

*Bachelorarbeit*

Resul Erdagi

# **Auslegung einer Radialpumpe zur Förderung des Kältemittels R123**

---

**Berechnung und Entwurf  
einer n-stufigen Radialpumpe**

**Bachelor + Master  
Publishing**

**Erdagi, Resul: Auslegung einer Radialpumpe zur Förderung des Kältemittels R123: Berechnung und Entwurf einer n-stufigen Radialpumpe, Hamburg, Bachelor + Master Publishing 2013**

Originaltitel der Abschlussarbeit: Auslegung einer Radialpumpe zur Förderung des Kältemittels R123

Buch-ISBN: 978-3-95549-247-2

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95549-747-7

Druck/Herstellung: Bachelor + Master Publishing, Hamburg, 2013

Zugl. Fern-Hochschule Hamburg, Hamburg, Deutschland, Bachelorarbeit, August 2012

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

---

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Bachelor + Master Publishing, Imprint der Diplomica Verlag GmbH  
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg  
<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2013  
Printed in Germany

## **Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis

Symbolverzeichnis

Abbildungs- und Diagrammverzeichnis

Tabellenverzeichnis

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1 Einleitung                                        | 11 |
| 2 Allgemeine Grundlagen der Pumpentechnik           | 12 |
| 2.1 Allgemeine Grundlagen der Kreiselradpumpen      | 12 |
| 2.2 Funktion und Aufbau der Kreiselpumpe            | 13 |
| 2.3 Unterscheidungsmerkmale der Kreiselpumpe        | 13 |
| 2.4 Allgemeine Grundlagen der Radialpumpe           | 15 |
| 2.5 Einsatzbereiche der Radialpumpe                 | 15 |
| 2.6 Funktion und Aufbau von Radialpumpen            | 15 |
| 3 Allgemeine Beschreibung des Kältemittels R-123    | 17 |
| 3.1 Chemische Bezeichnung des Kältemittels R-123    | 17 |
| 3.2 Anwendungsbereich des Kältemittels R-123        | 17 |
| 4 Auslegungsverfahren der Radialpumpen              | 18 |
| 4.1 Eingangsdaten für die Auslegung der Radialpumpe | 18 |
| 4.2 Bestimmung der Stufenanzahl                     | 19 |
| 4.2.1 Bestimmung des Druckunterschiedes             | 19 |
| 4.2.2 Berechnung der Stutzenarbeit                  | 21 |
| 4.2.3 Berechnung der Förderhöhe                     | 22 |
| 4.3 Berechnung der spezifischen Drehzahl            | 22 |
| 4.3.1 Berechnung der Laufzahl                       | 22 |
| 4.3.2 Bestimmung der Laufradstufen                  | 23 |
| 4.3.3 Bestimmung der Laufradform                    | 25 |
| 4.4 Vorwählen der Leitvorrichtung                   | 26 |
| 4.5 Bestimmung des Saugbereiches                    | 26 |
| 4.6 Bestimmung des Druckbereiches                   | 41 |
| 4.7 Berechnung der Radreibungsleistung              | 45 |
| 4.8 Gesamtwirkungsgrad der Pumpe                    | 47 |
| 4.9 Ablaufplan der Pumpenlaufradauslegung           | 53 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 5 Bestimmung von Konstruktionswerten                                   | 59 |
| 5.1 Berechnung des Schaufelverlaufs                                    | 59 |
| 5.1.1 Erstellung eines Kreisbogenverfahrens                            | 60 |
| 5.1.2 Erstellen des Laufrades nach der punktweise berechneten Schaufel | 61 |
| 5.1.3 Überprüfung des Schaufelverlaufs                                 | 62 |
| 5.2 Berechnung der Radscheibe                                          | 63 |
| 5.3 Berechnung des Achsschubes                                         | 64 |
| 5.3.1 Druckkraft auf der Bodenfläche des Laufrades                     | 65 |
| 5.3.2 Berechnung der Radialkräfte am Laufrad                           | 66 |
| 5.3.3 Ausgleich des Achsschubes                                        | 66 |
| 5.4 Berechnung der Leitvorrichtung                                     | 67 |
| 5.4.1 Auslegung des Spiralgehäuses                                     | 68 |
| 5.4.2 Zusammenfassung der Ausgangsdaten                                | 68 |
| 5.4.3 Rechnerische Ermittlung der konstruktiven Werte                  | 68 |
| 5.5 Kavitation                                                         | 74 |
| 5.6 Auslegung angrenzender Bauteile                                    | 76 |
| 5.6.1 Wellen-Naben-Verbindung                                          | 76 |
| 5.6.2 Lagerung                                                         | 77 |
| 5.6.3 Allgemeine Information über die Wälzlager                        | 78 |
| 5.6.4 Arten von Wälzlagern                                             | 78 |
| 5.6.5 Lagerung der Welle                                               | 78 |
| 5.6.6 Dichtungen                                                       | 79 |
| 5.6.7 Berührungsdichtung                                               | 79 |
| 5.6.8 Berührungsfreie Dichtungen                                       | 80 |
| 5.6.9 Auswahl der Dichtung                                             | 80 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 6 Zusammenfassung | 81 |
|-------------------|----|

