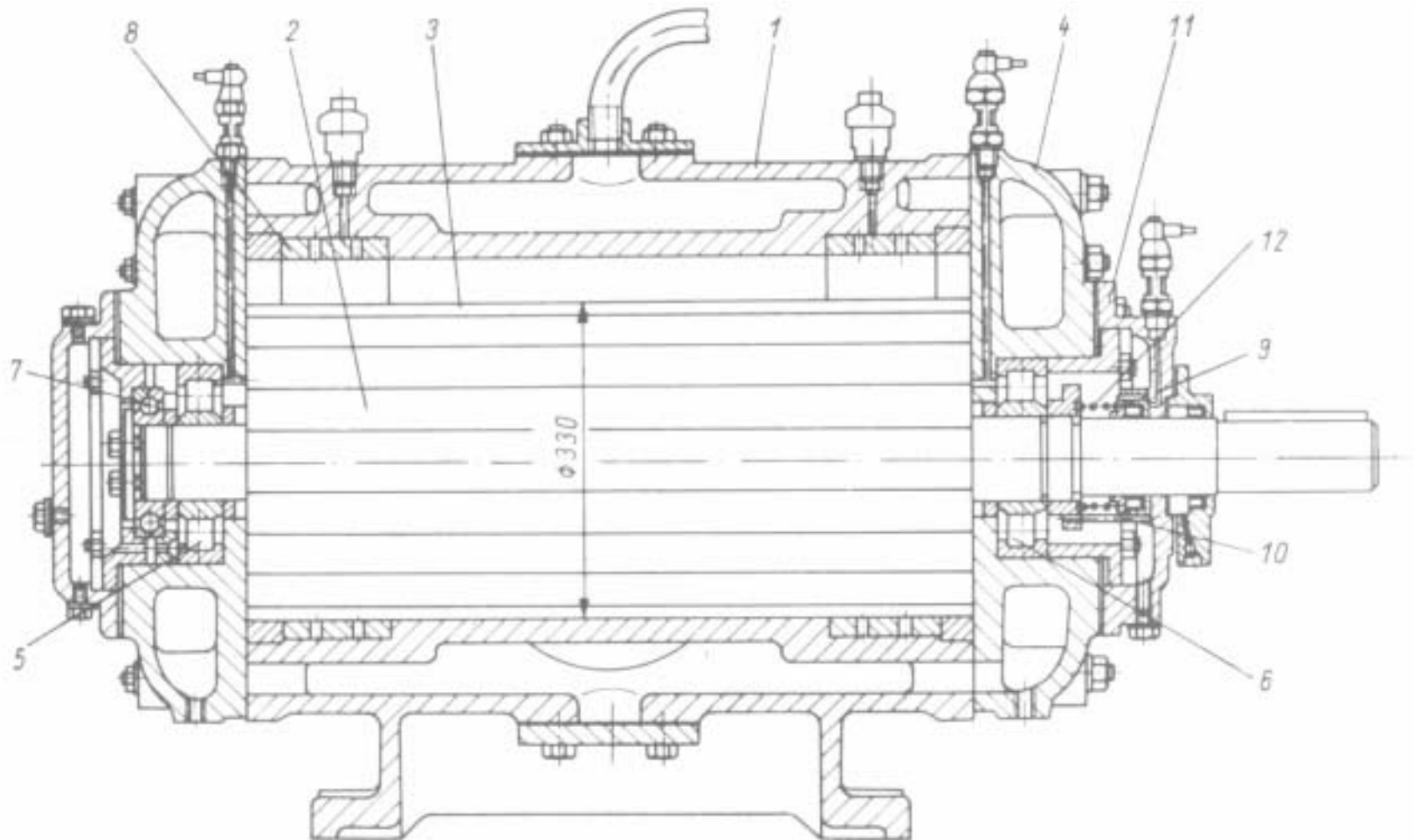
Verdrängung und Verdichtung  
im  $p$ ,  $V$ -Diagramm



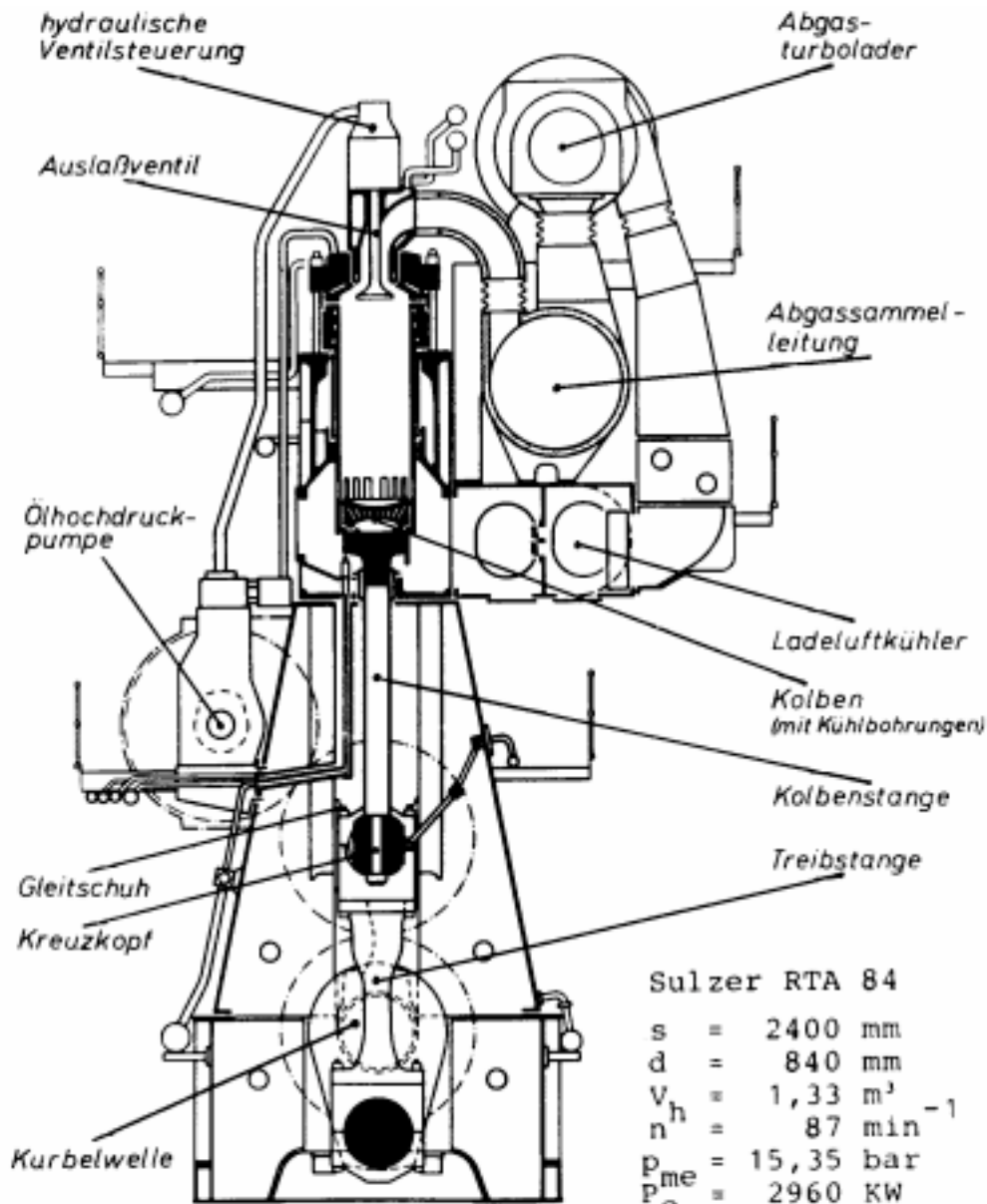
1 Rückschlagventil; 2 Saugfilter; 3 Antriebsmotor;  
 4 Verdichter; 5 Ölabscheider; 6 Ölsammler; 7 Ölpumpe;  
 8 Ölkühler  
 — Kältemittel; - - - Öl

1, 2, 3 Saugphase, Ansicht von oben  
 4, 5, 6 Verdichtungsphase, Ansicht von unten





1 Gehäuse; 2 Rotor; 3 Arbeitsschieber; 4 Gehäusedeckel; 5, 6 Zylinderrollenlager; 7 Rillenkugellager; 8 Laufring; 9 Dichtscheibe; 10 Mitnehmerstift; 11 Abschlußdeckel; 12 Druckfeder



Sulzer RTA 84

$s = 2400 \text{ mm}$   
 $d = 840 \text{ mm}$   
 $V_h = 1,33 \text{ m}^3$   
 $n^h = 87 \text{ min}^{-1}$   
 $p_{me} = 15,35 \text{ bar}$   
 $P_{e_z} = 2960 \text{ KW}$

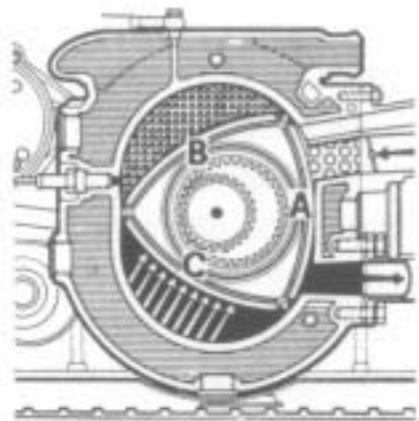
2-Takt-Großdieselmotor für Schiffsantrieb


**SULZER RTA 84**

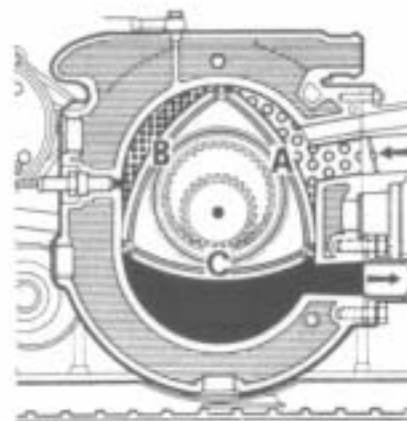
$D = 840 \text{ mm}, s = 2400 \text{ mm}$

$P_{e_z} = 2960 \text{ kW (4028 PS)}$  bei  $n = 87 \text{ min}^{-1}$

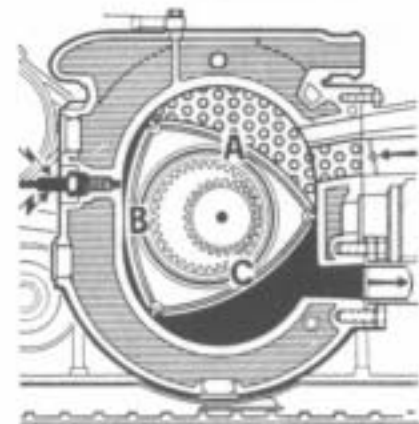
Gleichstromspülung, Abgasturboaufladung



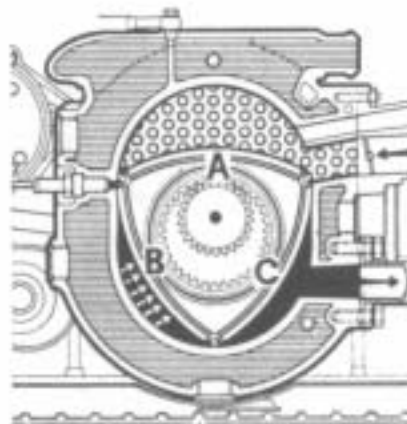
Phase 1   
Ansaugen



Phase 2   
Verdichten

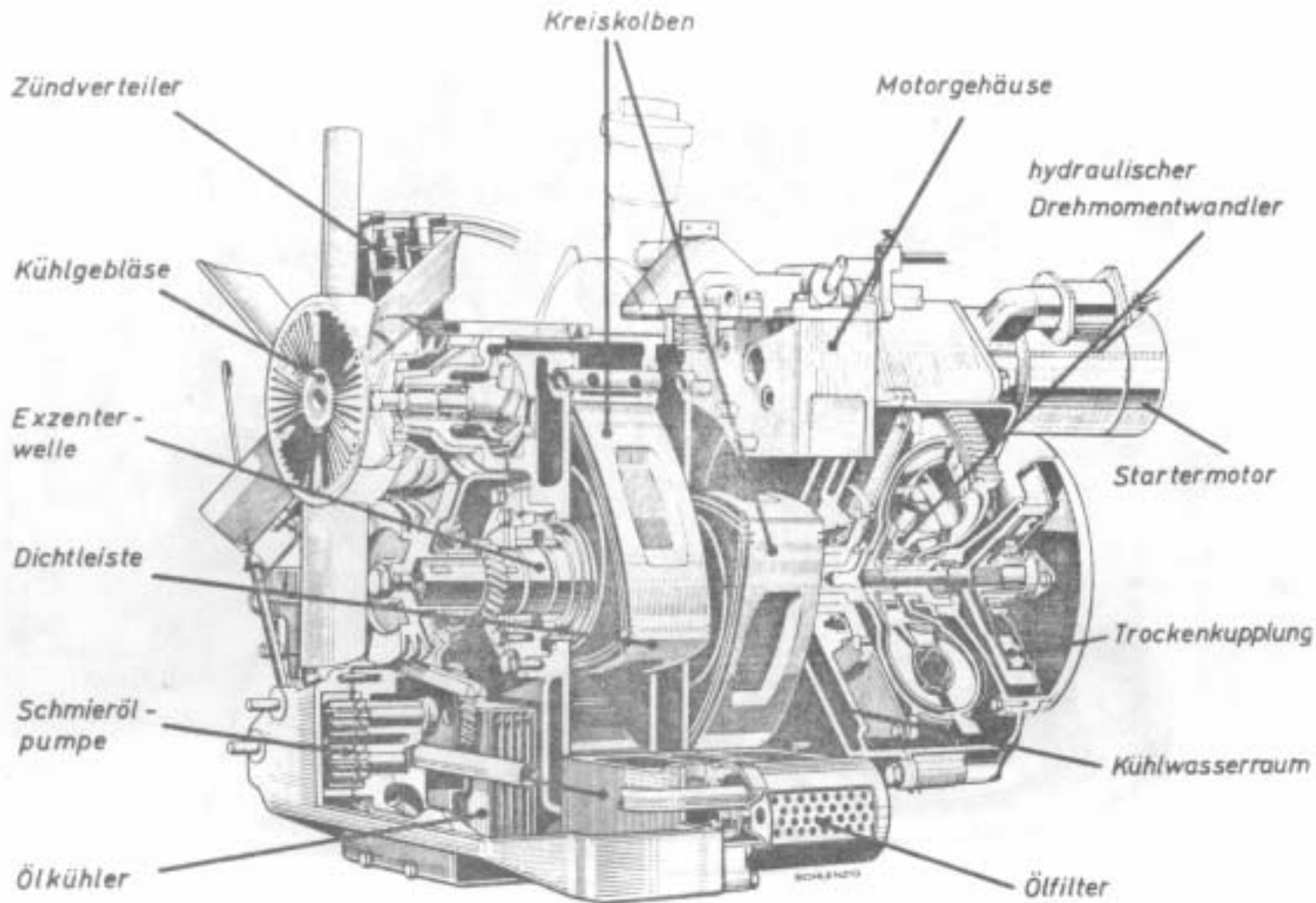


Phase 3   
Arbeiten



Phase 4   
Auspuffen





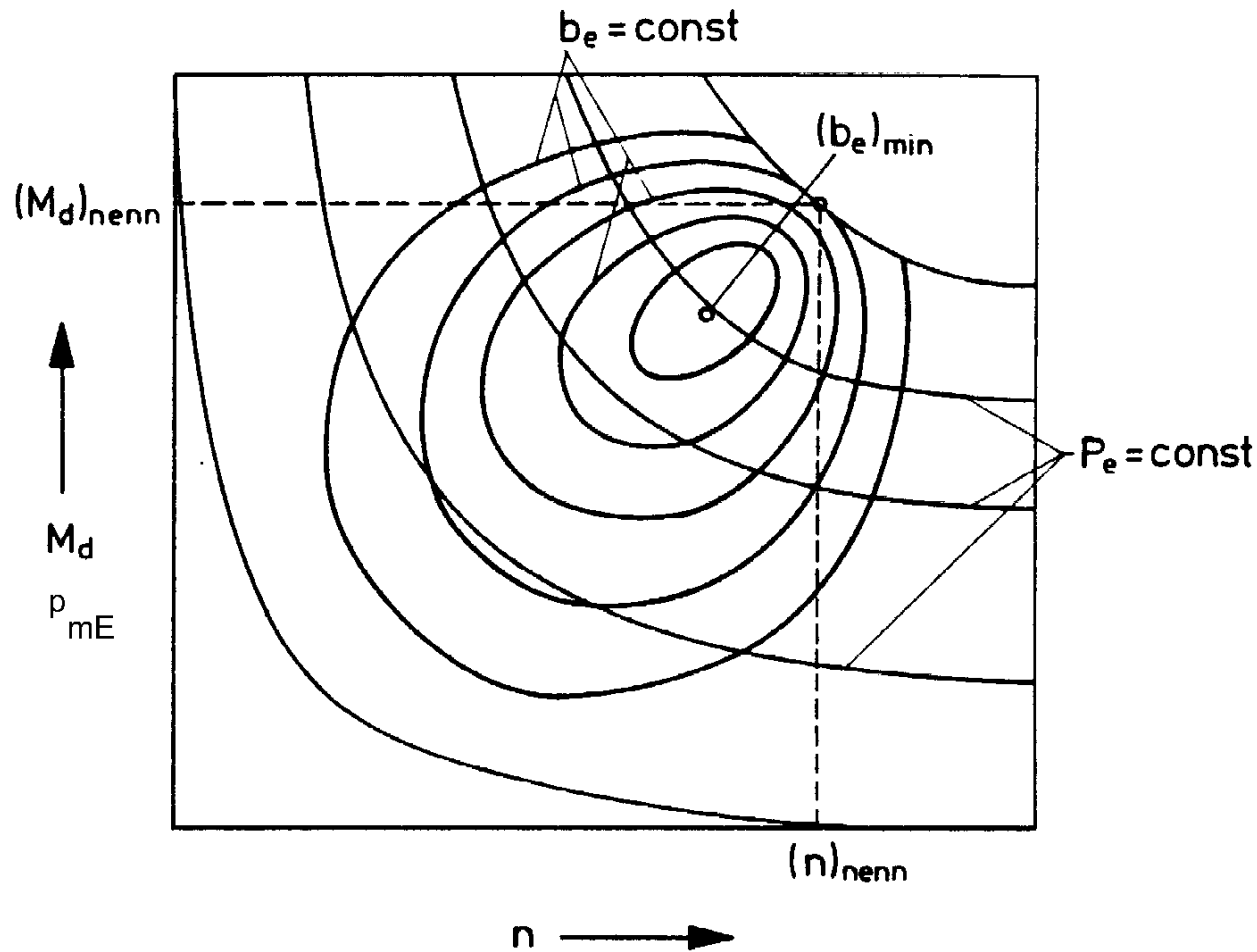
Wankelmotor für PKW-Antrieb

**NSU Ro 80**

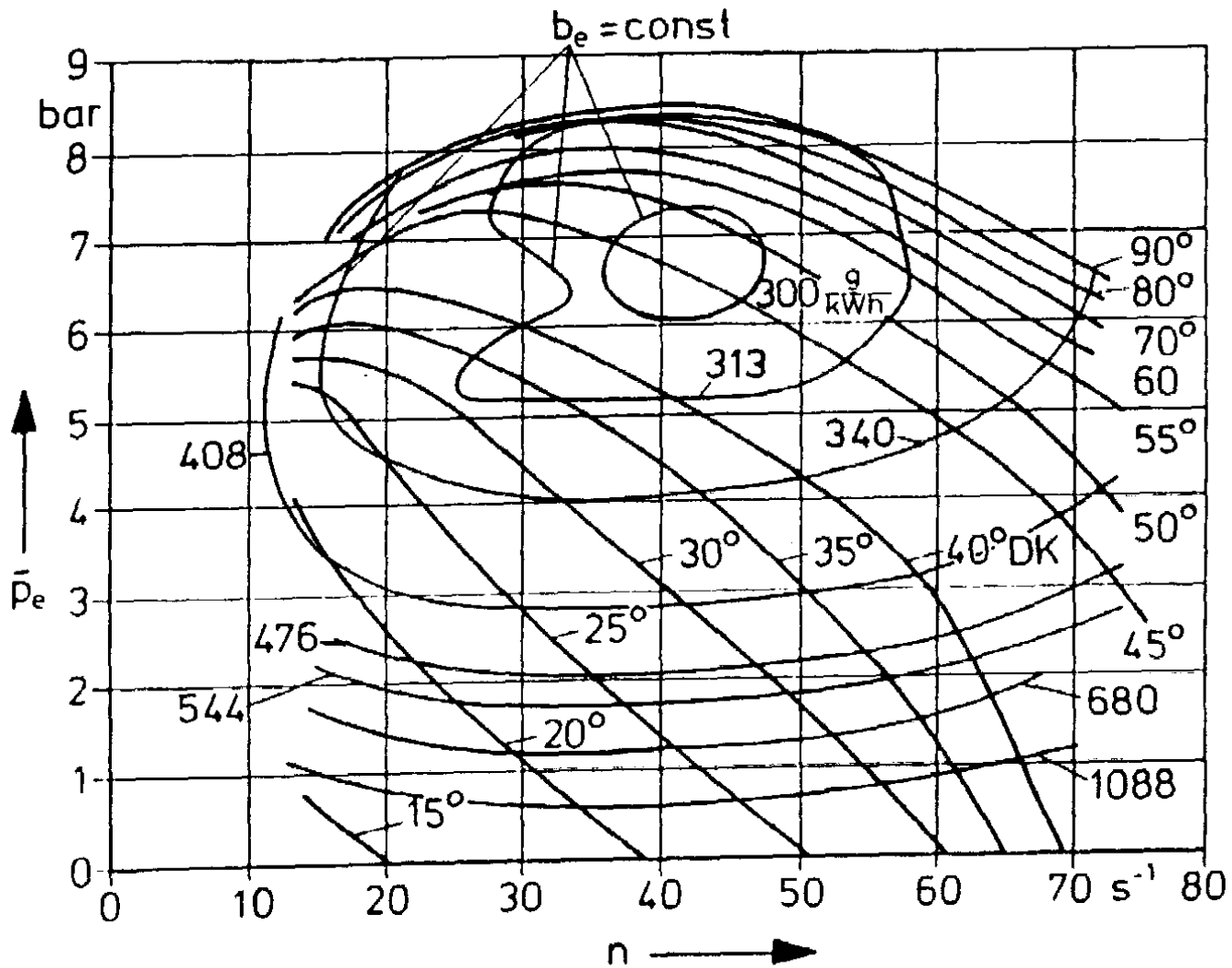
$R = 100 \text{ mm}$ ,  $e = 14 \text{ mm}$ ,  $s = 42 \text{ mm}$ ,  $z = 2$

$P_e = 84,5 \text{ kW}$  (115 PS) bei  $n = 5500 \text{ min}^{-1}$

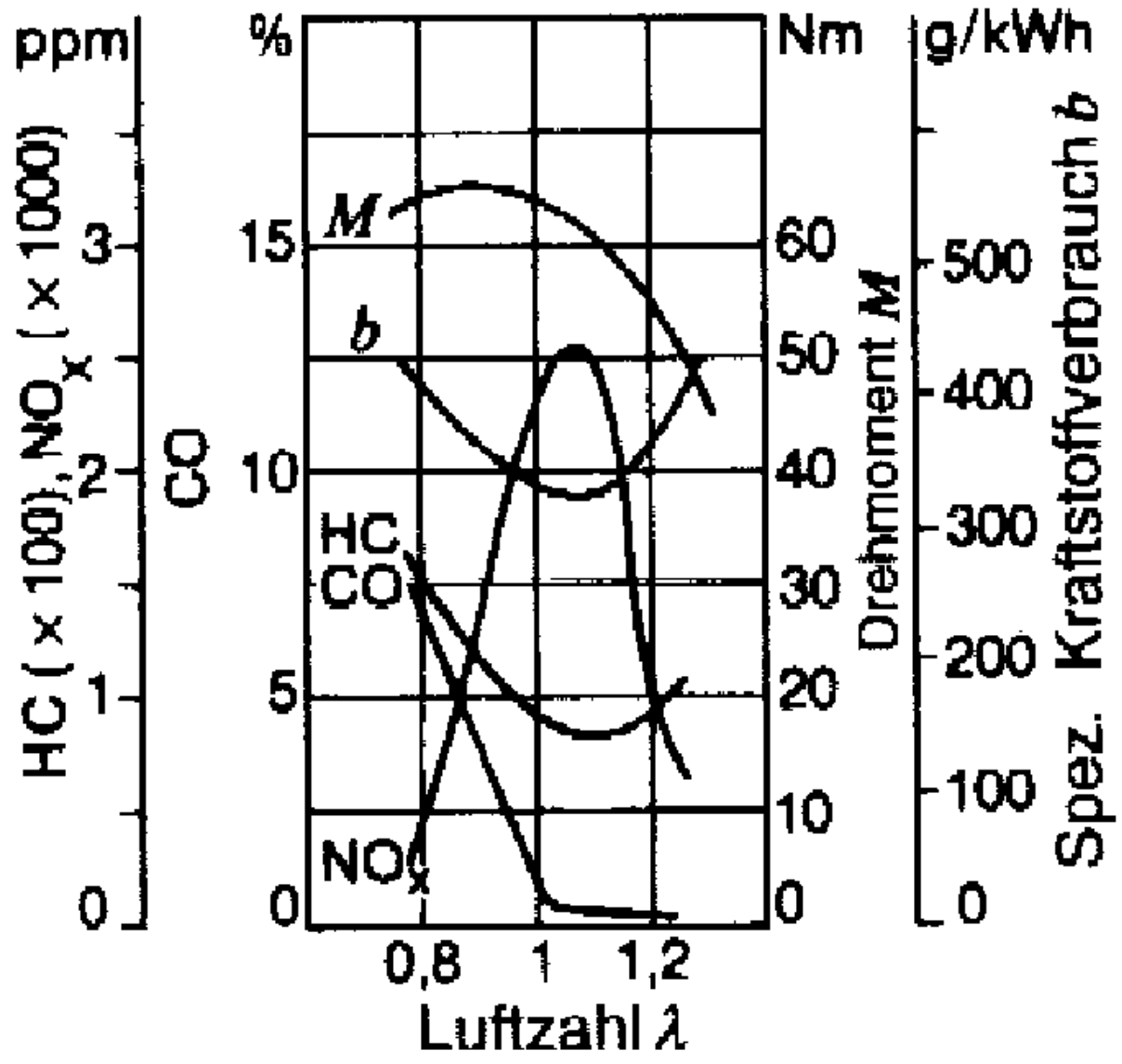


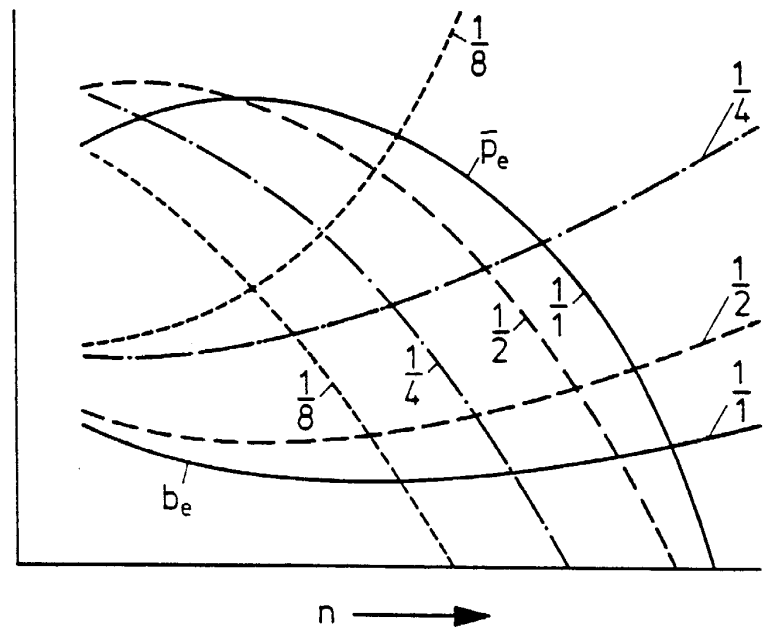
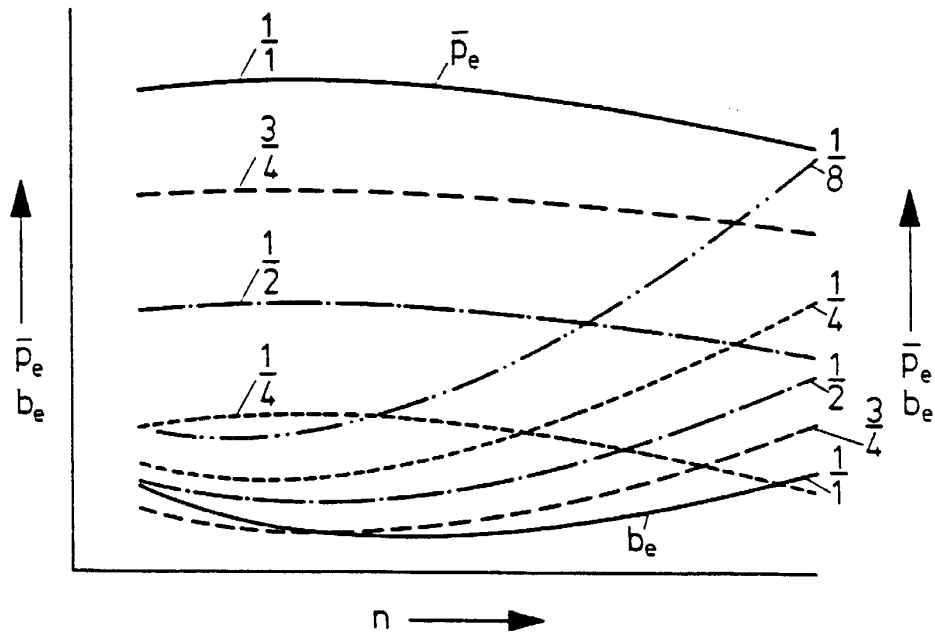


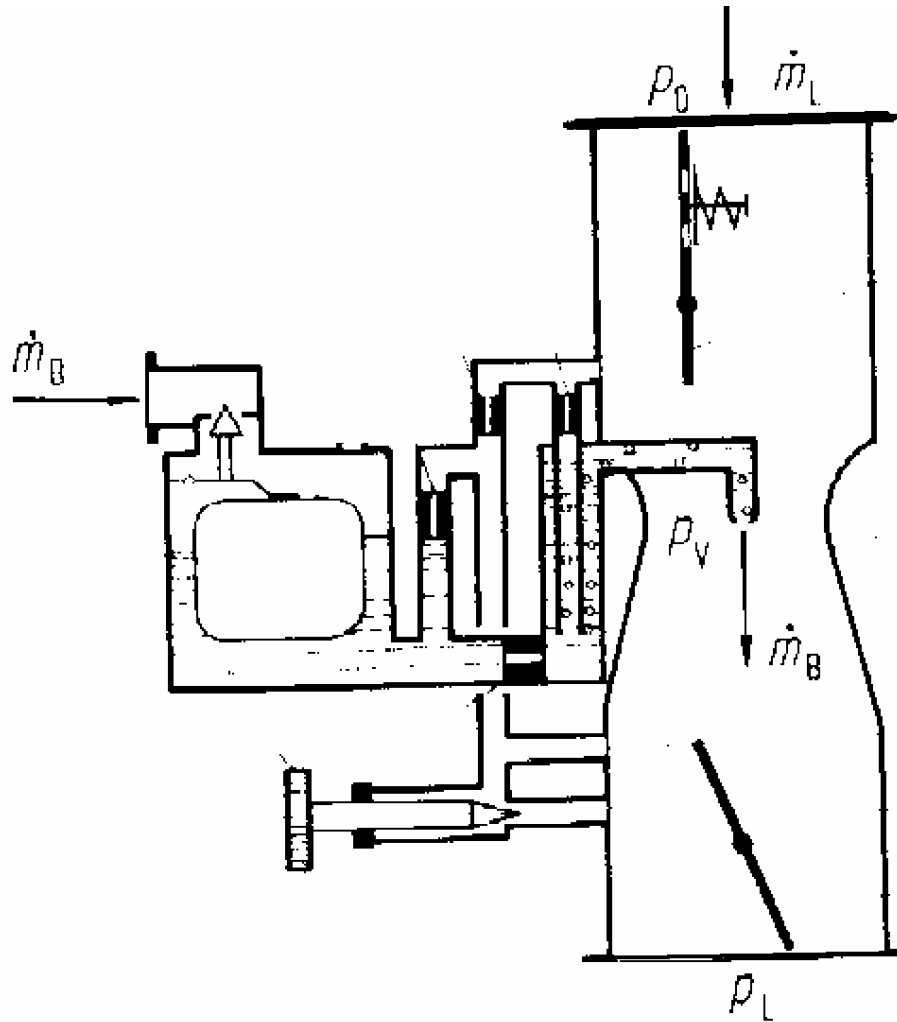
**Motorkennfeld mit Kurven  $P_e = \text{const.}$  und  $b_e = \text{const.}$**

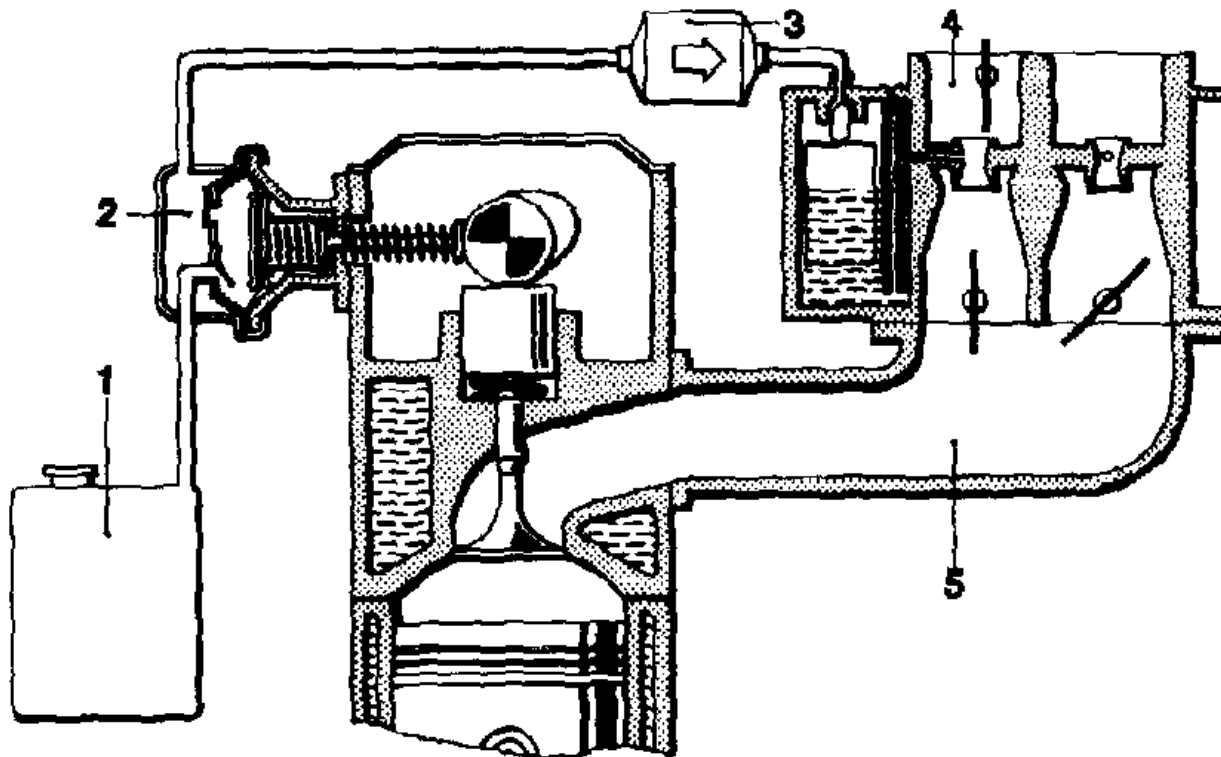


**Motorkennfeld mit Kurven  $DK = \text{const.}$  und  $b_e = \text{const.}$**





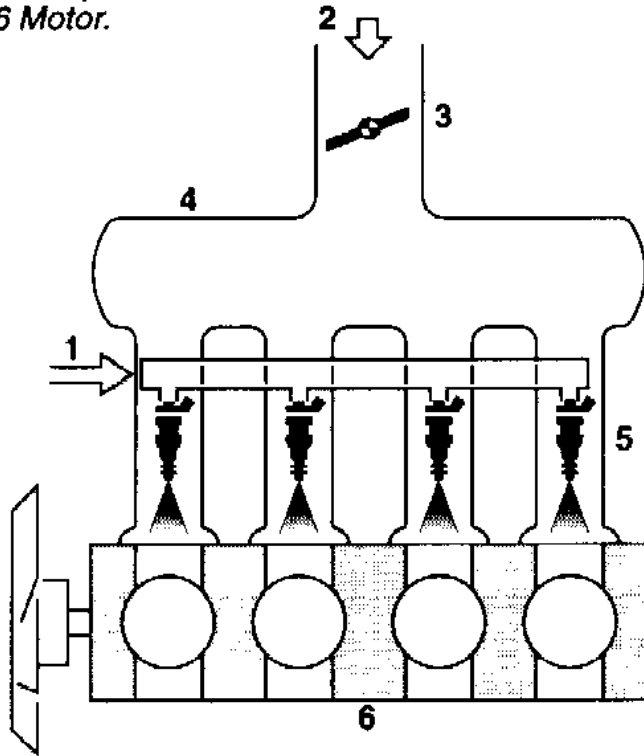




1 Kraftstoffbehälter, 2 Kraftstoff-Förderpumpe, 3 Kraftstoff-Feinfilter, 4 Vergaser, 5 Saugrohr.

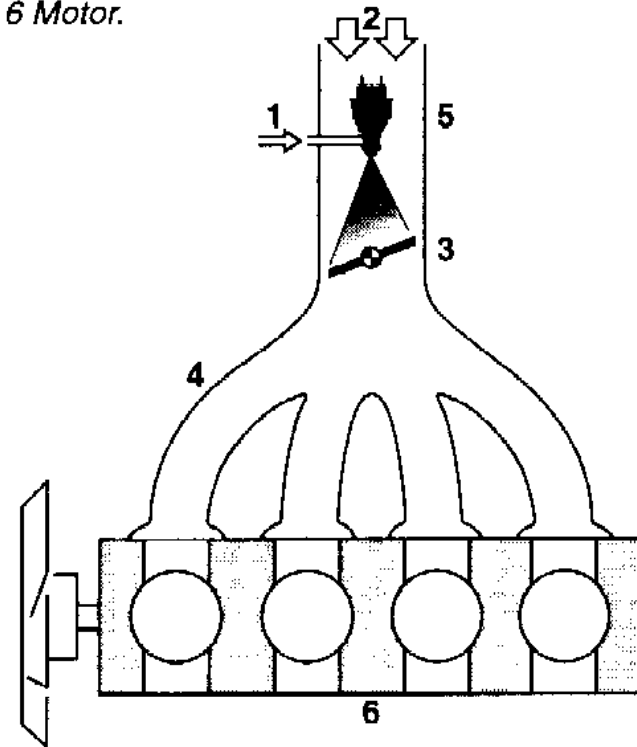
### Einzeleinspritzung.

- 1 Kraftstoff,
- 2 Luft,
- 3 Drosselklappe,
- 4 Saugrohr,
- 5 Einspritzventil,
- 6 Motor.



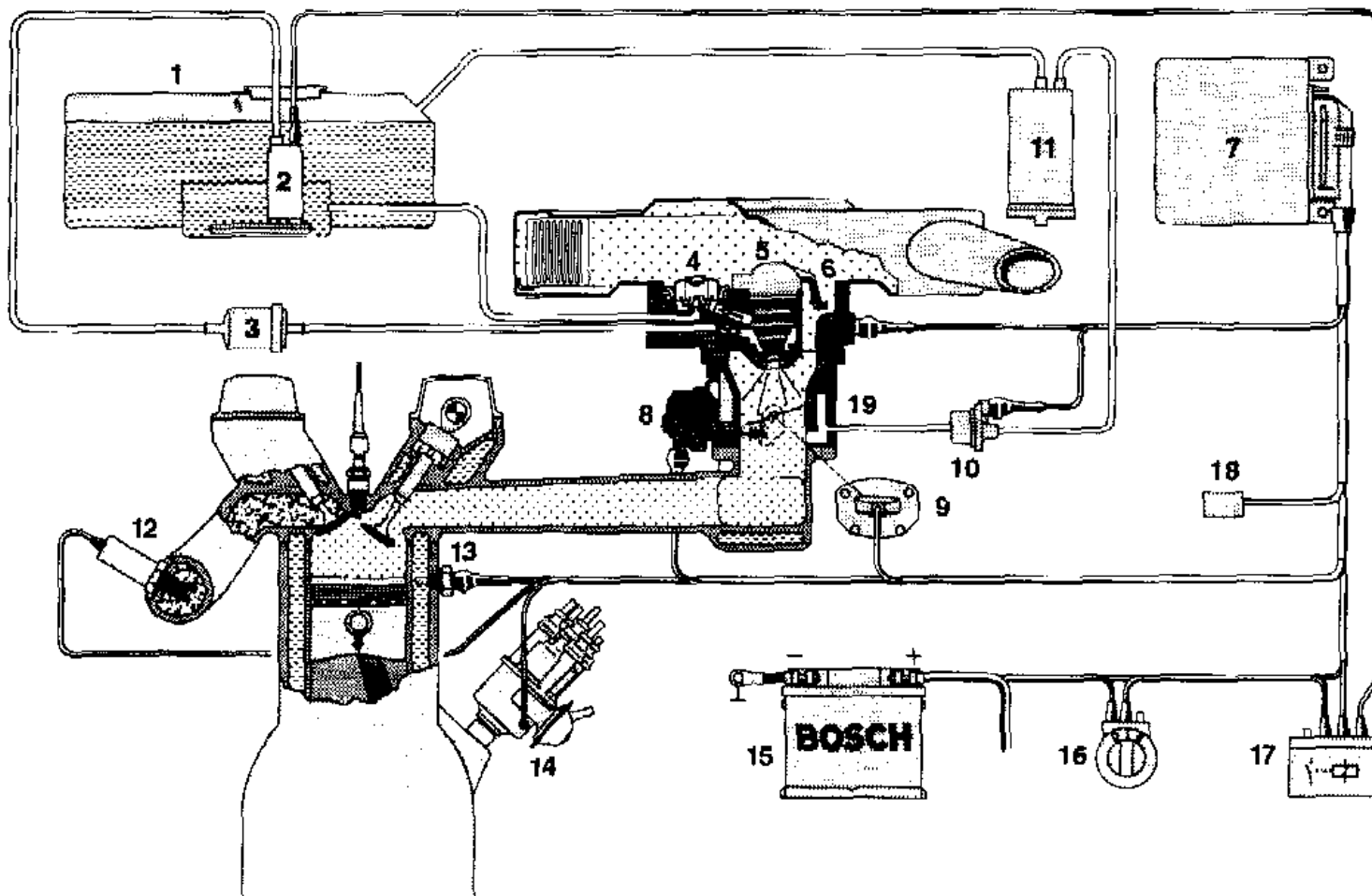
### Zentraleinspritzung.

- 1 Kraftstoff,
- 2 Luft,
- 3 Drosselklappe,
- 4 Saugrohr,
- 5 Einspritzventile,
- 6 Motor.

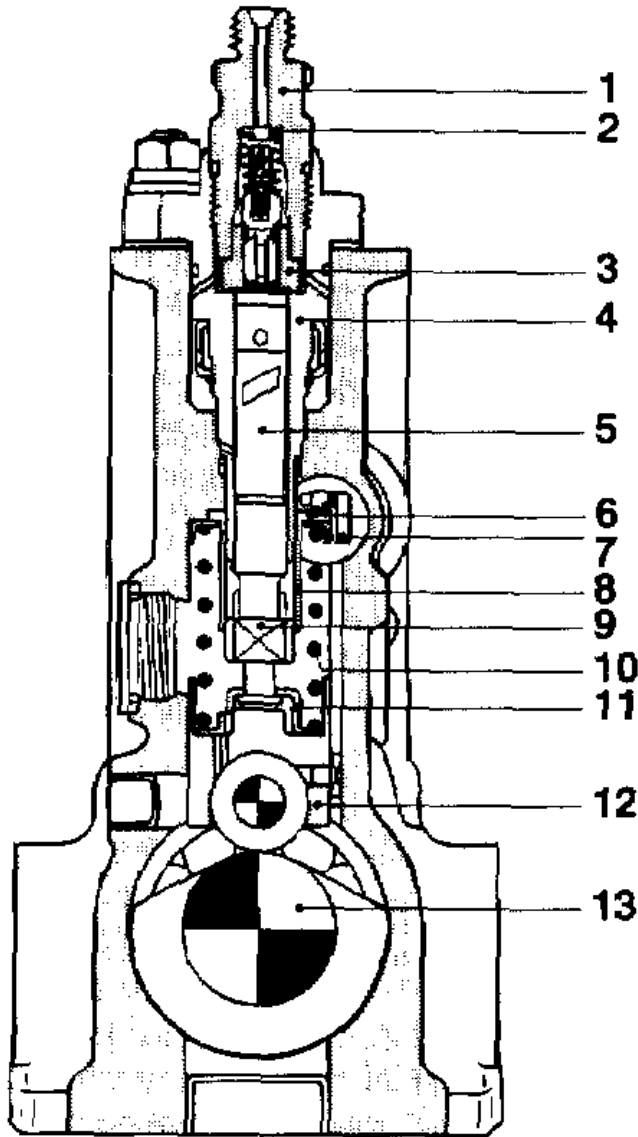


### Schema einer Mono-Jetronic-Anlage.

1 Kraftstoffbehälter, 2 Elektrokraftstoffpumpe, 3 Kraftstofffilter, 4 Druckregler, 5 Einspritzventil, 6 Lufttemperatursensor, 7 Steuergerät, 8 Drosselklappenansteller, 9 Drosselklappenpotentiometer, 10 Regenerierventil, 11 Aktivkohlebehälter, 12 Lambda-Sonde, 13 Motortemperatursensor, 14 Zündverteiler, 15 Batterie, 16 Zünd-Start-Schalter, 17 Relais, 18 Diagnoseanschluß, 19 Einspritzaggregat.





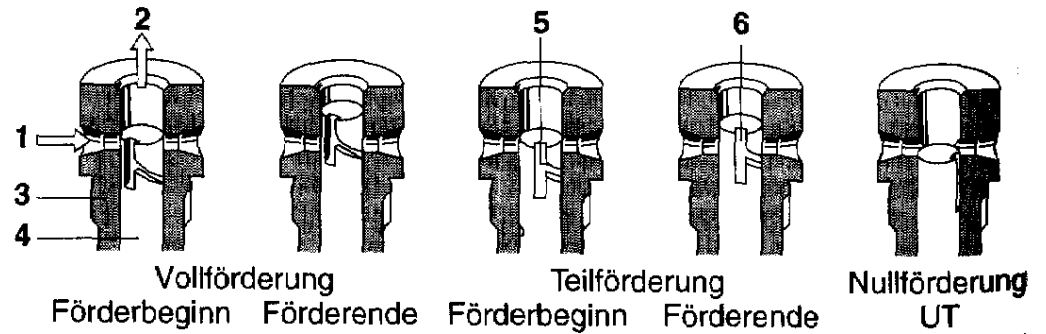


**Reiheneinspritzpumpe**

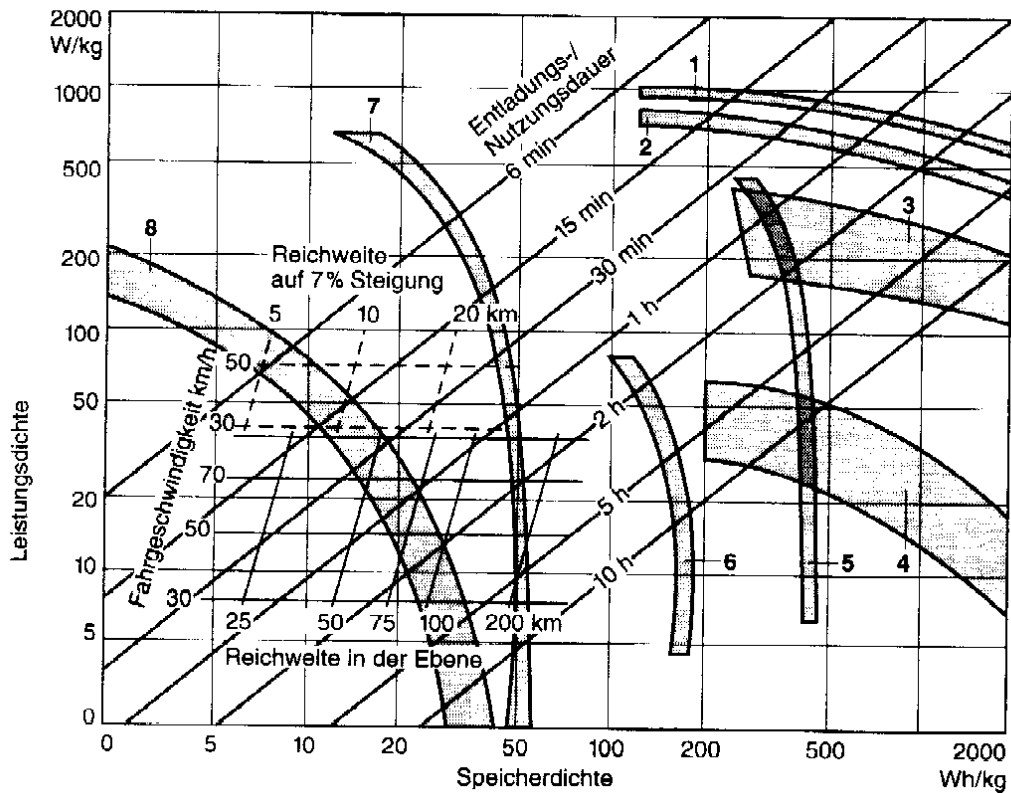
1 Druckventilhalter, 2 Federteller, 3 Druckventil, 4 Pumpenzylinder, 5 Pumpenkolben, 6 Hebelarm mit Kugelkopf, 7 Regelstange, 8 Regelhülse, 9 Kolbenfahne, 10 Kolbenfeder, 11 Federteller, 12 Rollenstößel, 13 Nockenwelle.

**Fördermengensteuerung der Reiheneinspritzpumpe.**

1 Vom Saugraum, 2 zur Düse, 3 Zylinder, 4 Kolben, 5 untenliegende Steuerkante (Schrägekante), 6 Stopnut.

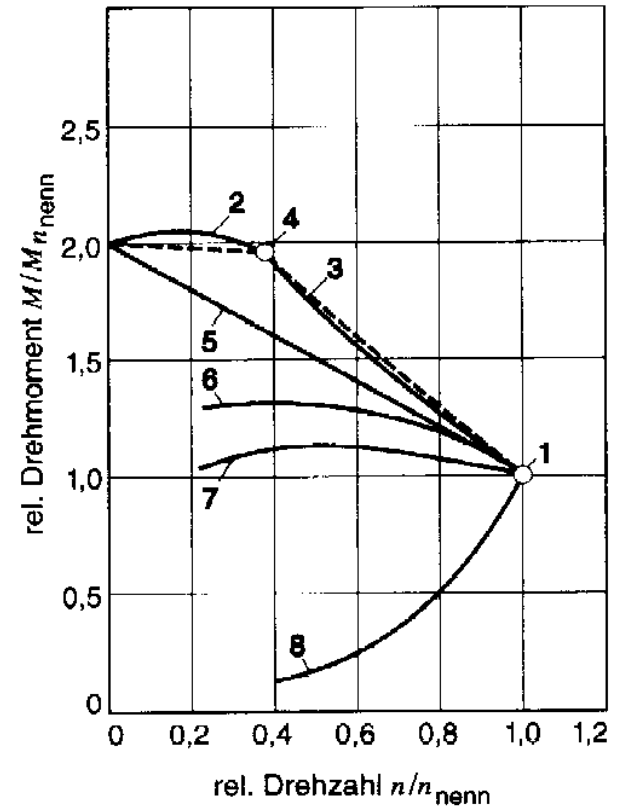


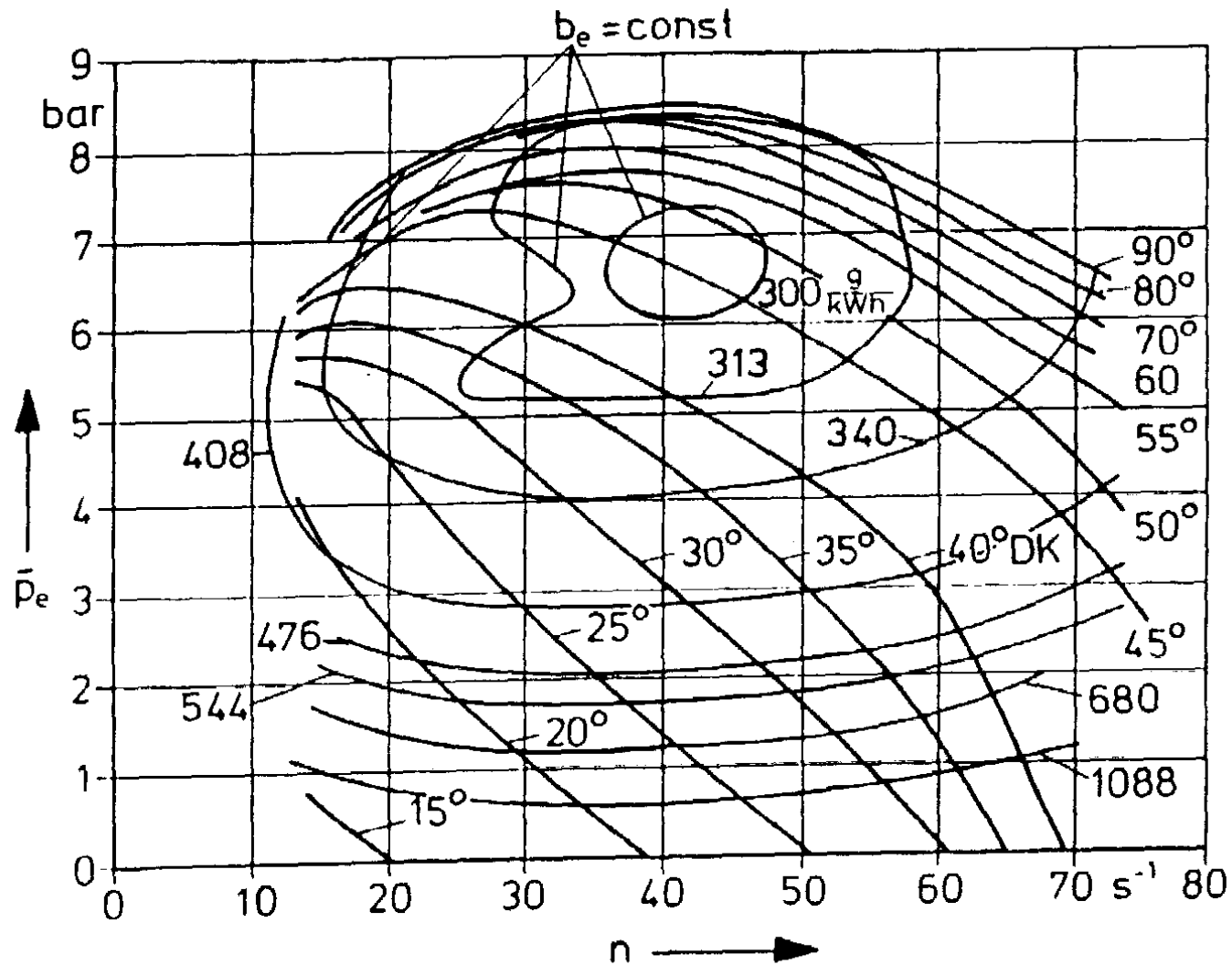
**Leistungs- und Speicherdichte von verschiedenen Antriebskonzepten (Motor und Speicher).**  
 1 Gasturbine, 2 Verbrennungsmotor, 3 Motor mit äußerer Verbrennung, 4 Elektromotor mit Brennstoffzelle, 5 Elektromotor mit Lithium-Chlor-Batterie, 6 Elektromotor mit Zink-Luft-Batterie, 7 Elektromotor mit Nickel-Cadmium-Batterie, 8 Elektromotor mit Blei-Batterie.



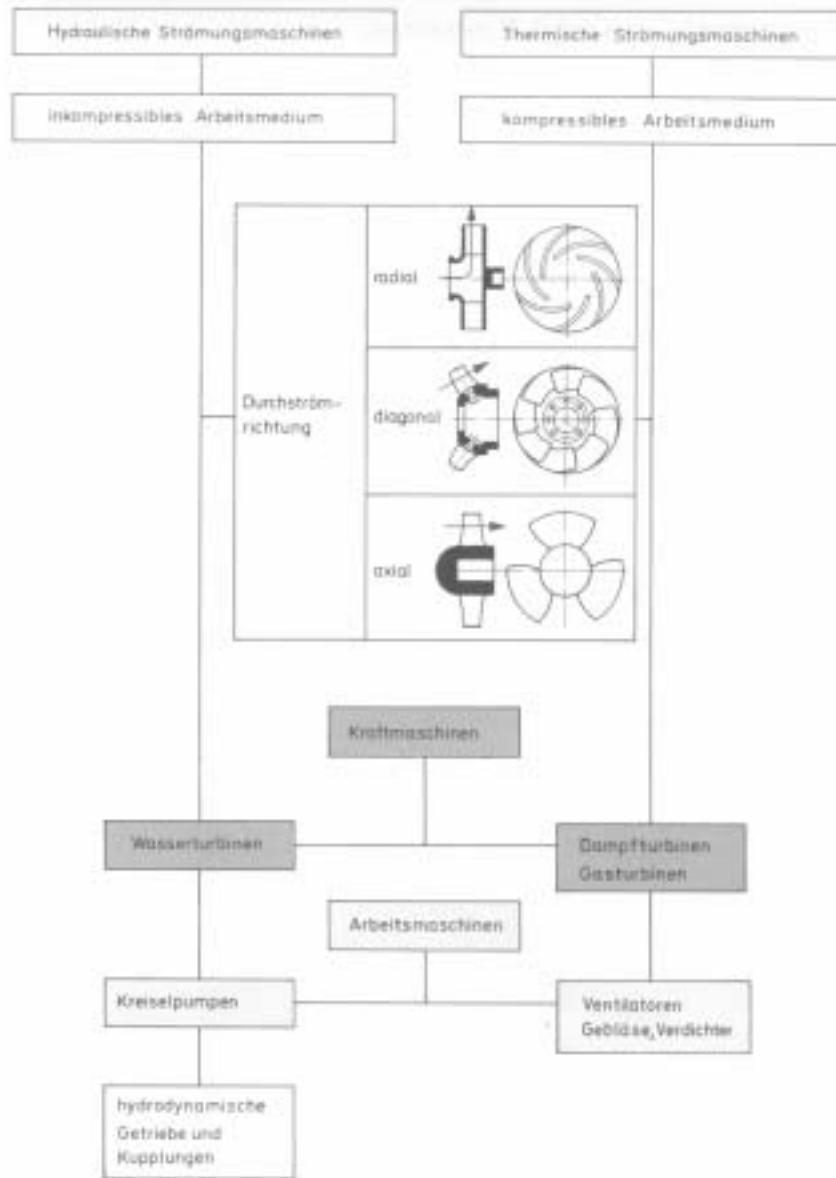
**Relatives Drehmoment für verschiedene Antriebsmaschinen.**

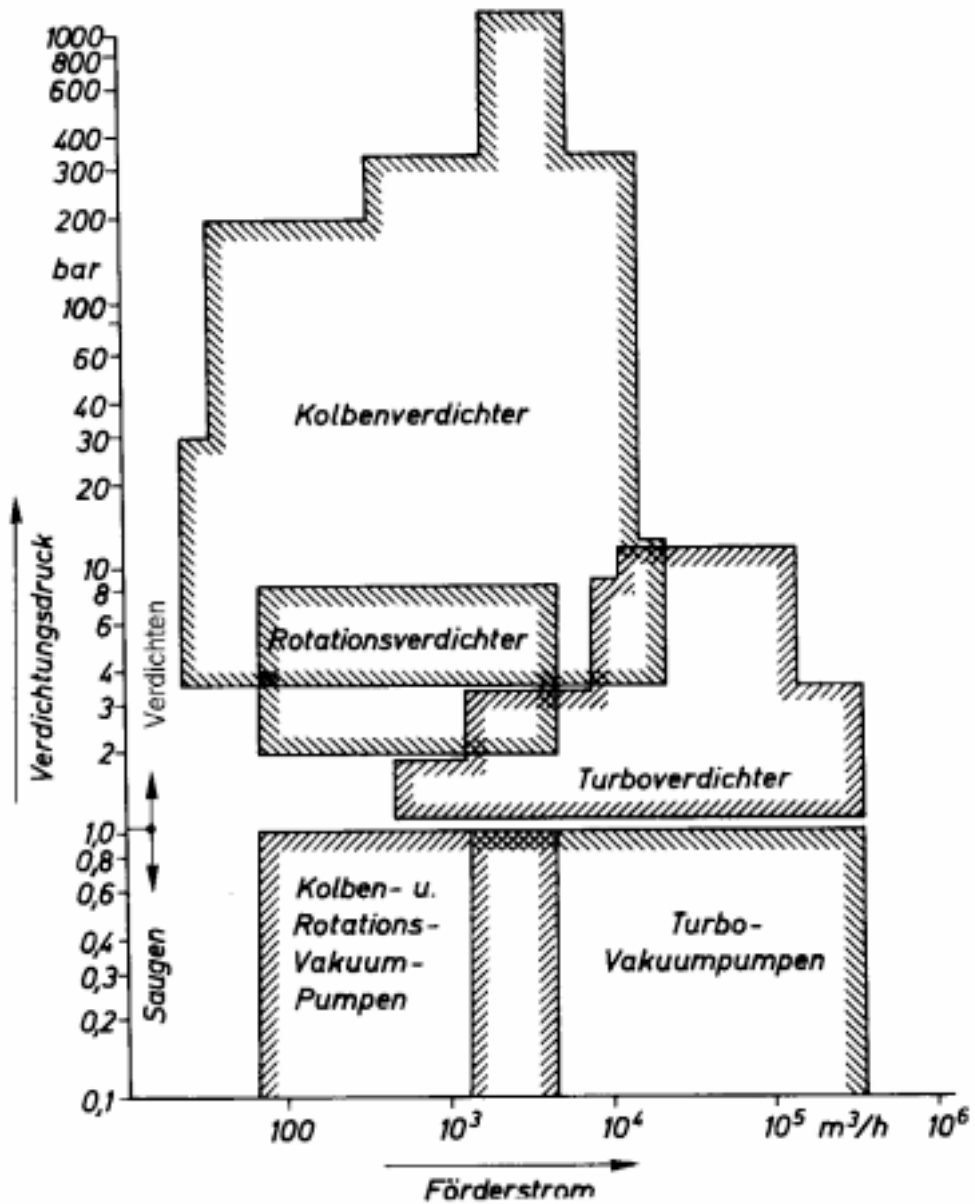
1 Bezugspunkt: Gasturbinen-Auslegungspunkt, Kolbenmotor  $n_{max}$ , 2 Dampfmotor, 3 Elektromotor, 4 Begrenzung des max. Druckes bzw. des max. Stromes, 5 Zweiwellen-Gasturbine, 6 Ottomotor, 7 Dieselmotor, 8 Einwellen-Gasturbine.

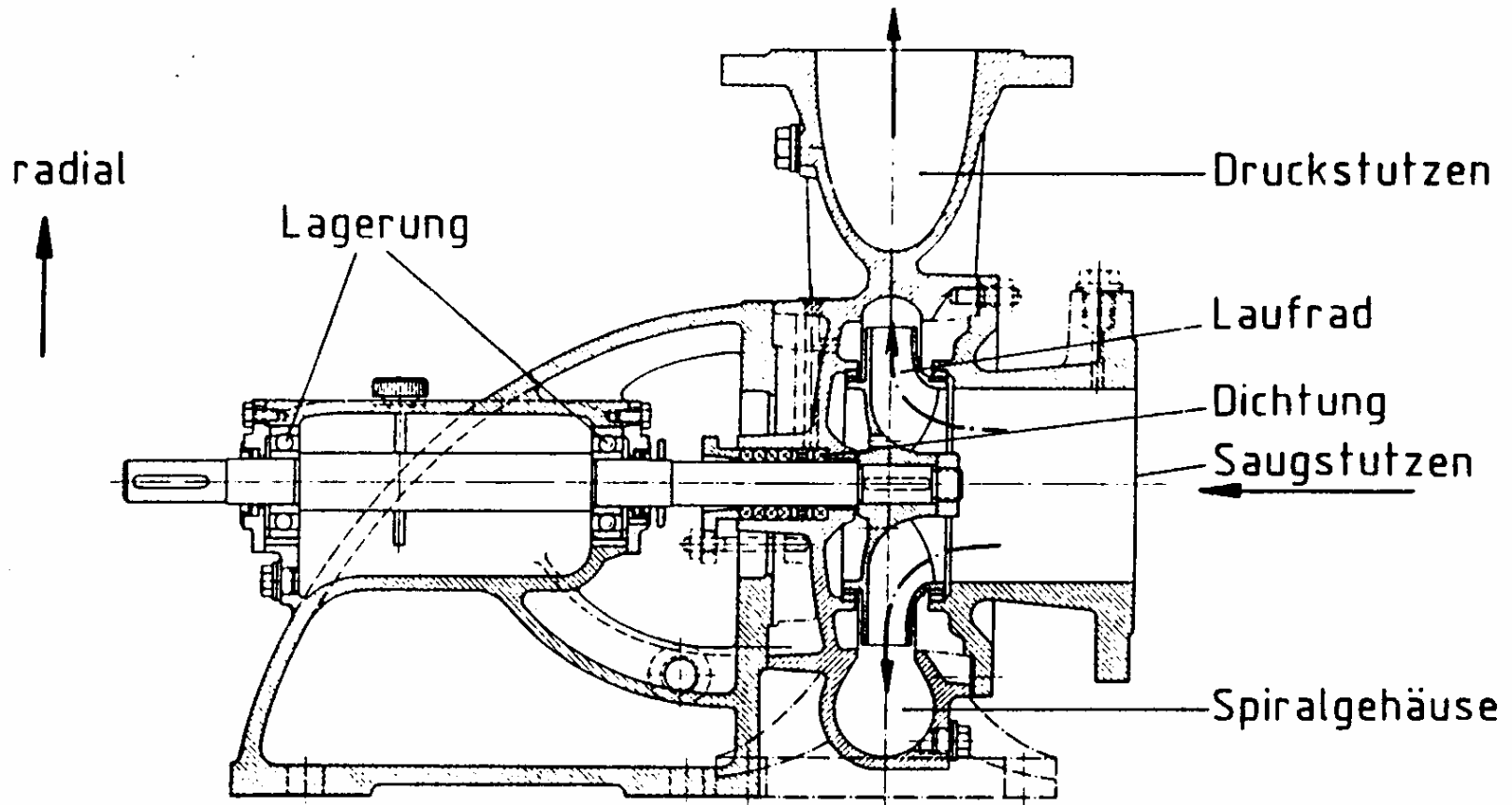




**Motorkennfeld mit Kurven  $DK = \text{const.}$  und  $b_e = \text{const.}$**

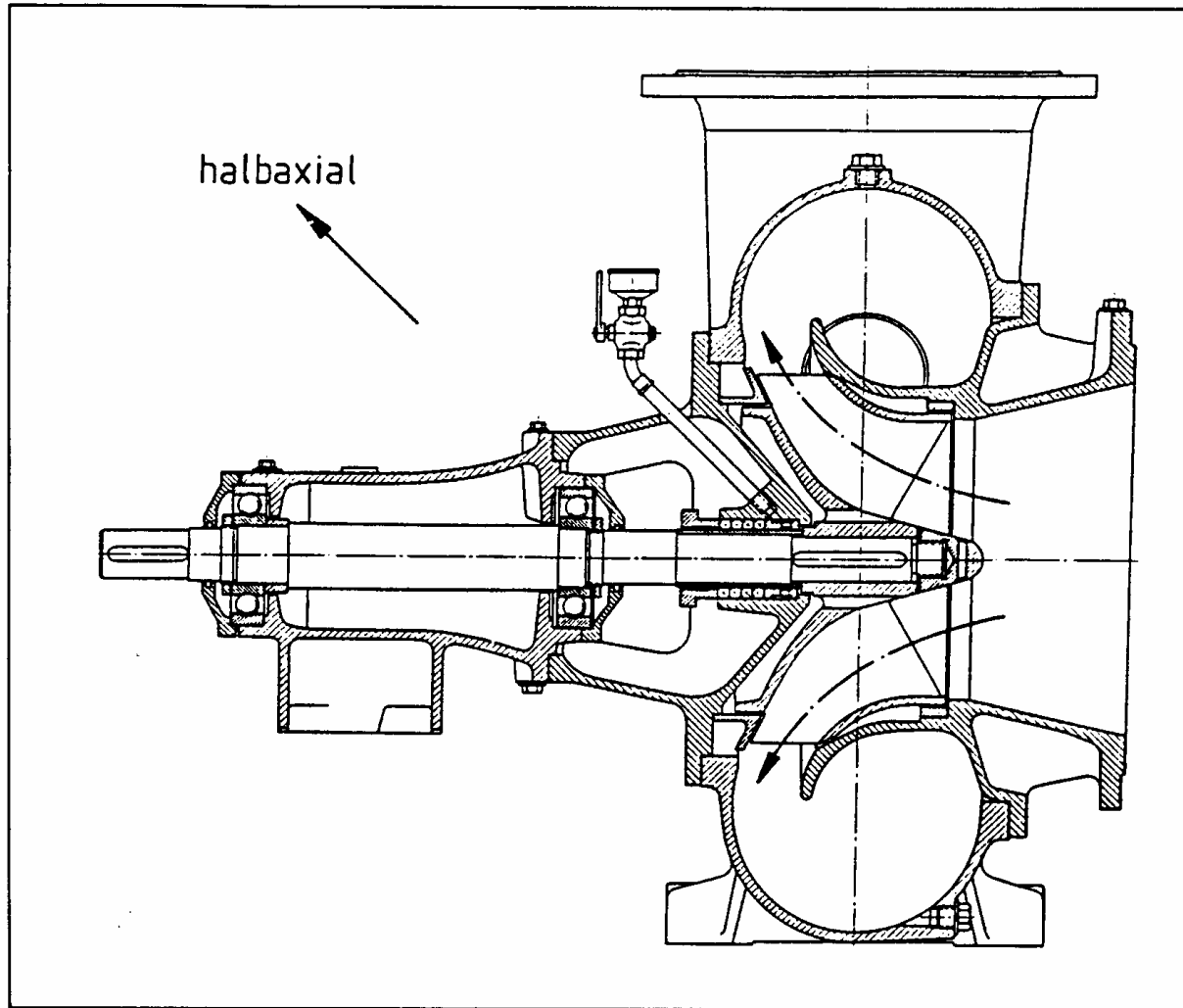






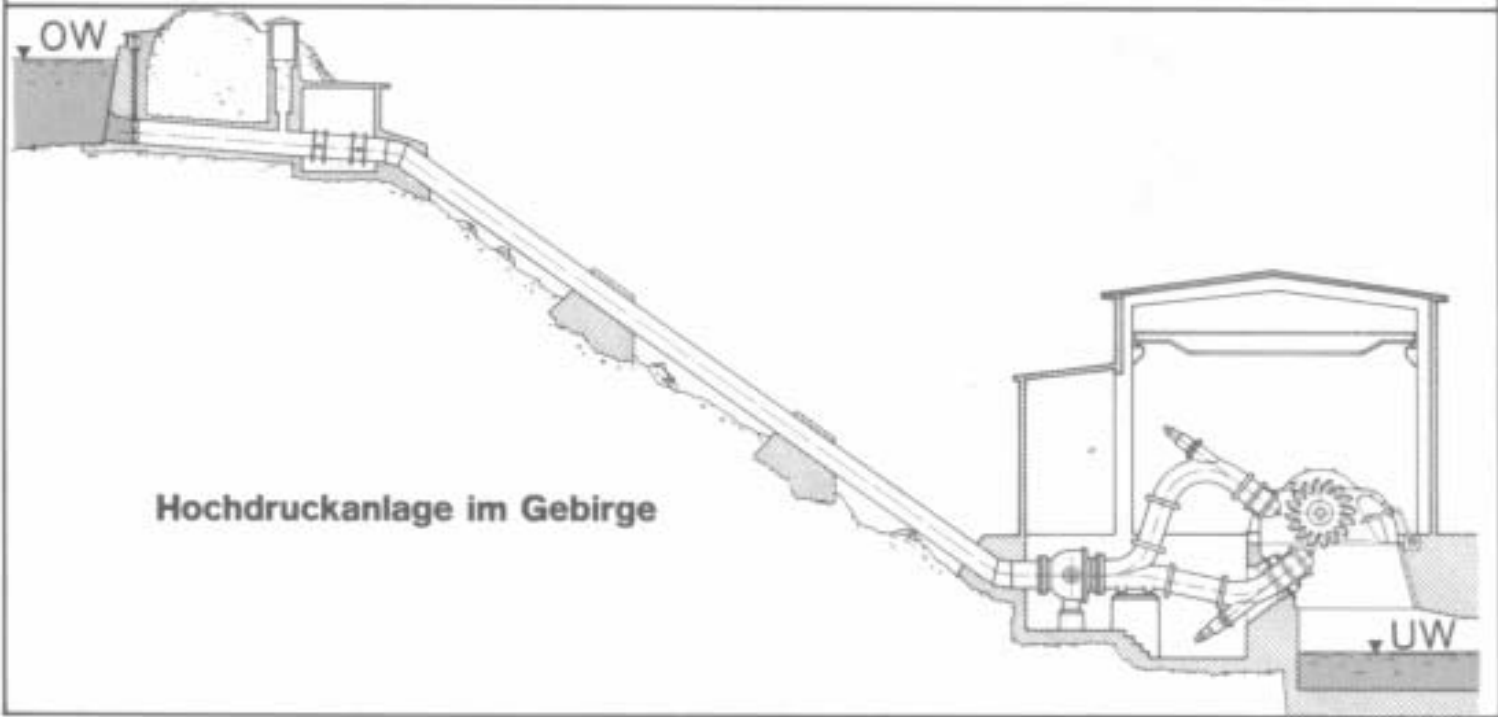
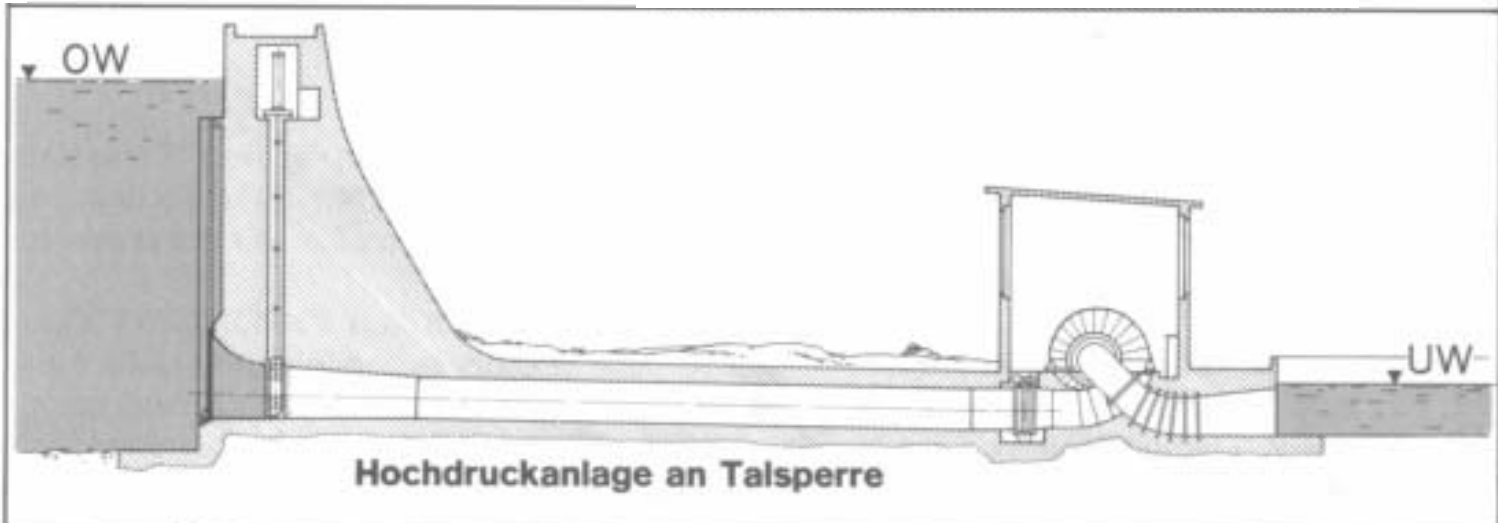
## Radiale Kreiselpumpe

(Die Abströmrichtung des angesaugten Fluids ist radial)

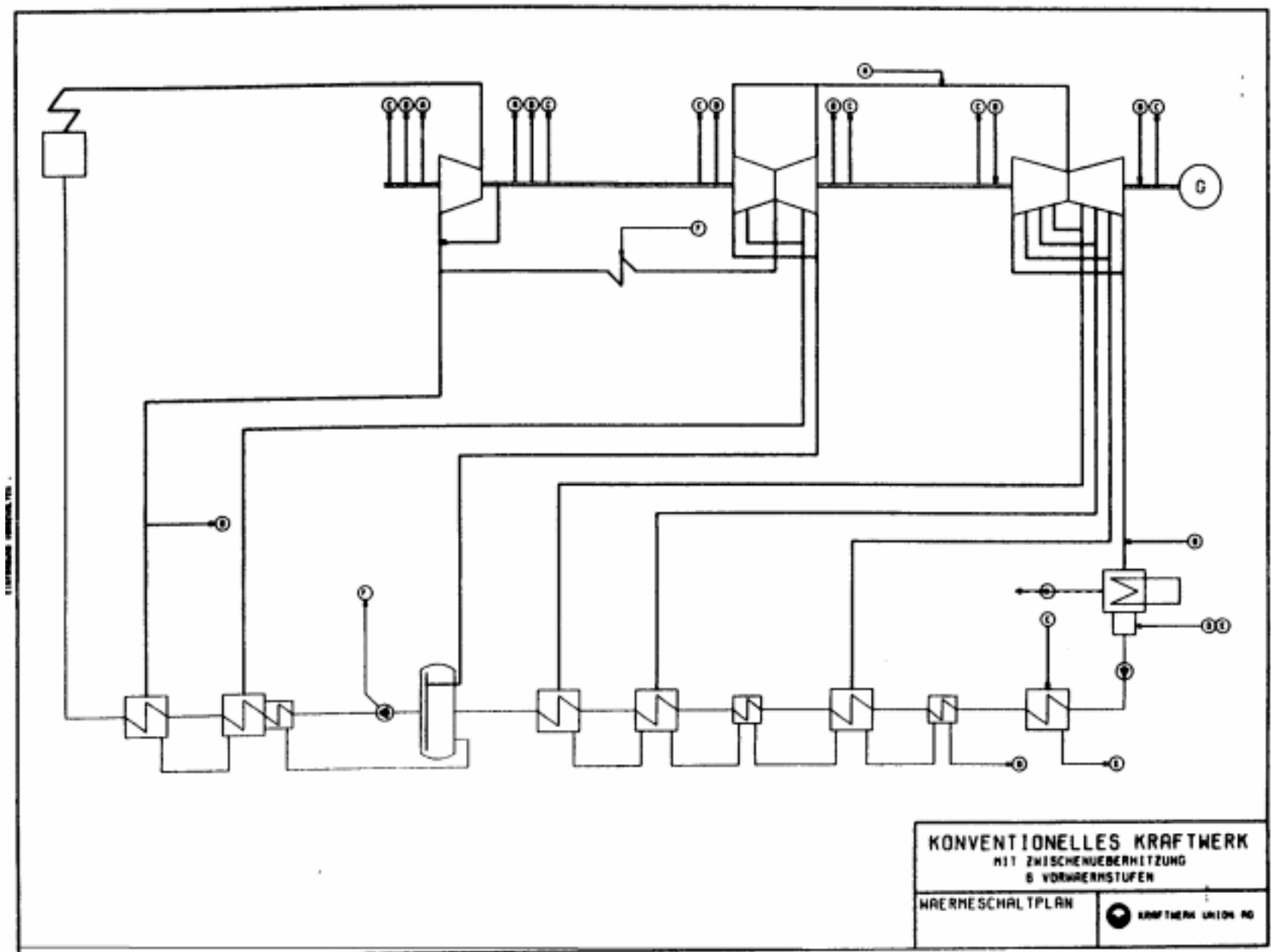


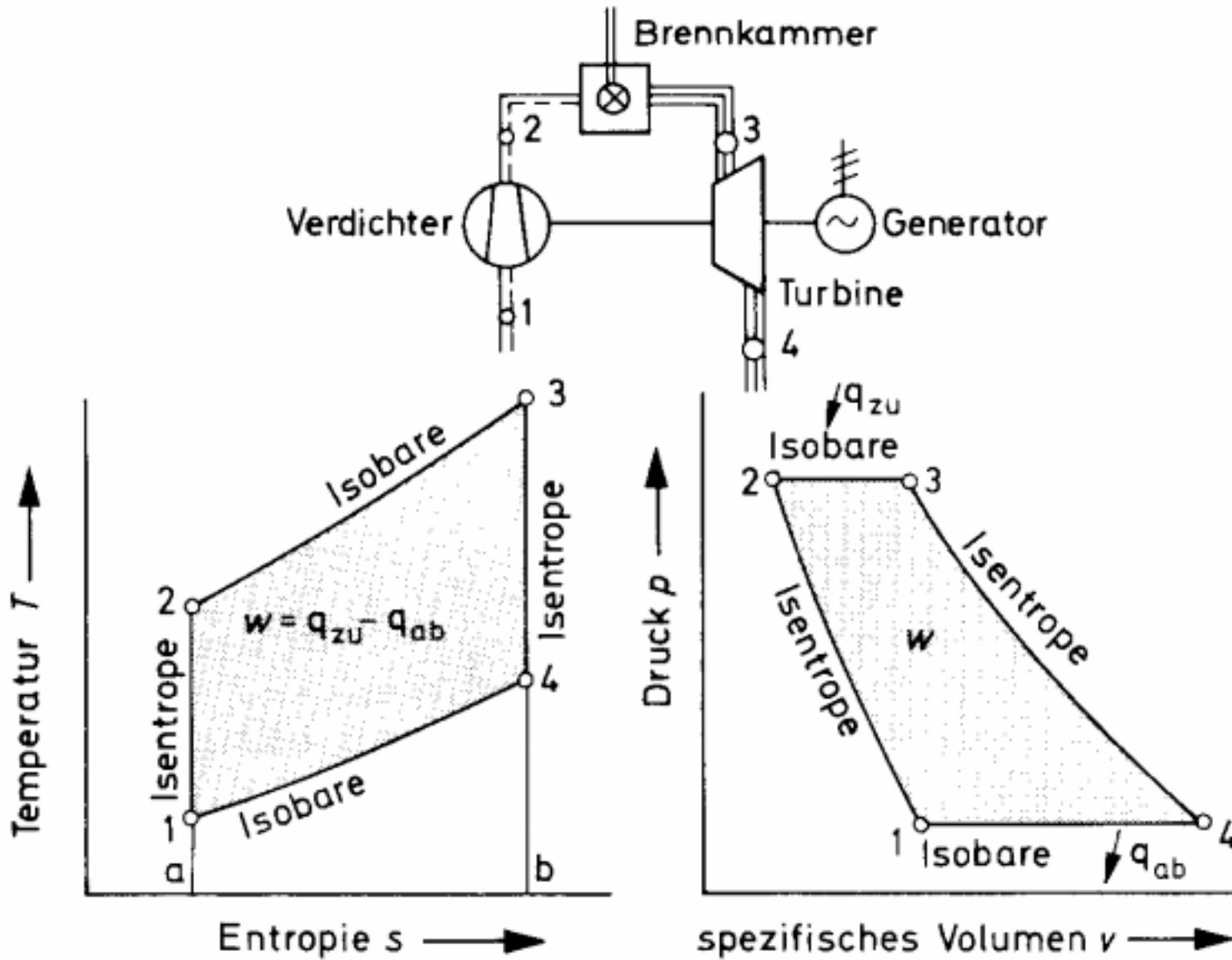
**Halbaxiale Kreiselpumpe (Diagonalrad) mit Spiralgehäuse**

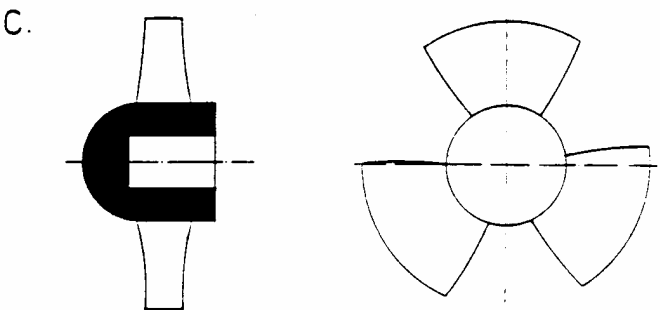
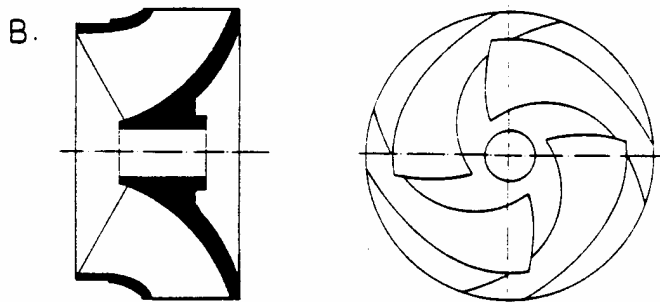
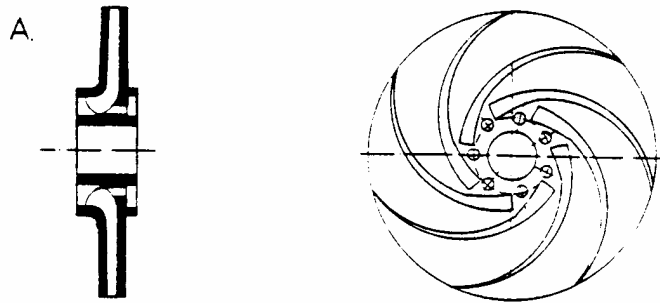
(Die Abströmrichtung des angesaugten Fluids ist halbaxial)



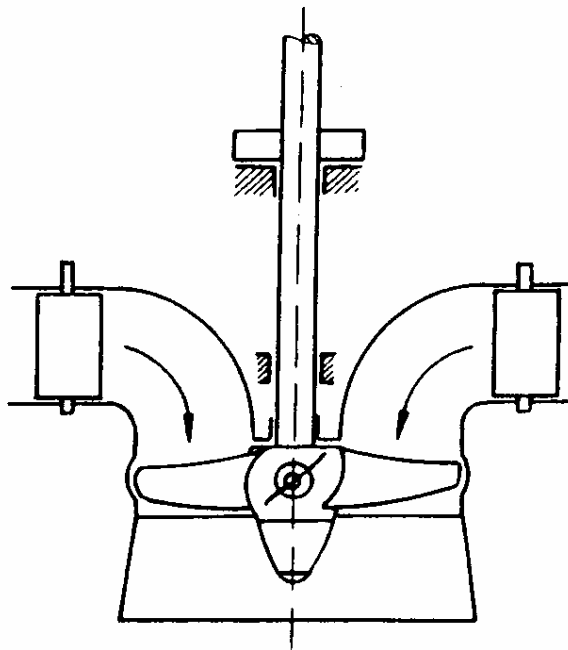




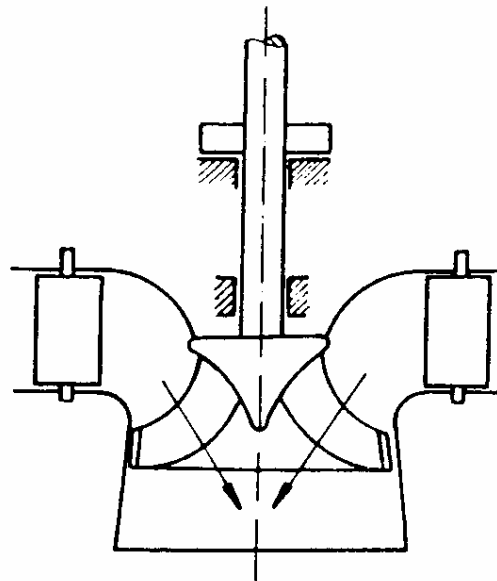




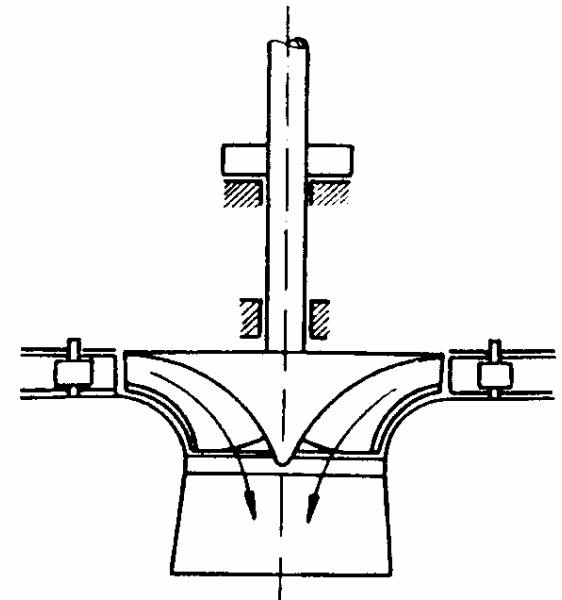
**A - radial**  
**B - diagonal (halfaxial)**  
**C - axial**



Kaplan - Turbine  
(axial durchströmt)

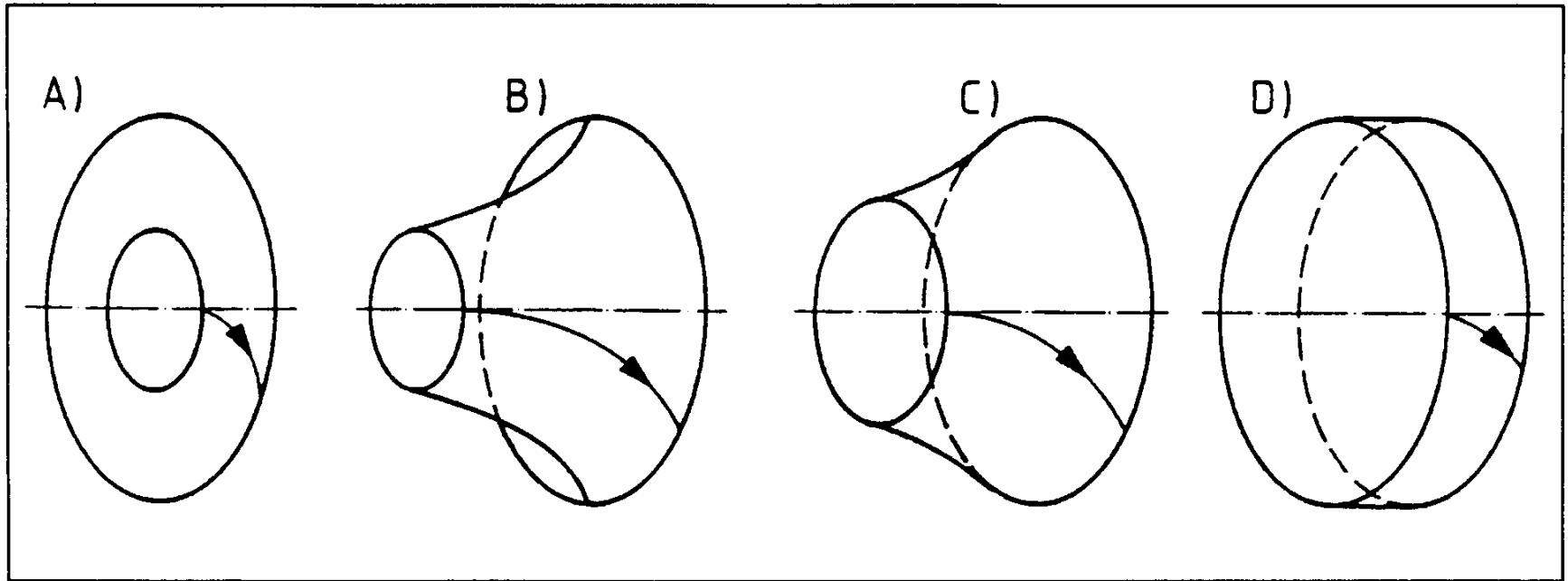


Francis - Turbine  
(diagonal durchströmt)



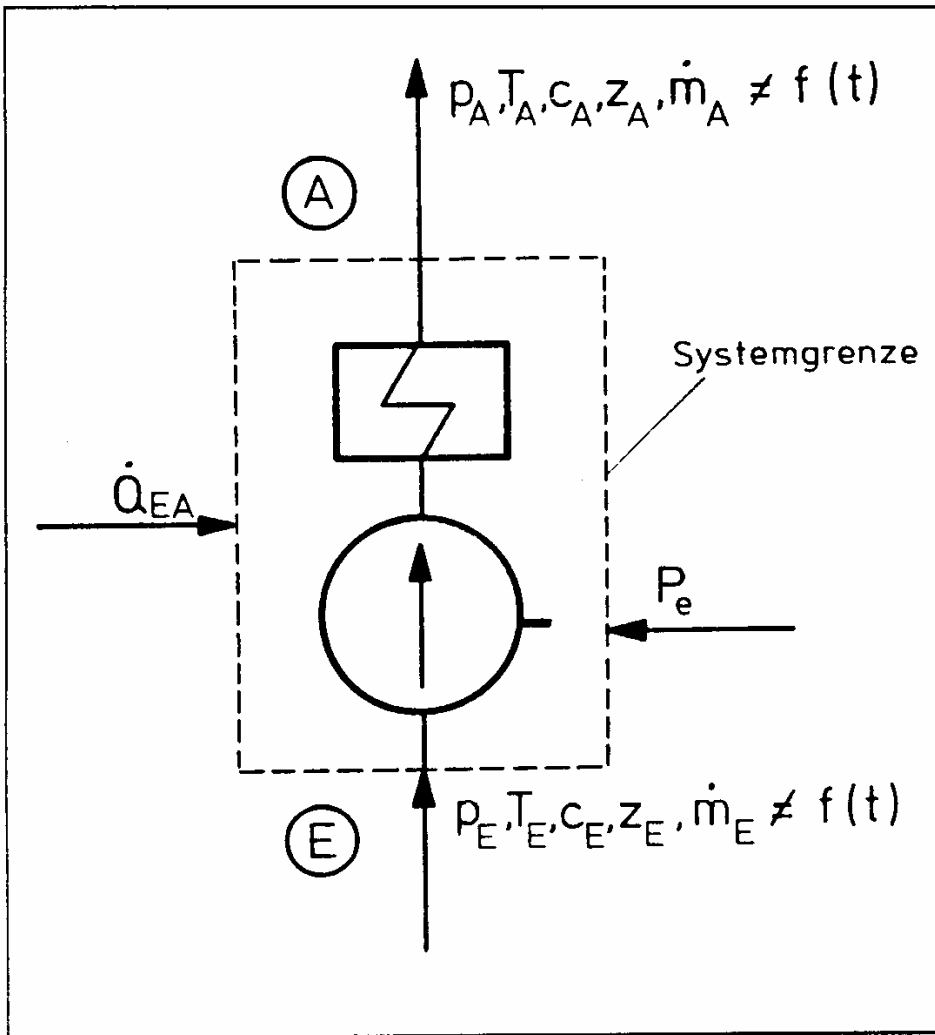
Francis - Turbine  
(radial durchströmt)

## Bauformprinzipien nach den Laufradbauarten



**Stromflächen zur Beschreibung von Laufrädern**

**A - radial      B, C - diagonal (halbaxial)      D - axial**

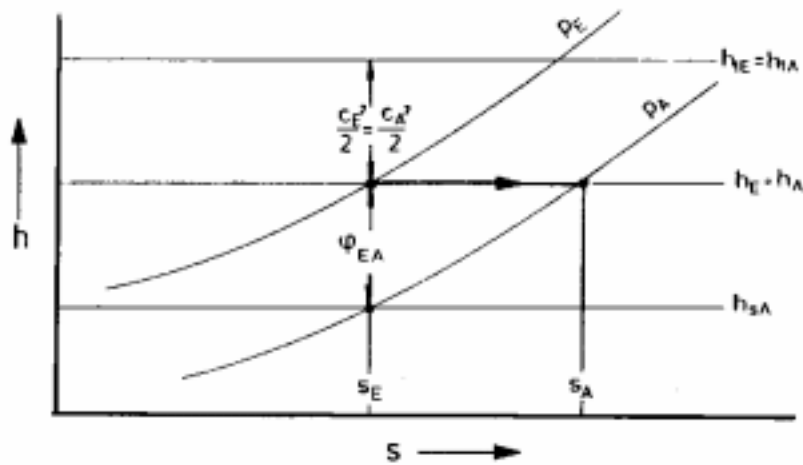
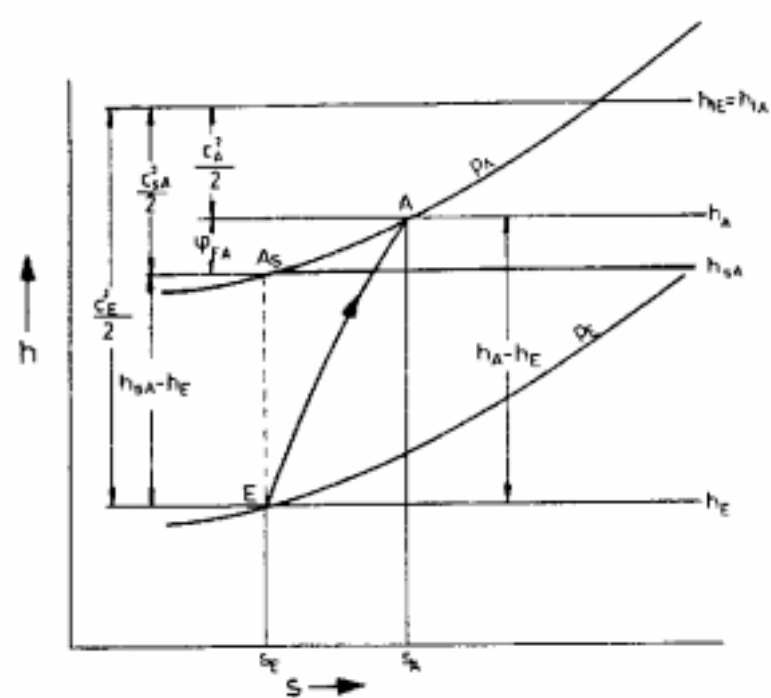
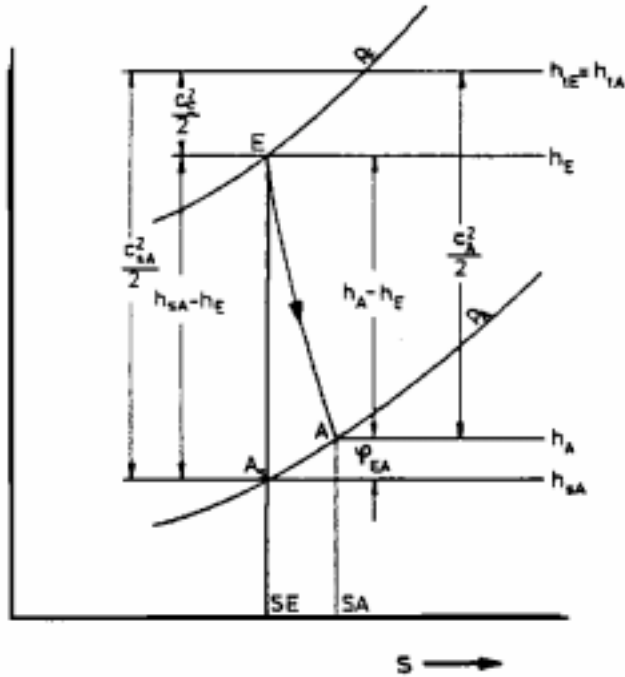


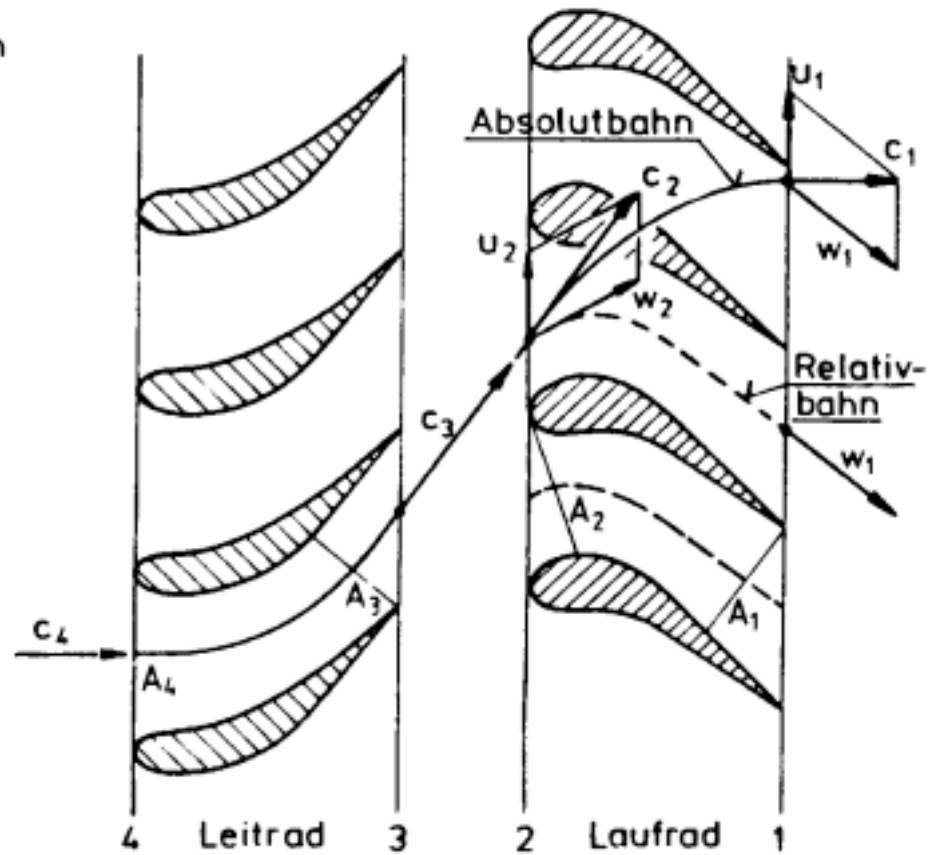
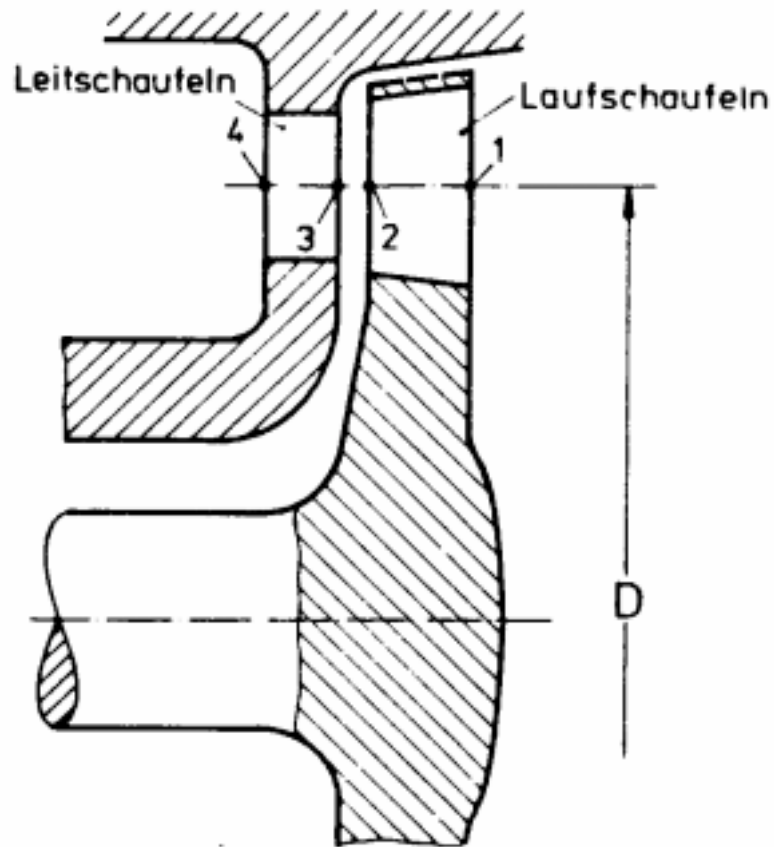
### Kontrollraum einer Fluidenergie- maschine

$\dot{Q}_{EA}$  = Wärmestrom

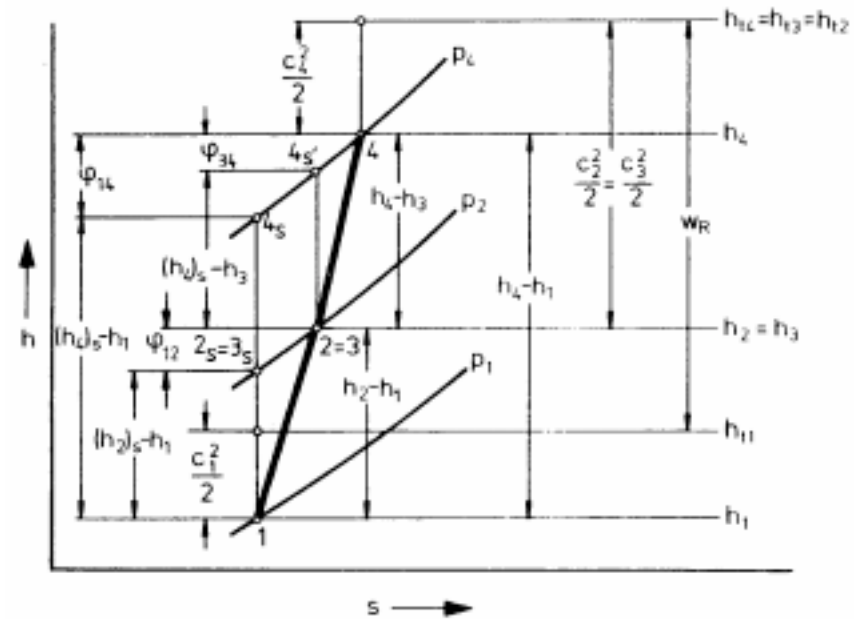
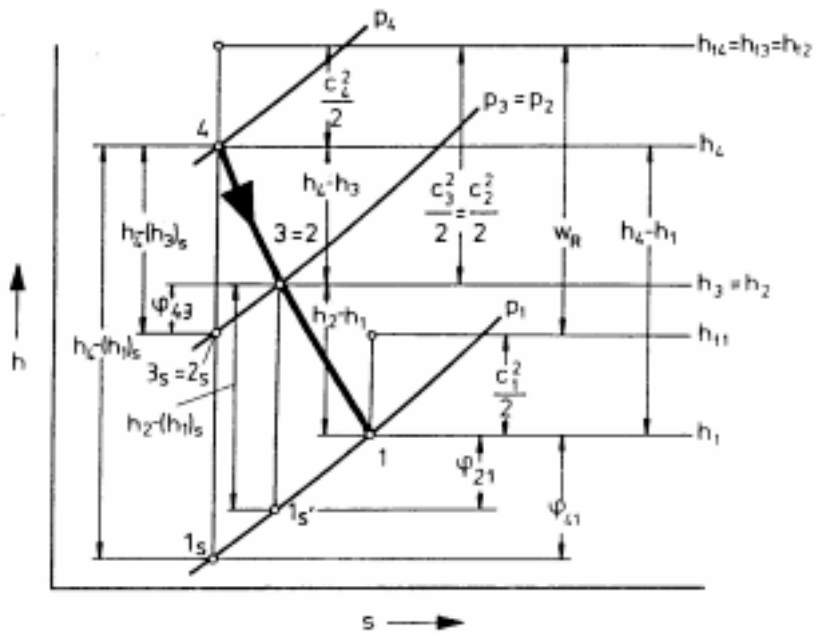
$P_e$  = effektive Kupplungsleistung

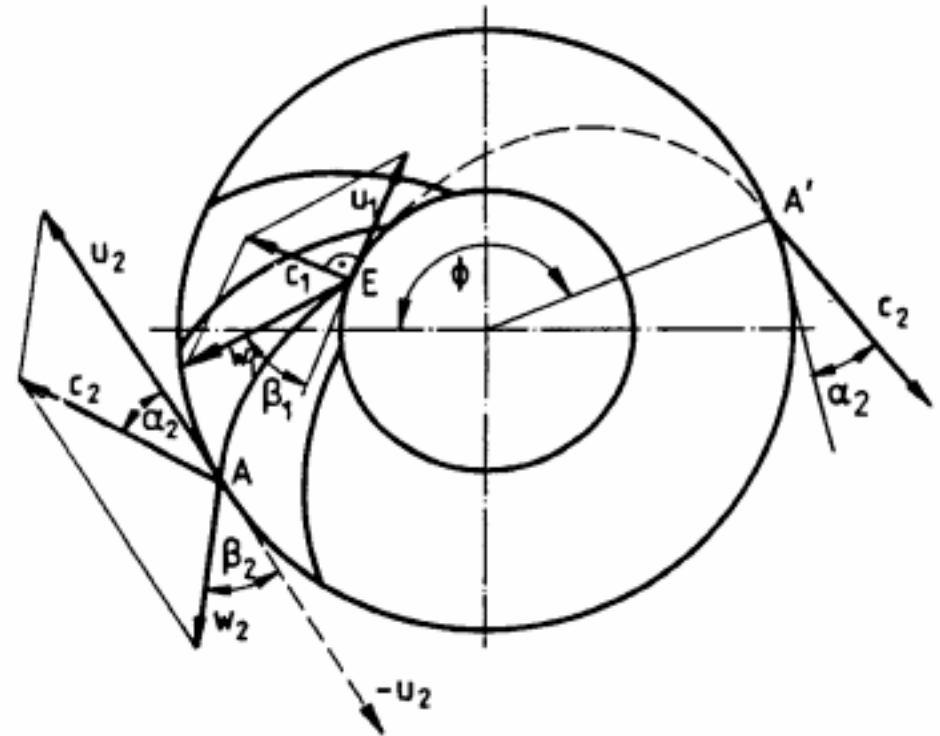
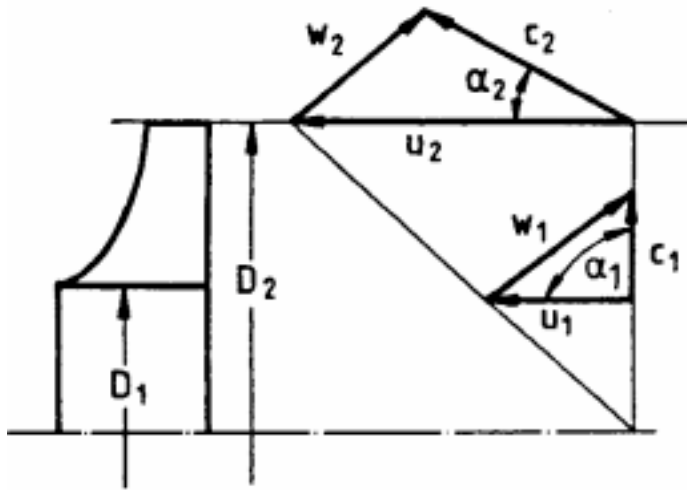
$p, T, c, z$  = Zustandsgrößen an der  
Kontrollraumgrenze

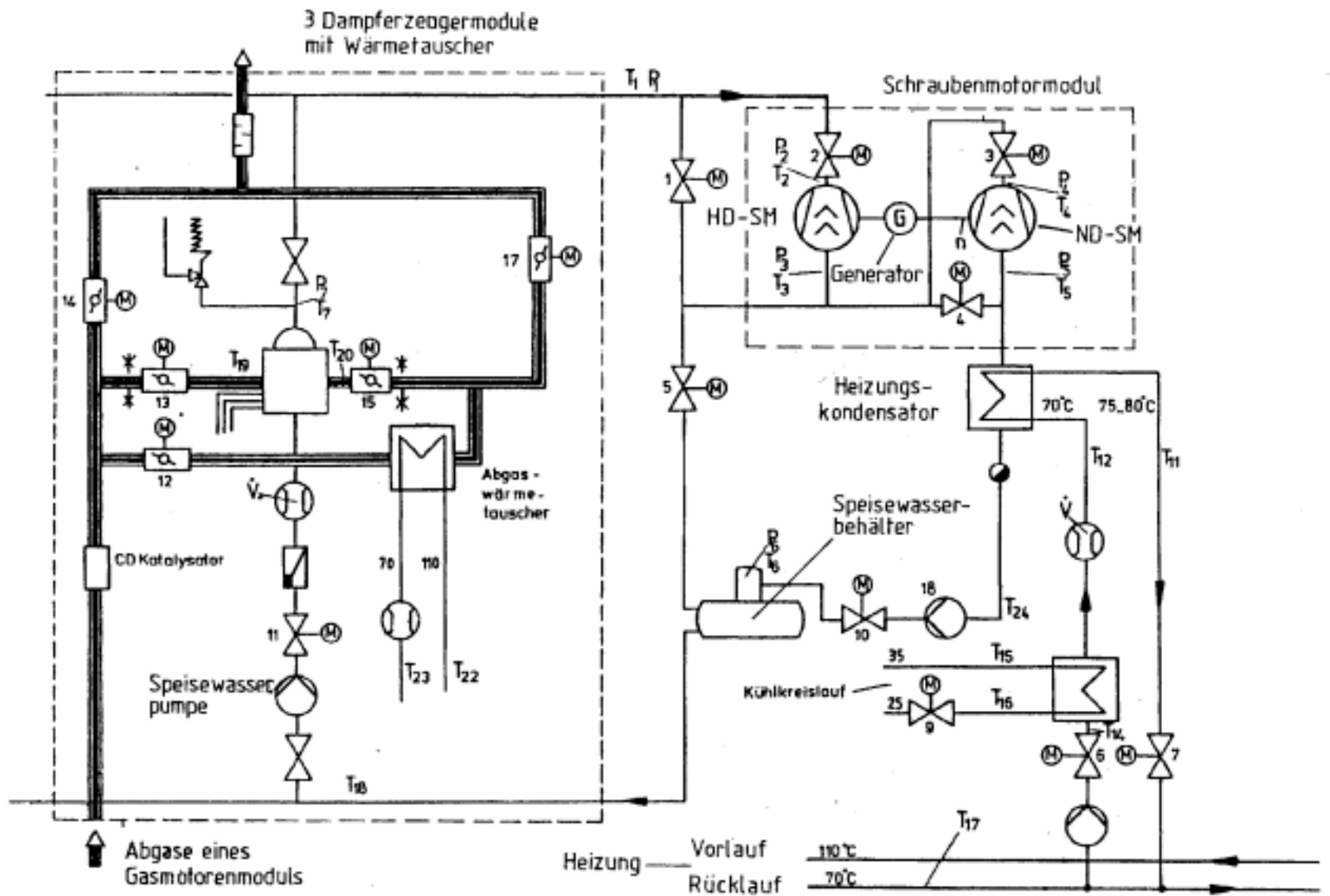


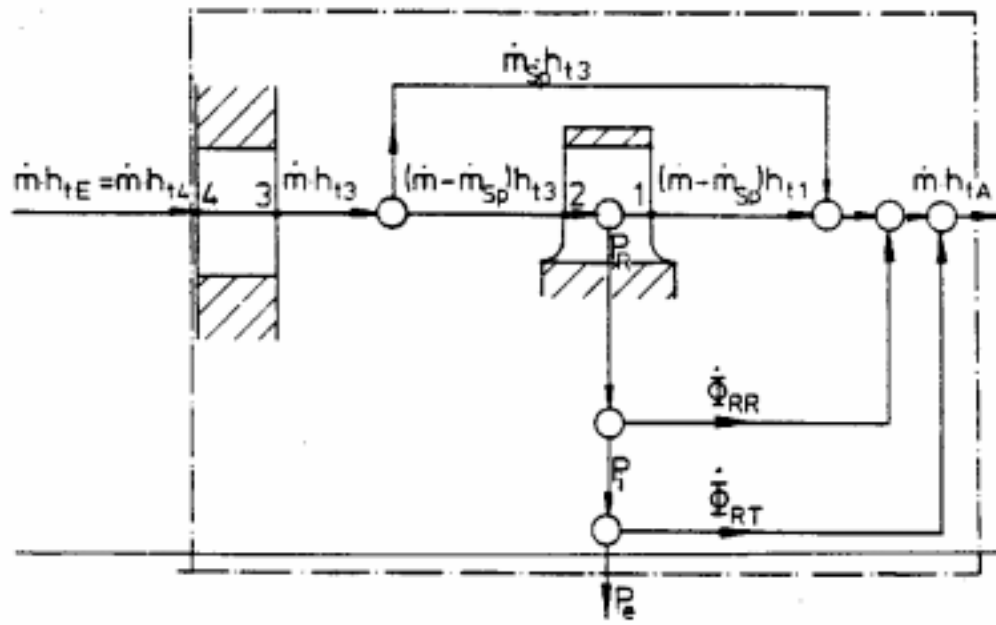
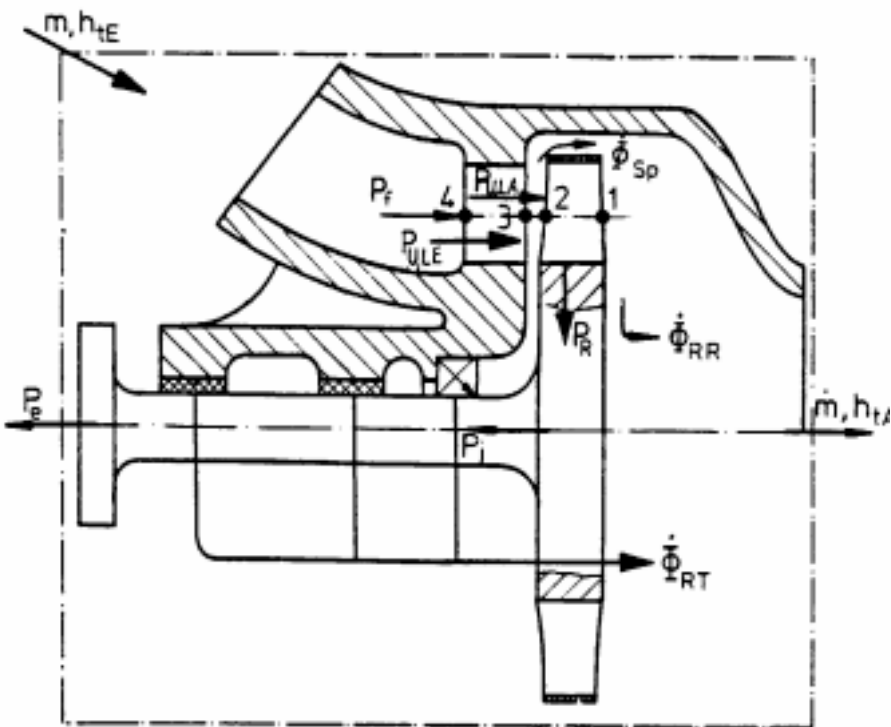


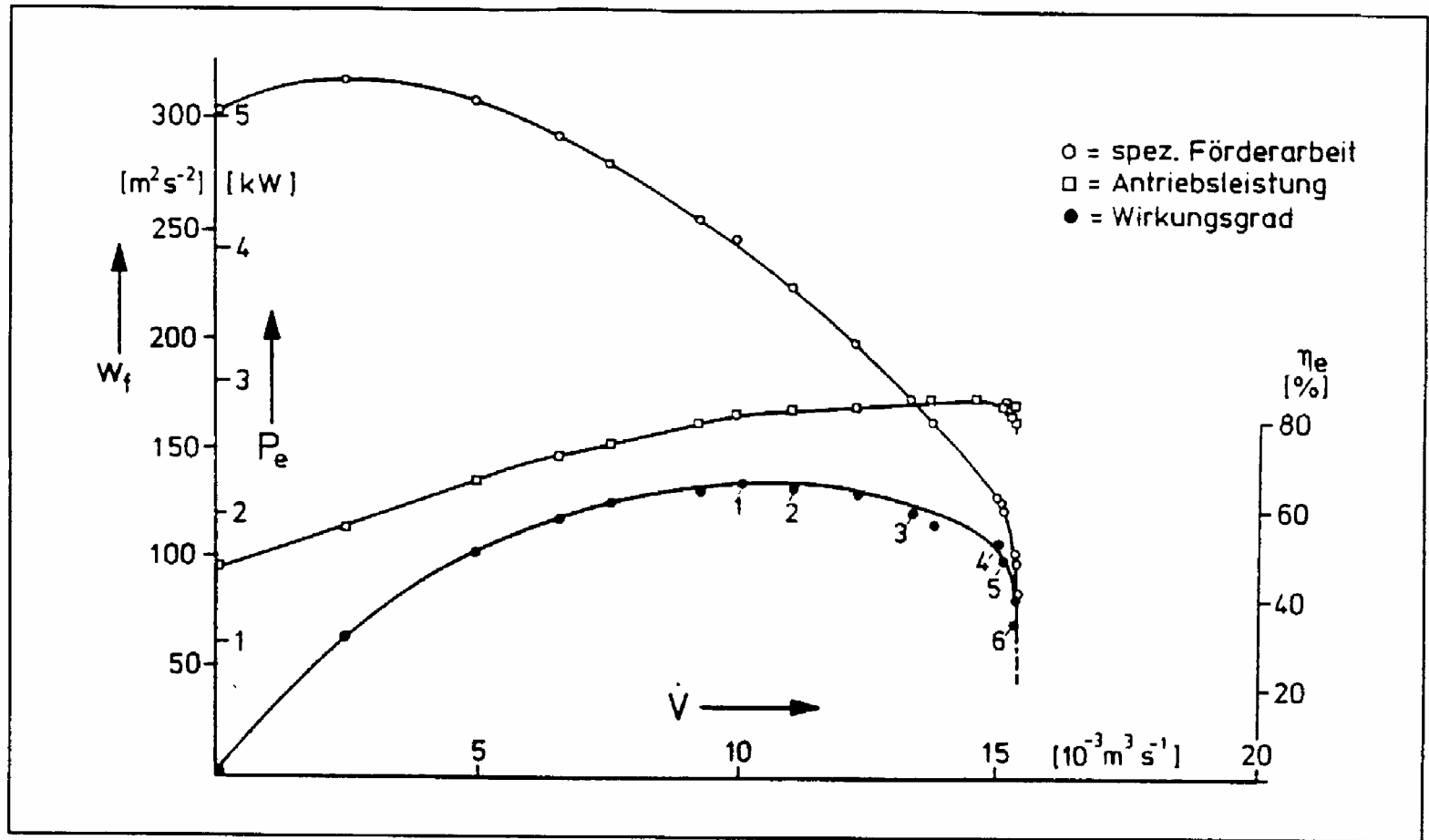


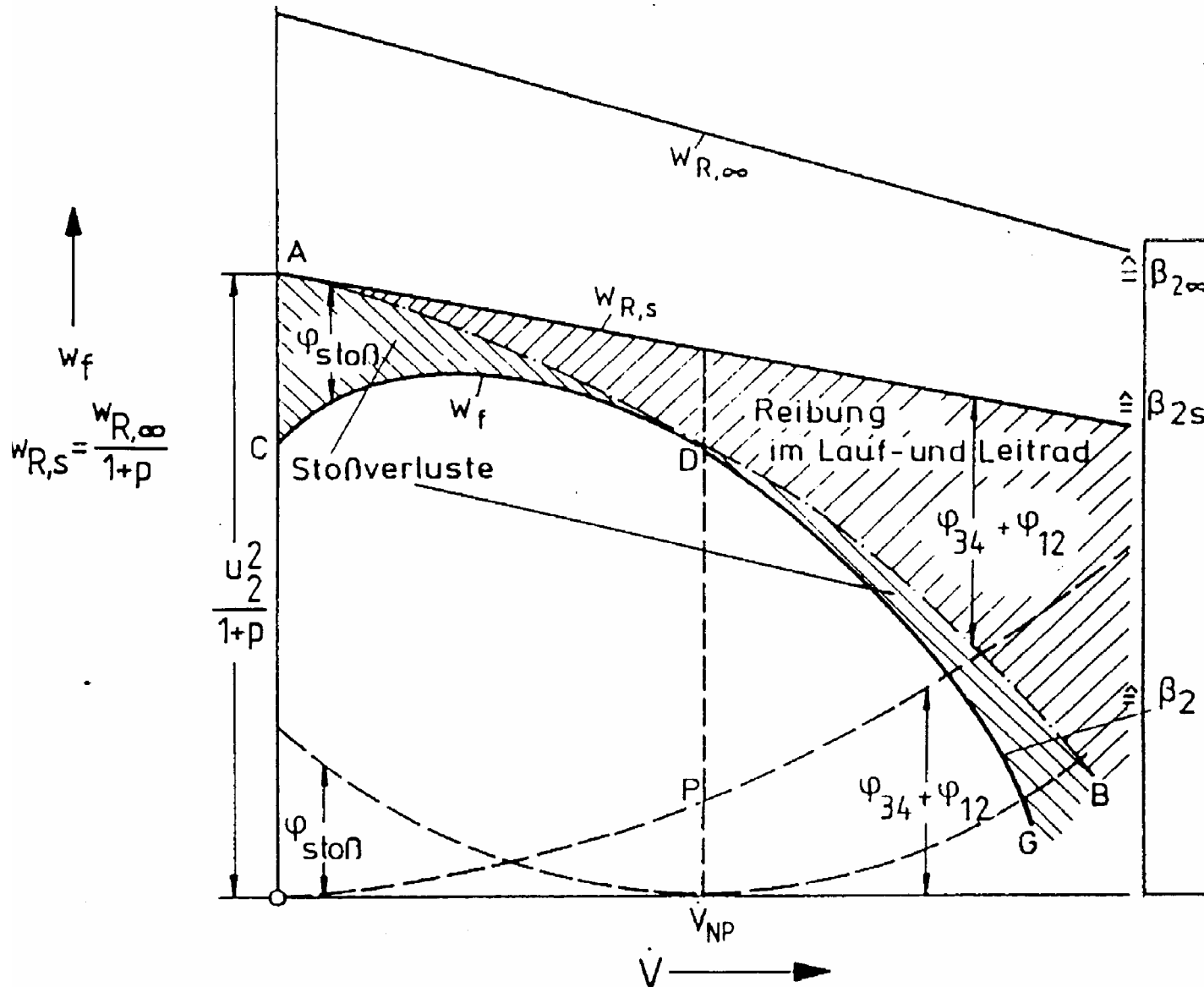


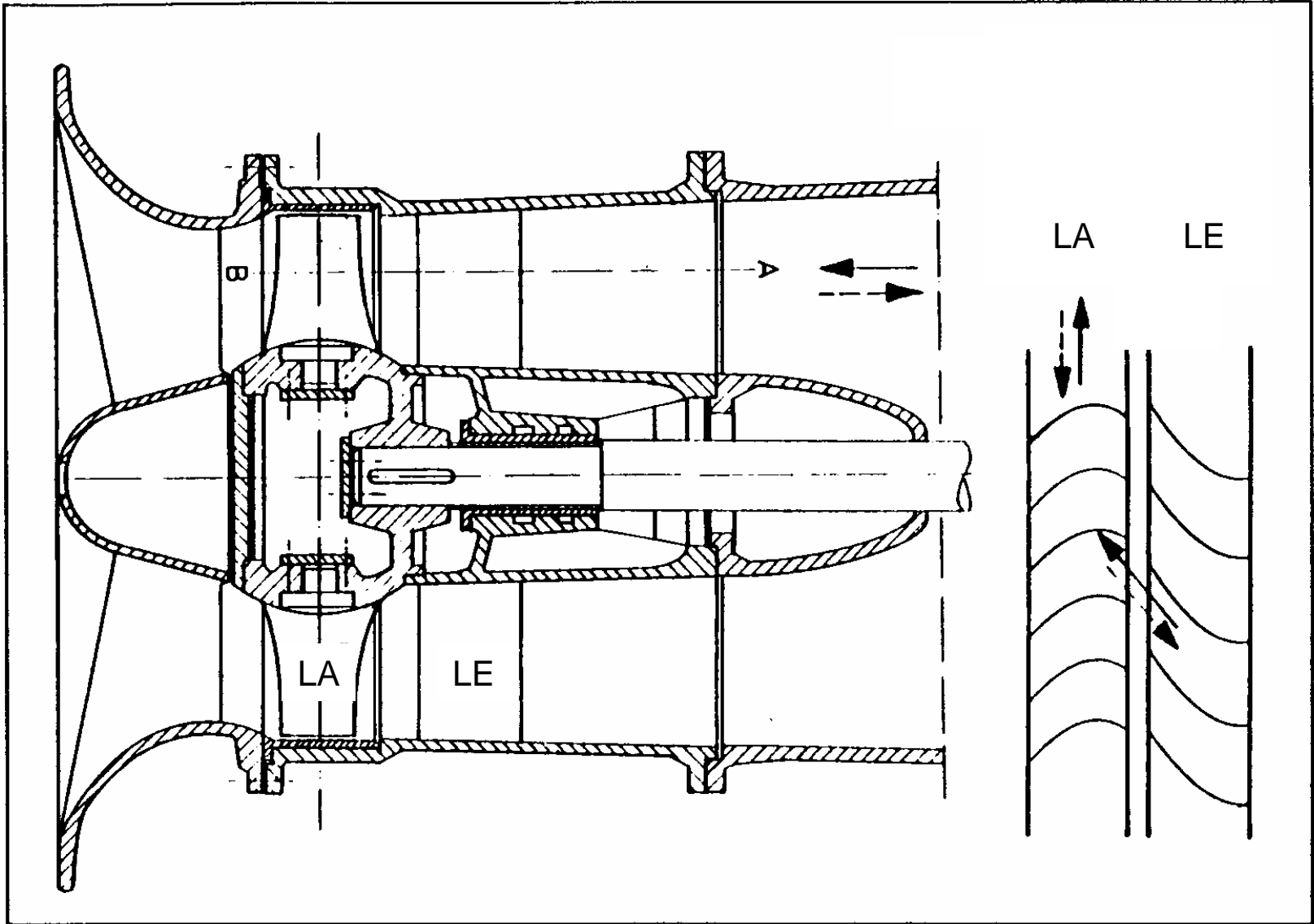


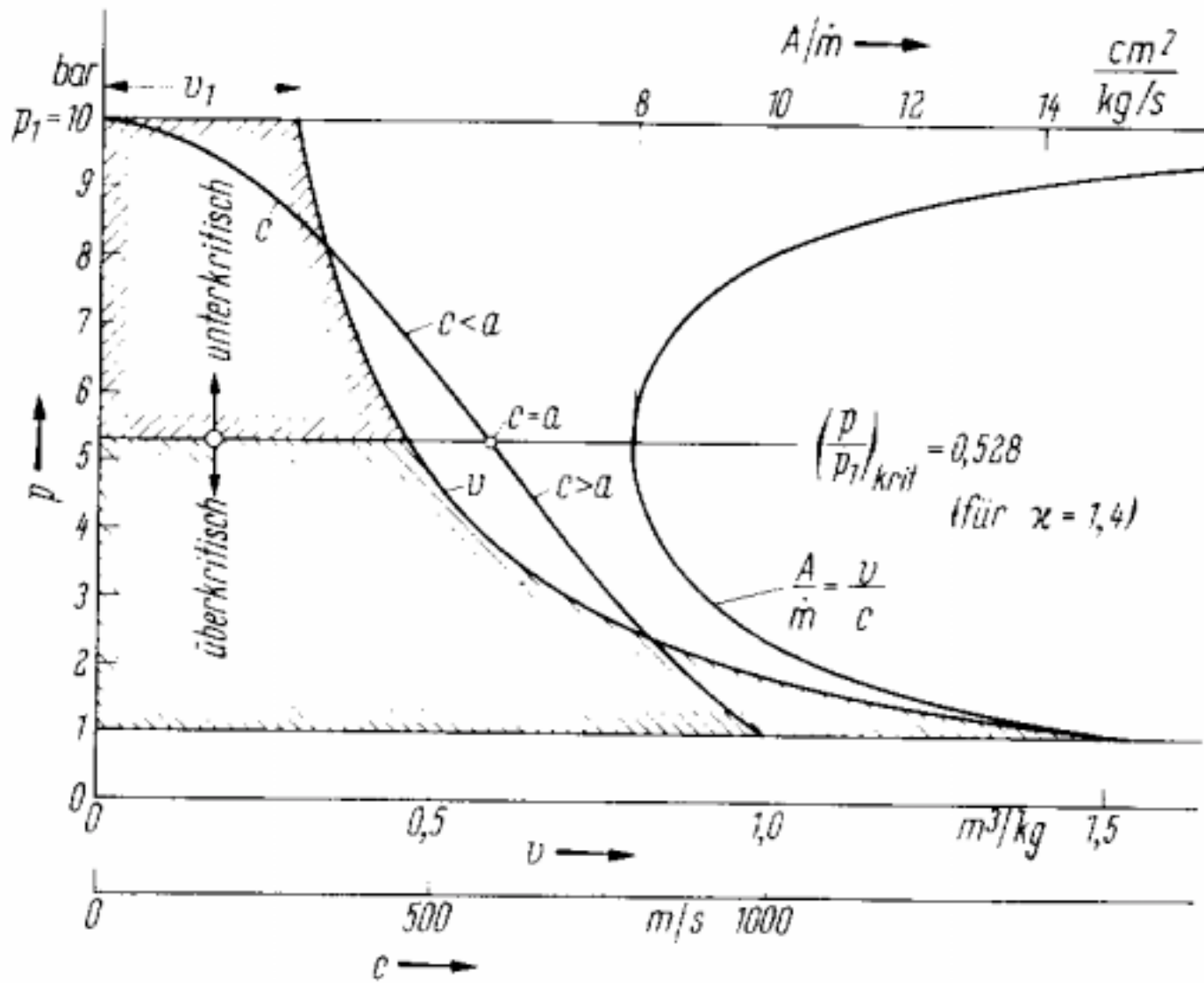




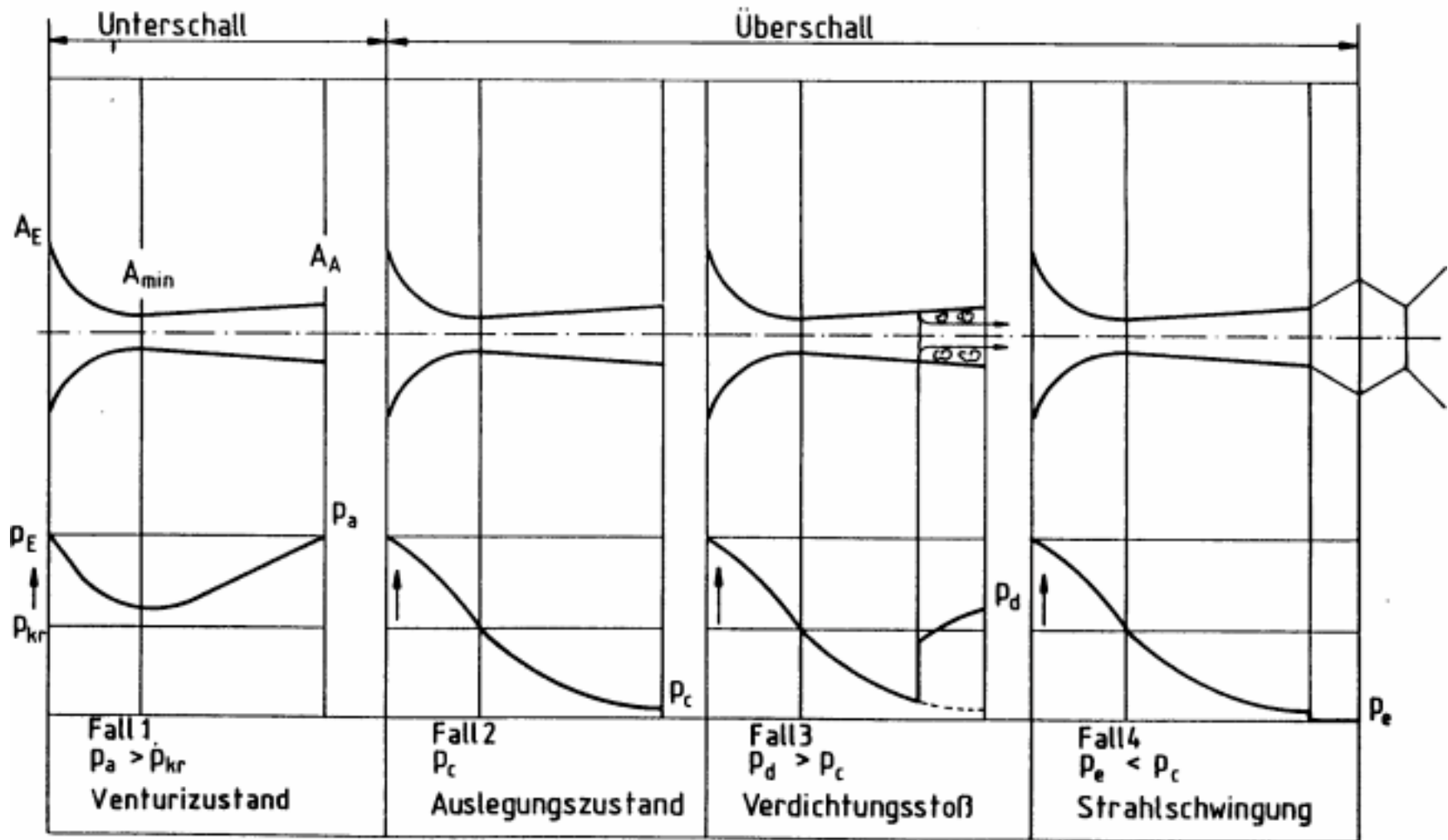


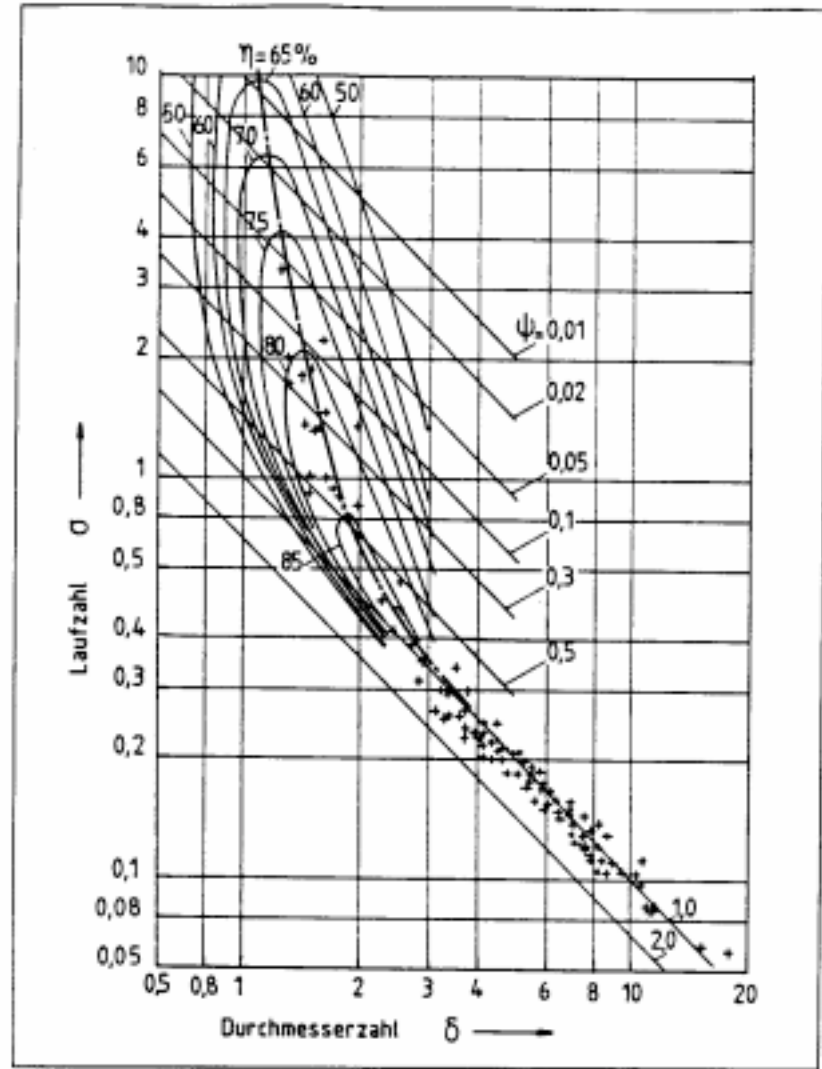
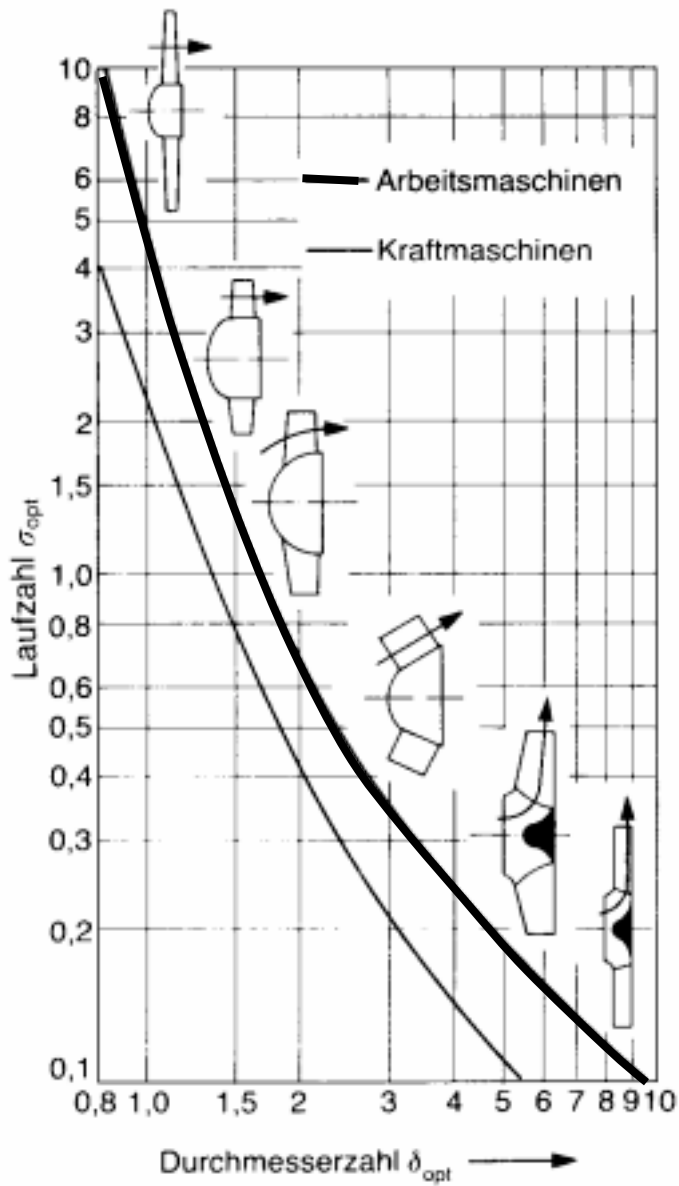


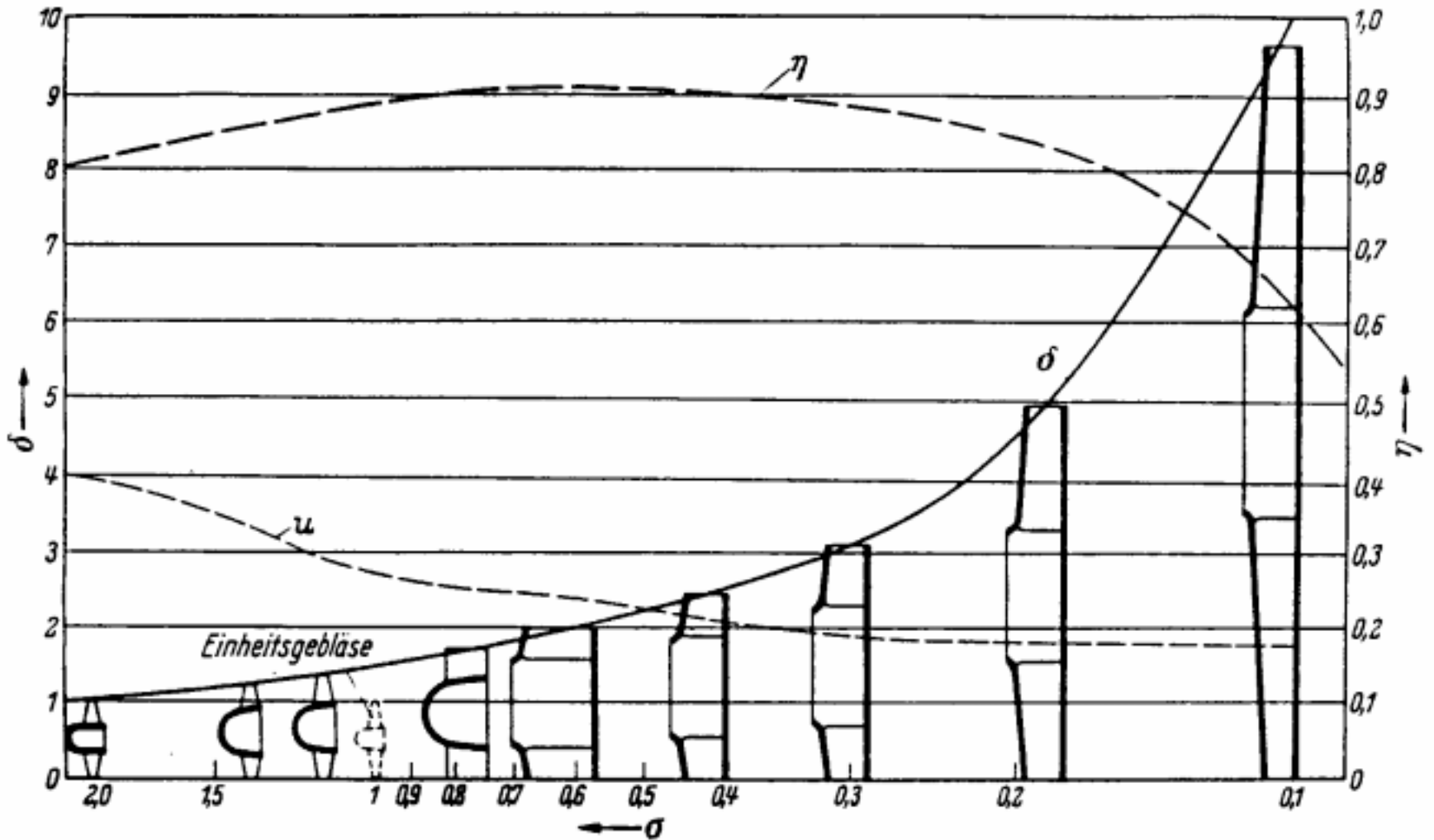


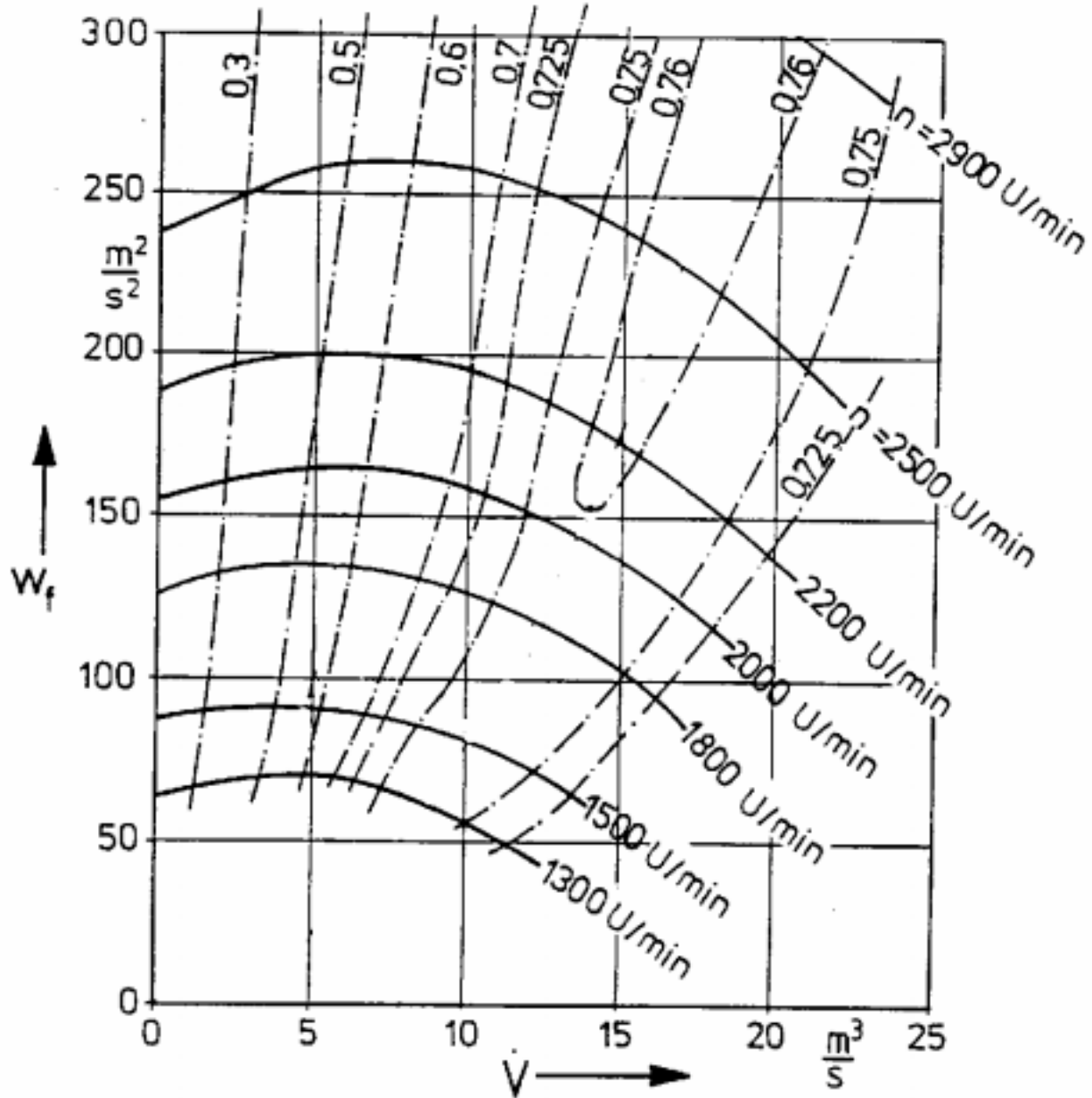


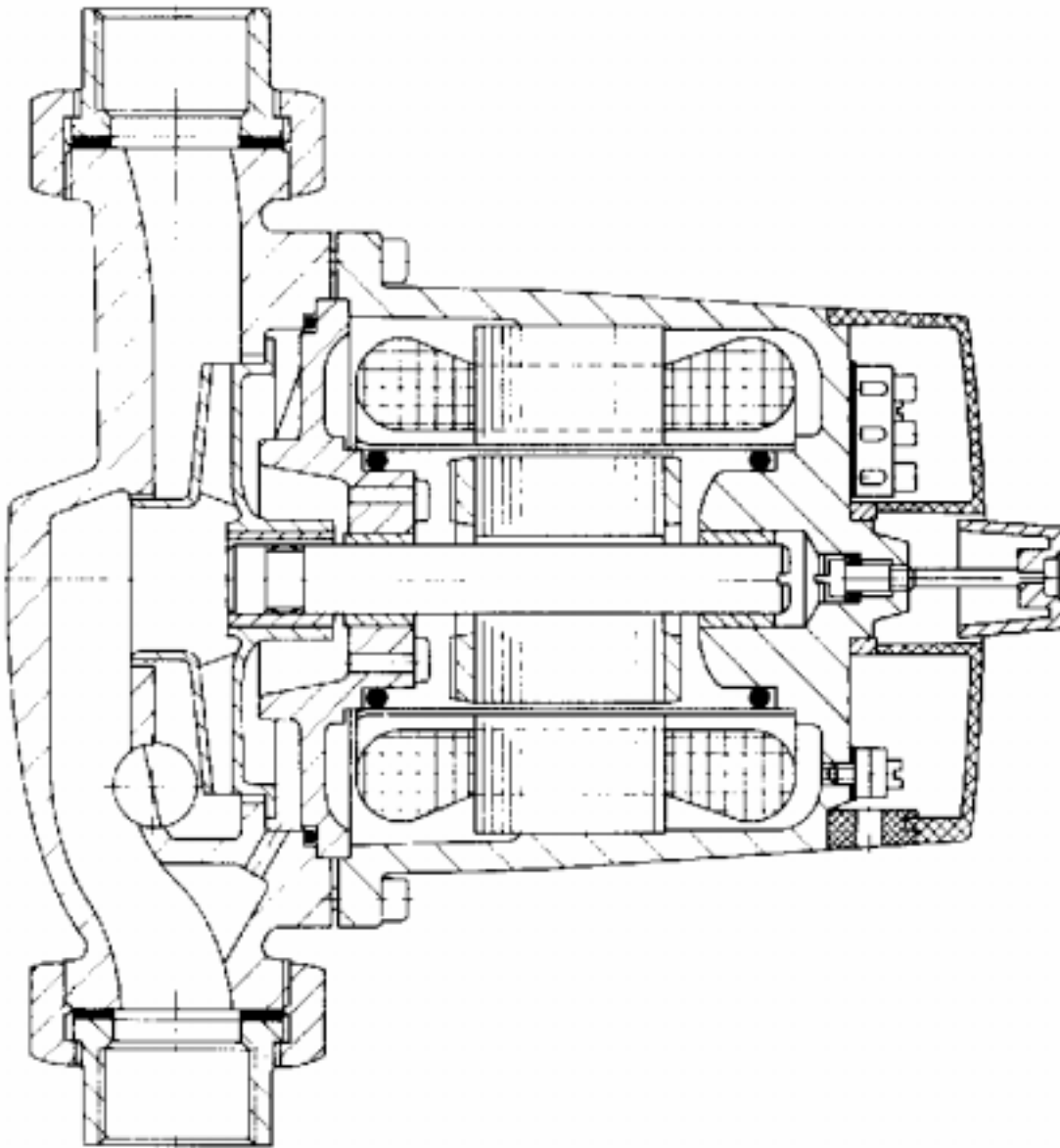


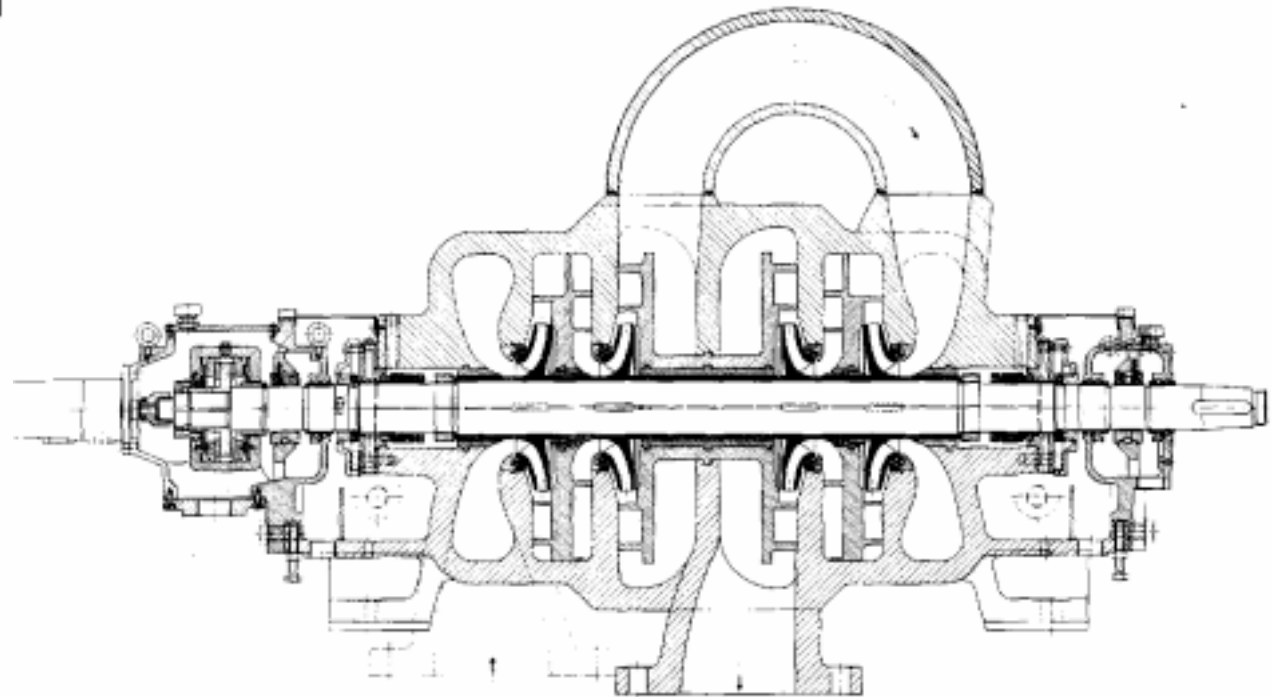
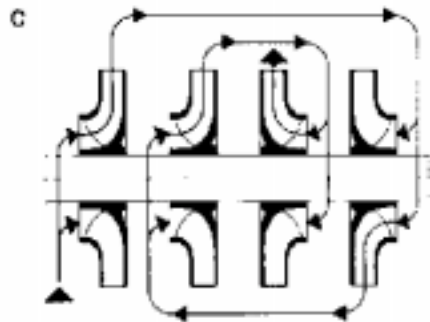
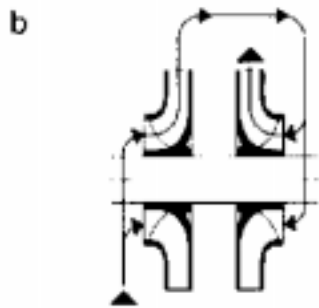
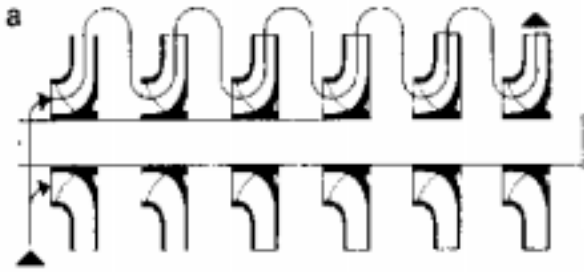


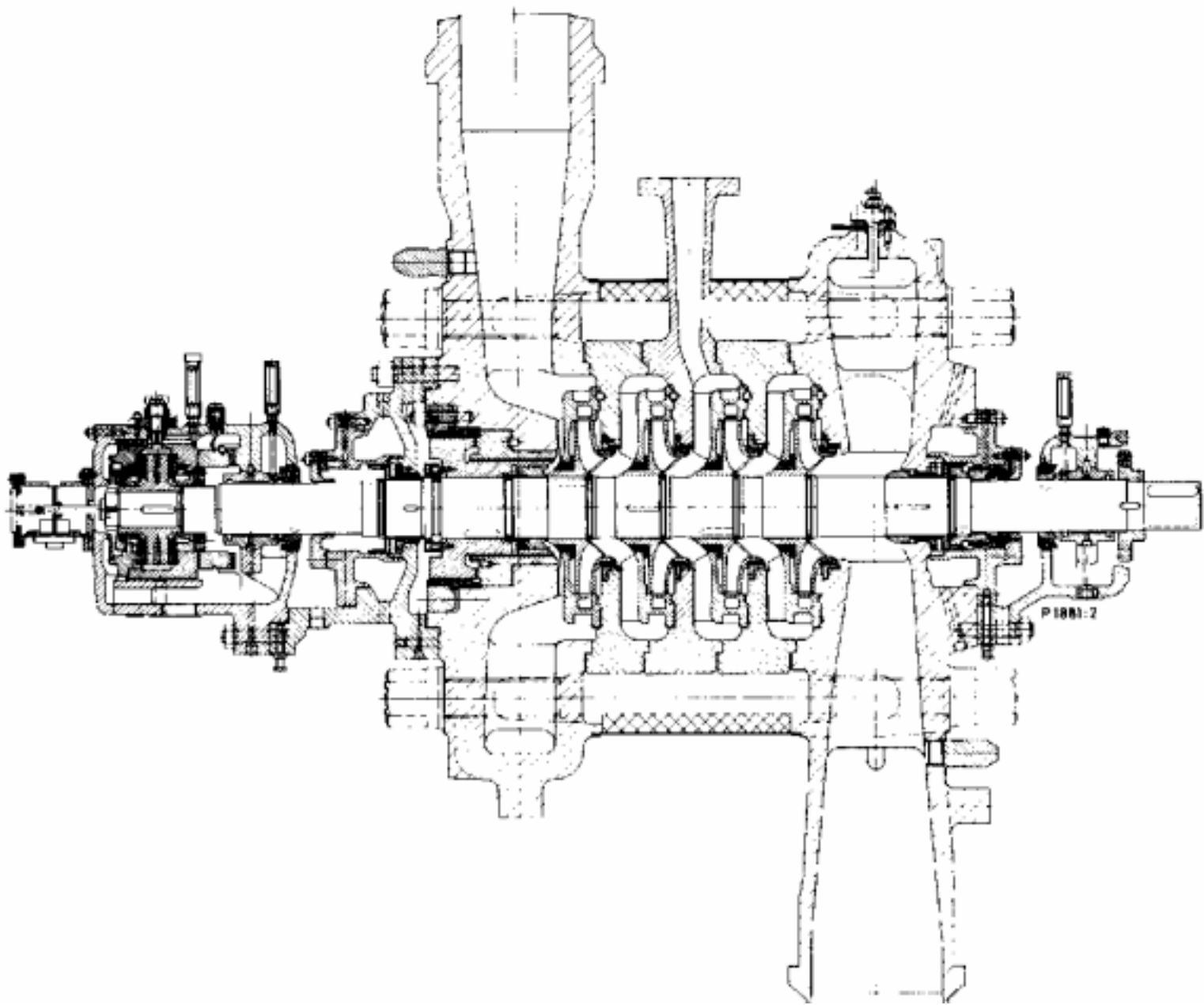


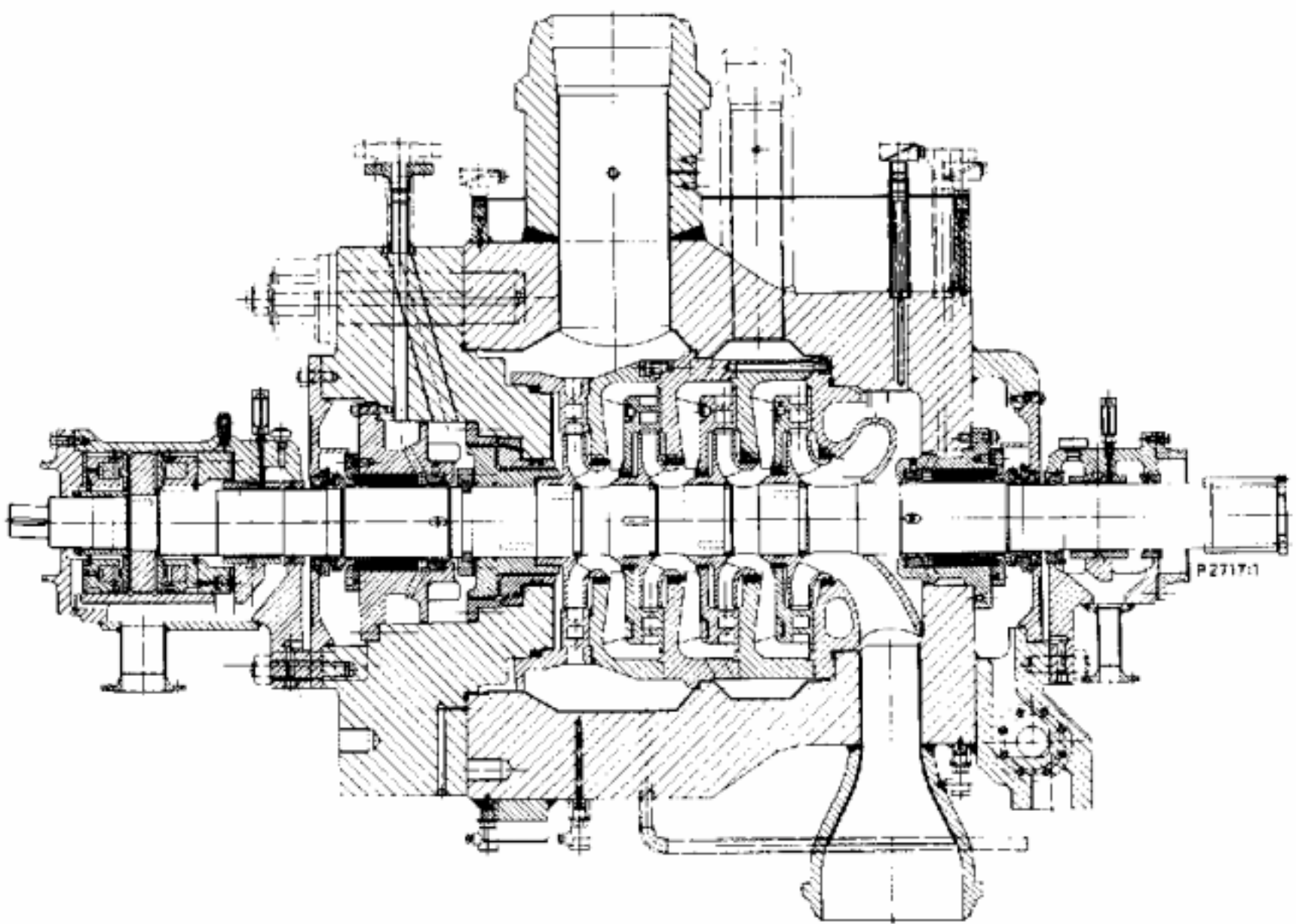








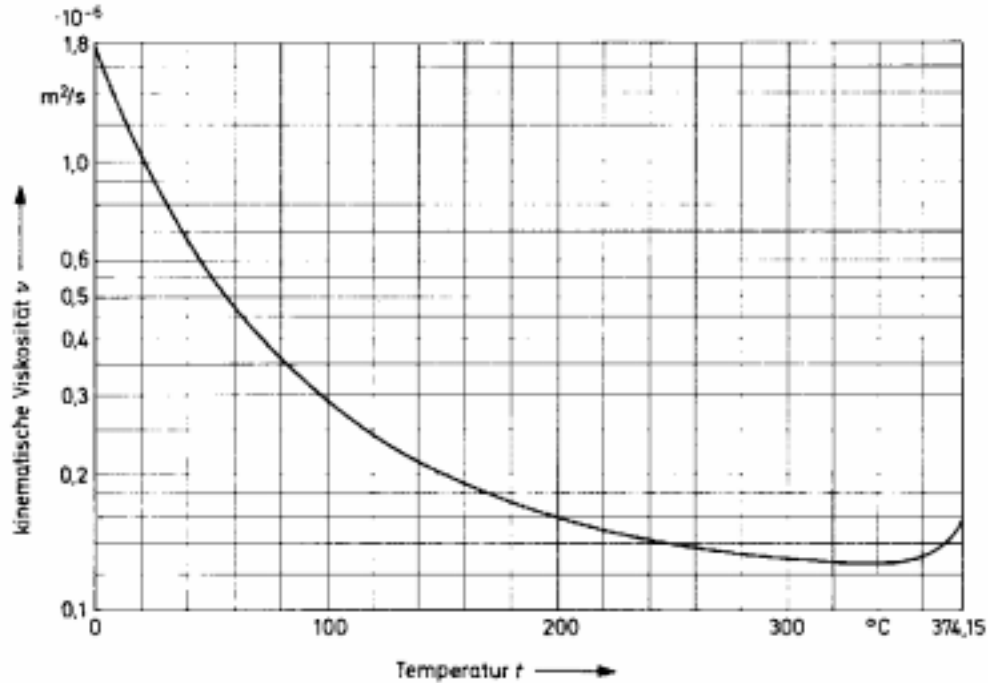






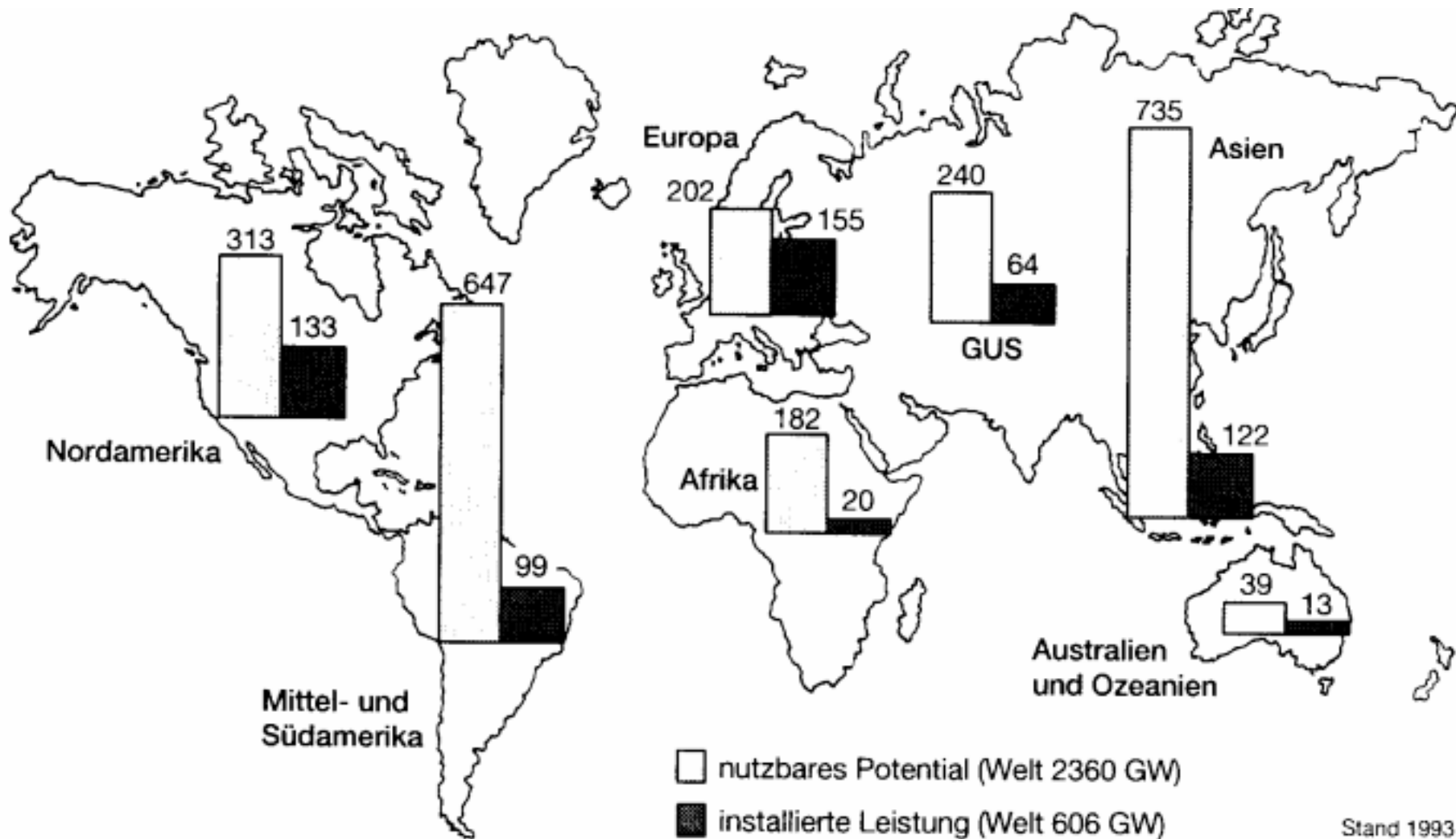
Dichte  $\rho$  und Dampfdruck  $p_s$  des Wassers

$t$ °C	$p_s$ bar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$t$ °C	$p_s$ bar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$t$ °C	$p_s$ bar	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
0	0,00611	999,8	38	0,06991	992,7	78	0,4365	972,9
1	0,00657	999,9	40	0,07375	992,3	79	0,4547	972,3
2	0,00706	999,9	41	0,07777	991,9	80	0,4736	971,6
3	0,00758	999,9	42	0,08198	991,5	81	0,4931	971,0
4	0,00813	1000	43	0,08639	991,1	82	0,5133	970,4
5	0,00872	1000	44	0,09100	990,7	83	0,5342	969,7
6	0,00935	1000	45	0,09582	990,2	84	0,5557	969,1
7	0,01001	999,9	46	0,10086	989,8	85	0,5780	968,4
8	0,01072	999,9	47	0,10612	989,4	86	0,6011	967,8
9	0,01147	999,8	48	0,11162	988,9	87	0,6249	967,1
10	0,01227	999,7	49	0,11736	988,4	88	0,6495	966,5
11	0,01312	999,7	50	0,12335	988,0	89	0,6749	965,8
12	0,01401	999,6	51	0,12961	987,6	90	0,7011	965,2
13	0,01497	999,4	52	0,13613	987,1	91	0,7281	964,4
14	0,01597	999,3	53	0,14293	986,6	92	0,7561	963,6
15	0,01704	999,2	54	0,15002	986,2	93	0,7849	963,0
16	0,01817	999,0	55	0,15741	985,7	94	0,8146	962,4
17	0,01936	998,8	56	0,16511	985,2	95	0,8453	961,8
18	0,02062	998,7	57	0,17313	984,6	96	0,8769	961,0
19	0,02196	998,5	58	0,18147	984,2	97	0,9094	960,2
20	0,02337	998,3	59	0,19016	983,7	98	0,9430	959,6
21	0,02485	998,1	60	0,19920	983,2	99	0,9776	958,6
22	0,02642	997,8	61	0,2086	982,6	100	1,0133	958,1
23	0,02808	997,6	62	0,2184	982,1	102	1,0878	956,7
24	0,02982	997,4	63	0,2286	981,6	104	1,1668	955,2
25	0,03166	997,1	64	0,2391	981,1	106	1,2504	953,7
26	0,03360	996,8	65	0,2501	980,5	108	1,3390	952,2
27	0,03564	996,6	66	0,2615	979,9	110	1,4327	950,7
28	0,03778	996,3	67	0,2733	979,3	112	1,5316	949,1
29	0,04004	996,0	68	0,2856	978,8	114	1,6362	947,5
30	0,04241	995,7	69	0,2984	978,2	116	1,7466	946,0
31	0,04491	995,4	70	0,3116	977,7	118	1,8628	944,5
32	0,04753	995,1	71	0,3253	977,0	120	1,9854	942,9
33	0,05029	994,7	72	0,3395	976,5	122	2,1145	941,2
34	0,05318	994,4	73	0,3543	976,0	124	2,2504	939,6
35	0,05622	994,0	74	0,3696	975,3	126	2,3933	937,9
36	0,05940	993,7	75	0,3855	974,8	128	2,5435	936,2
37	0,06274	993,3	76	0,4019	974,1	130	2,7013	934,6
38	0,06624	993,0	77	0,4189	973,5			



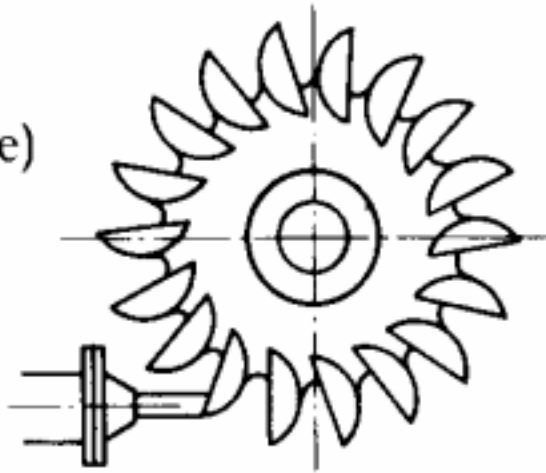
## Rauhigkeitswerte $k$

Rohrwerkstoff	Zustand der Rohrwand	Rauhigkeit $k$ in mm
gezogene Rohre aus Metallen (Kupfer, Messing, Bronze, Leichtmetall), Kunststoffen, Glas oder Plexiglas	neu, technisch glatt	0,0013 bis 0,0015
Gummidruckschlauch	neu, nicht versprödet	0,0016
nahtlose Stahlrohre	Walzhaut gebeizt            neu verzinkt	0,02 bis 0,06 0,03 bis 0,04 0,07 bis 0,16
längsgeschweißte Stahlrohre	Walzhaut bitumiert            neu galvanisiert	0,04 bis 0,1 0,01 bis 0,05 0,008
Stahlrohre nach längerer Benützung	mäßig verrostet bzw. leicht verkrustet stark verkrustet	0,15 bis 0,2 bis 3
gußeiserne Rohre	neu mit Gußhaut neu bitumiert leicht angerostet verkrustet	0,2 bis 0,6 0,1 bis 0,13 0,5 bis 1,5 bis 3
Rohre aus Asbestzement (z. B. Eternitrohre)	neu	0,03 bis 0,1
Drainagerohre aus gebranntem Ton	neu	0,07
Betonrohre	neu mit Glattstrich neu, geglätteter Stahlbeton neu, Schleuderbeton unverputzt	0,3 bis 0,8 0,1 bis 0,15 0,2 bis 0,8

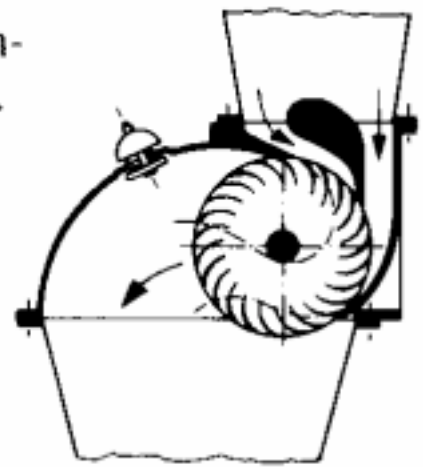


*Wasserkräfte der Welt (nach Fa. Siemens AG)*

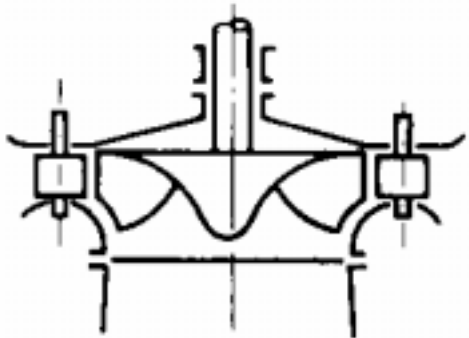
Freistrahlturbine  
(Pelton turbine)



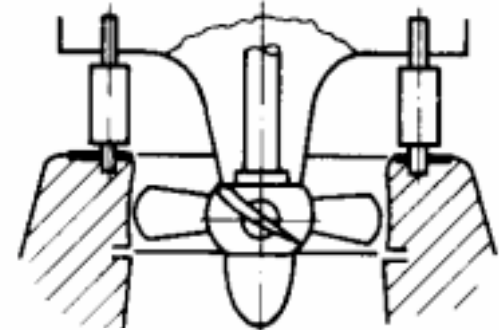
Durchström-  
turbine, z.B.  
Ossberger-  
Turbine



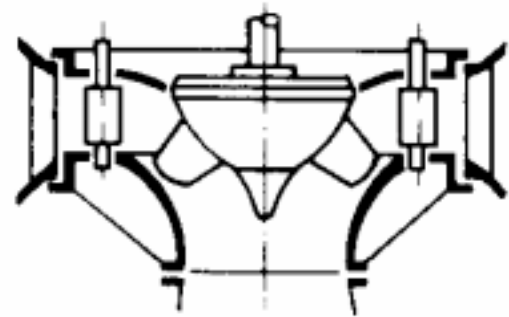
Francisturbine

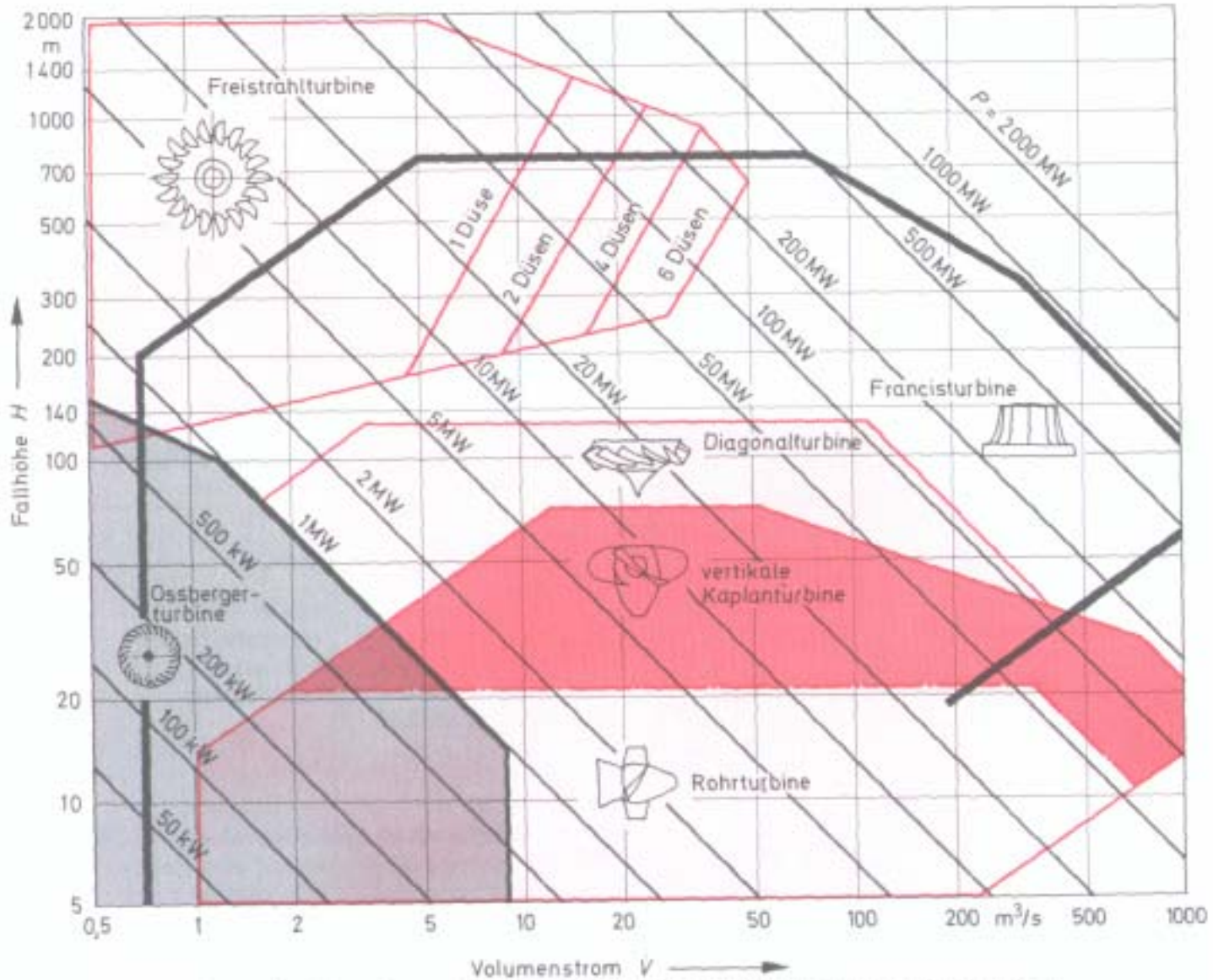


Kaplanturbine

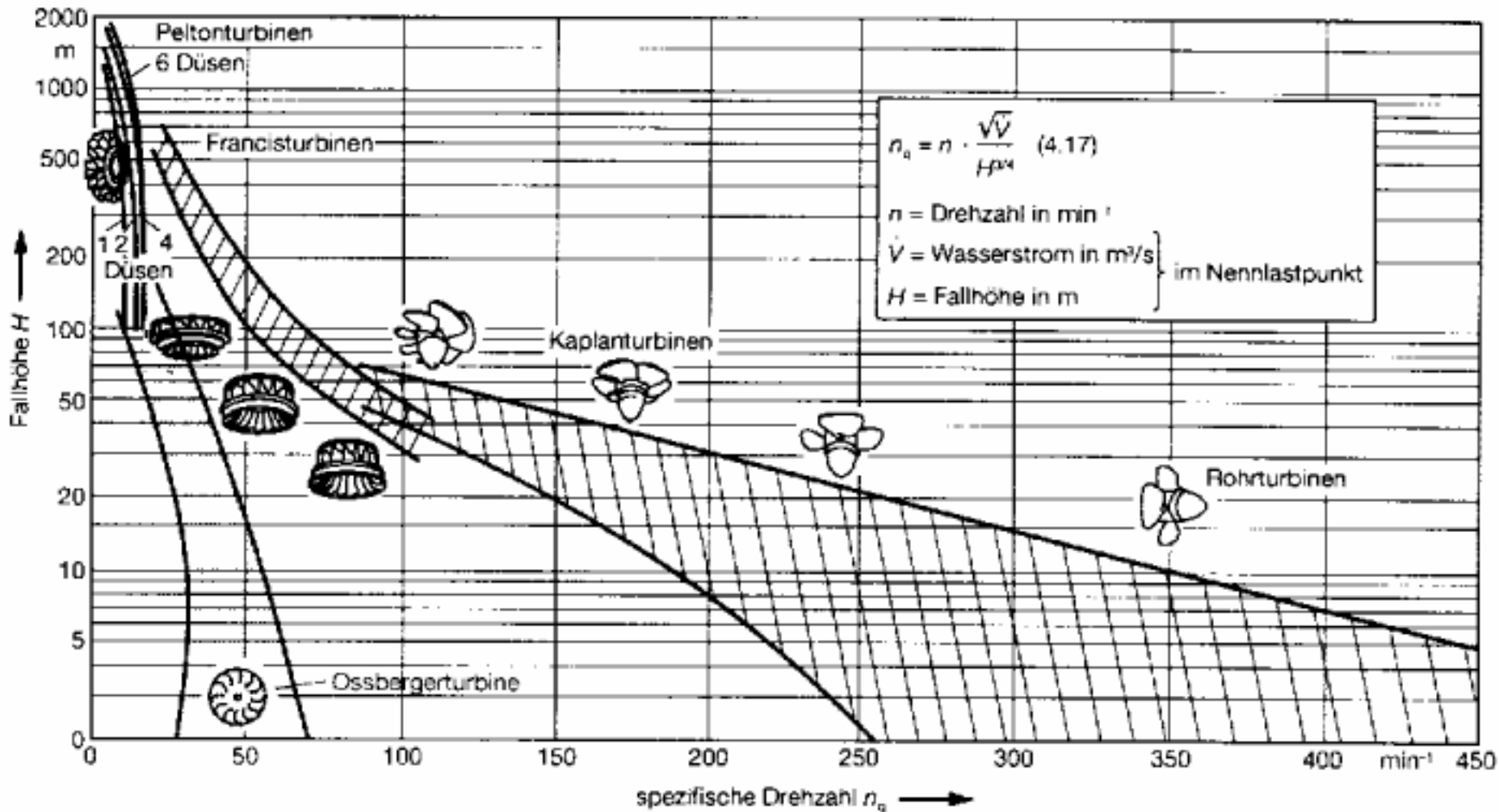


Diagonal-  
turbine, z.B.  
Dériazturbine

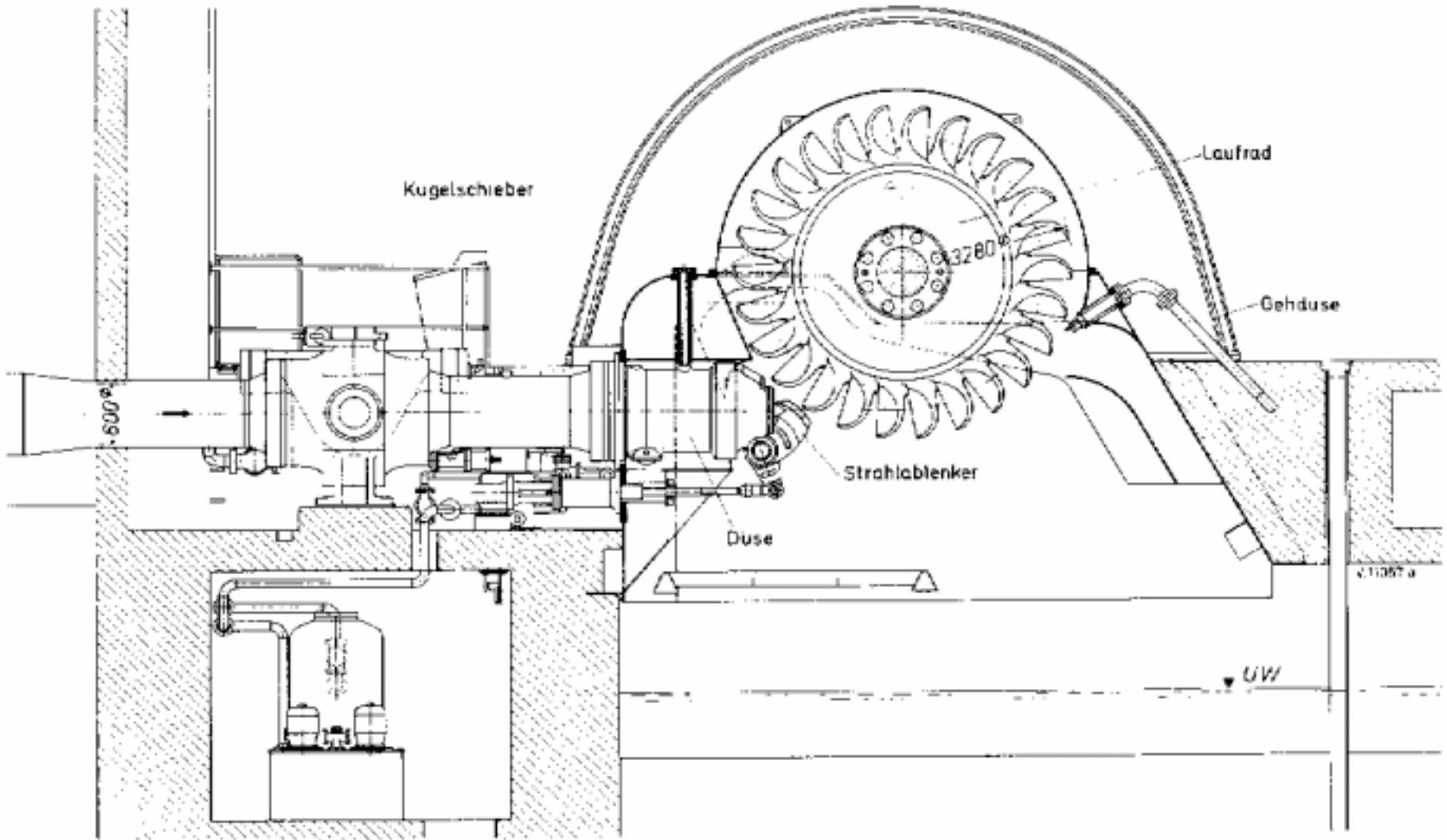


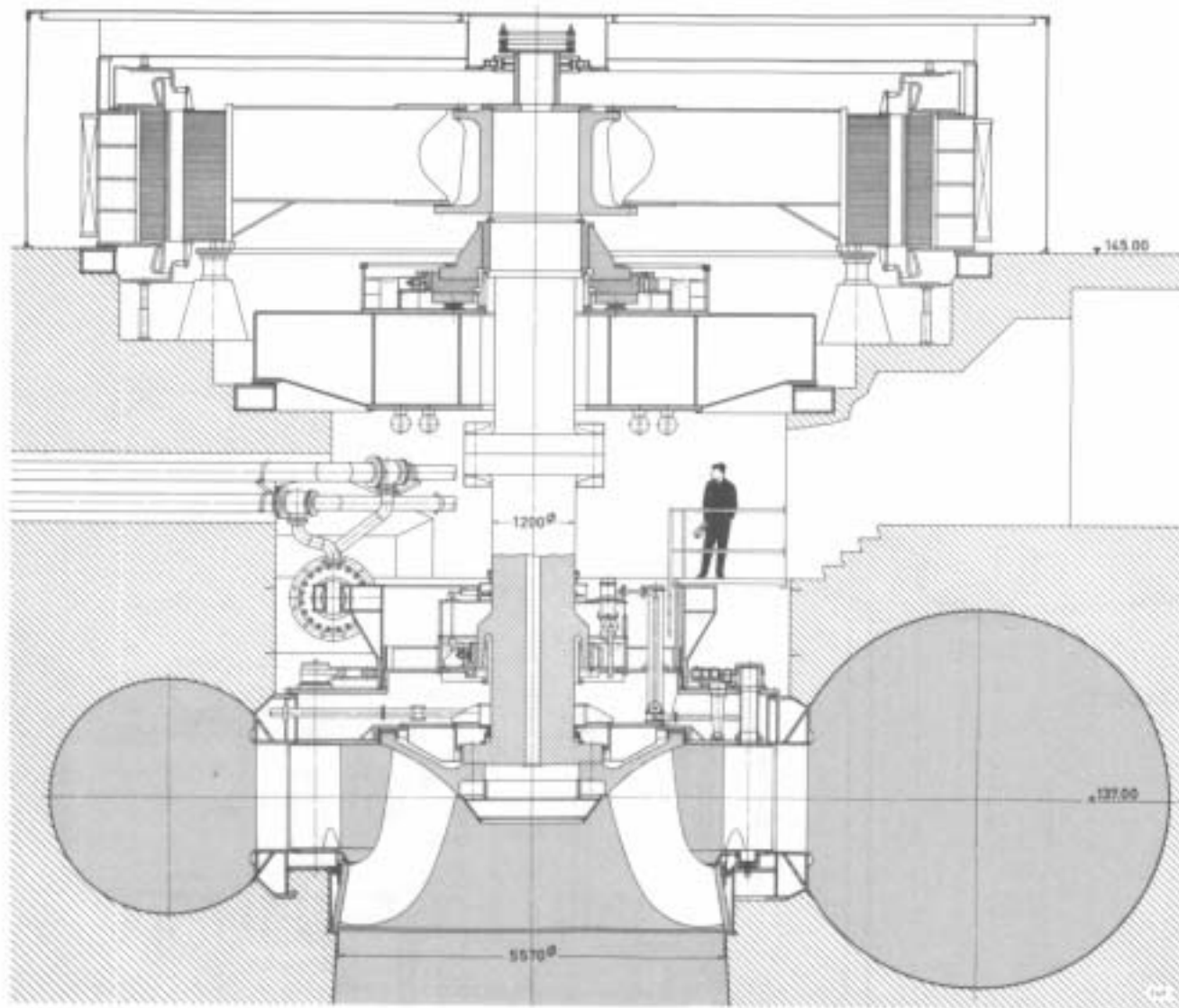


Einsatzbereiche der verschiedenen Wasserturbinentypen (nach Fa. Escher-Wyss)



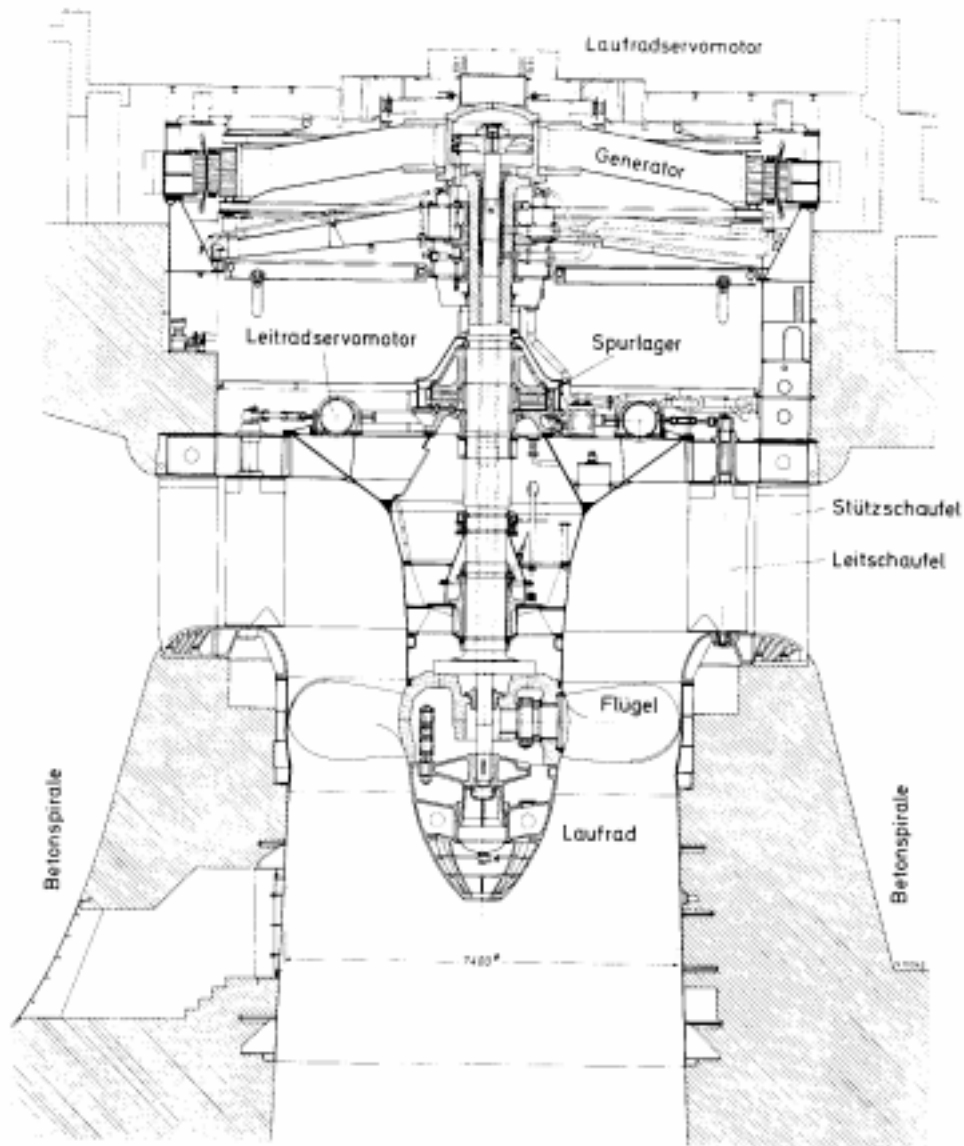
Einsatzbereiche der verschiedenen Wasserturbinentypen (nach Fa. Voith)

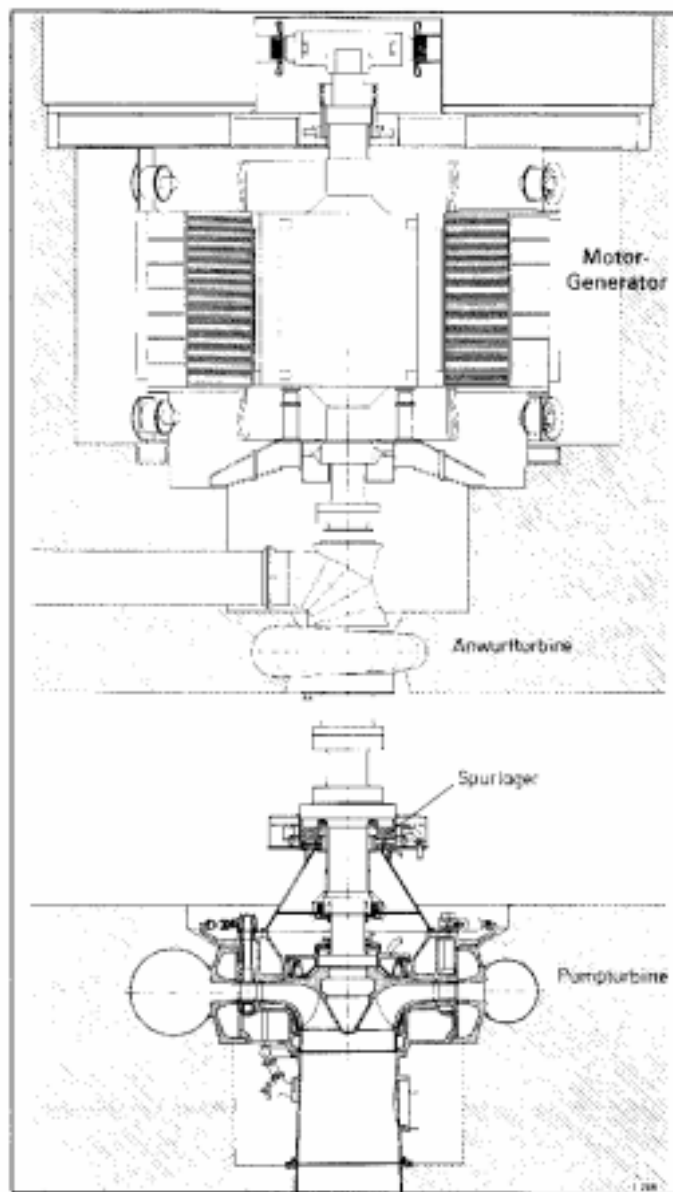




*Francis-Spiralturbine (nach Fa. Voith)*







#### Turbinenbetrieb

$H_{\text{max}}$	= 278,6 bis 305,5 m
$Q_{\text{max}}$	= 29,3 bis 28,0 m <sup>3</sup> /s
$P$	= 73,5 bis 78,0 MW
$n$	= 500 min <sup>-1</sup>

#### Pumpenbetrieb

$H_{\text{max}}$	= 289,5 bis 314,7 m
$Q$	= 25,7 bis 22,4 m <sup>3</sup> /s
$P$	= 78,9 bis 74,6 MW
$n$	= 500 min <sup>-1</sup>

Minimale Zulaufhöhe bezogen auf Absenkeziel und Achse des Spiralgehäuses 24 m

#### Abmessungen

Lauftrad-Nenndurchmesser	3010 mm
Leitschaufelhöhe	273 mm
Saugmündendurchmesser	1615 mm
Einlaufdurchmesser des Spiralgehäuses	1600 mm
Wellendurchmesser	670 mm

Pumpturbine (nach Fa. Voith)