## Literaturverzeichnis

## Anhang

### A.1 Skizze Laufrad

### A.2 Skizze Spiralgehäuse

## Abkürzungsverzeichnis

|          |                                |
|----------|--------------------------------|
| CAD      | Computer Aided Design          |
| d.h.     | das heißt                      |
| DIN      | Deutsches Institut für Normung |
| DK       | Druckkante                     |
| EG       | Europäische Verordnung         |
| etc.     | et cetera                      |
| FCKW     | Fluorchlorkohlenwasserstoffe   |
| GWP-Wert | Global Warming Potential       |
| krit.    | Kritisch                       |
| M1       | 1. Punkt auf der Mittellinie   |
| max.     | Maximum                        |
| min.     | Minuten                        |
| n        | Anzahl                         |
| ODP-Wert | Ozone Depletion Potential      |
| ORC      | Organic Rankie Cycle           |
| R-11     | Kältemittel                    |
| R-123    | Kältemittel                    |
| SK       | Saugkante                      |
| SM       | Saugmund                       |
| sog.     | so genannt                     |
| spez.    | spezifischer                   |
| Temp.    | Temperatur                     |
| z.B.     | zum Beispiel                   |

## Symbolverzeichnis

| Zeichen            | Einheit                               | Bedeutung                            |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| $\arctan$          | Grad                                  | Winkel                               |
| $A_D$              | $\text{mm}^2$                         | Austrittsquerschnitt                 |
| $A_K$              | $\text{mm}^2$                         | Querschnitt des Schaufelkanals       |
| $A_{\max}$         | $\text{mm}^2$                         | Endquerschnitt                       |
| $b$                | mm                                    | Passfederbreite                      |
| $b_1$              | mm                                    | Eintrittsbreite                      |
| $b_2$              | mm                                    | Austrittsbreite                      |
| $b_{\text{Spir}}$  | mm                                    | Eintrittsbreite an der Spirale       |
| $C$                | $^\circ/\text{mm}^2$                  | Spiralenradius                       |
| $c_0 = c_1 = c_2$  | m/s                                   | Absolutgeschwindigkeit               |
| $c_{0u}$           | m/s                                   | Einschubgeschwindigkeit              |
| $c_{3m}$           | m/s                                   | Meridiangeschwindigkeit              |
| $C_B$              | -                                     | Betriebssicherheitsfaktor            |
| $c_D$              | m/s                                   | Druckstutzengeschwindigkeit          |
| $c_{\text{End}}$   | m/s                                   | Endströmungsgeschwindigkeit          |
| $c_F$              | $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ | Wärmekapazität                       |
| $c_{\text{sm}}$    | m/s                                   | Strömungsgeschwindigkeit im Saugmund |
| $d$                | mm                                    | Durchmesser                          |
| $D_F$              | mm                                    | Außendurchmesser Saugstutzen         |
| $D_1$              | mm                                    | Innenlaufraddurchmesser              |
| $D_2$              | mm                                    | Außenlaufraddurchmesser              |
| $d_D$              | mm                                    | Austrittsdurchmesser                 |
| $d_N$              | mm                                    | Nabendurchmesser                     |
| $D_S$              | mm                                    | Saugmunddurchmesser                  |
| $d_w$              | mm                                    | Wellendurchmesser                    |
| $F_{\text{ax}}$    | N                                     | Radialkraft am Laufrad               |
| $F_h$              | N                                     | Druckkraft auf der Bodenfläche       |
| $F_I$              | N                                     | Impulskraft                          |
| $f_{\text{Motor}}$ | Hz                                    | Motorfrequenz                        |
| $F_v$              | N                                     | Druckkraft auf der Deckscheibe       |

|                 |                  |                           |
|-----------------|------------------|---------------------------|
| $g$             | $m/s^2$          | Erdbeschleunigung         |
| $H$             | $m$              | Förderhöhe                |
| $h$             | $mm$             | Passfederhöhe             |
| $h_1 = h_2$     | $J/kg$           | Enthalpie des Fluides     |
| $H_{Stufe}$     | -                | Anzahl der Laufräder      |
| $k$             | -                | Beiwert                   |
| $k$             | -                | Nabenverhältnis           |
| $k_r$           | -                | Berechnungsfaktor         |
| $k_z$           | -                | Erfahrungsbeiwert         |
| $l$             | $mm$             | Passfederlänge            |
| $l'$            | $mm$             | Tragende Passfederlänge   |
| $\dot{m}$       | $kg/s$           | Massenstrom               |
| $n$             | $min^{-1}$       | Drehzahl                  |
| $n_{Motor}$     | $min^{-1}$       | Motor Drehzahl            |
| $n_q$           | $min^{-1}$       | spezifische Drehzahl      |
| $P$             | $kW$             | Antriebsleistung          |
| $P$             | -                | Minderleistung            |
| $p_1$           | $bar$            | Eintrittsdruck            |
| $p_{Aus} = p_2$ | $bar$            | Austrittsdruck            |
| $P_K$           | $kW$             | Kupplungsleistung         |
| $P_R$           | $kW$             | Radreibungsleistung       |
| $r$             | $mm$             | Radius                    |
| $Re$            | -                | Reynoldszahl              |
| $R_e$           | $N/mm^2$         | Dauerfestigkeit           |
| $R_m$           | $N/mm^2$         | Festigkeit                |
| $r_z$           | $mm$             | Zungenradius              |
| $\sin$          | Grad             | Winkel                    |
| $s = s_1 = s_2$ | $mm$             | Wandstärke/Schaufelstärke |
| $s_1 = s_2$     | $J/(kg \cdot K)$ | Entropie                  |
| $S_F$           | -                | Sicherheitsfaktor         |
| $T$             | $Nm$             | Torsionsmoment            |
| $t_1$           | $mm$             | Eintrittsteilung          |
| $t_2$           | $mm$             | Austrittsteilung          |

|                        |                                                                         |                                  |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $T_e$                  | Nm                                                                      | Torsionsmoment                   |
| $T_{\text{ein}} = T_1$ | °C                                                                      | Eintrittstemperatur              |
| $u_1$                  | J/kg                                                                    | innere Energie                   |
| $u_1$                  | m/s                                                                     | Umfangsgeschwindigkeit           |
| $u_2$                  | m/s                                                                     | Umfangsgeschwindigkeit           |
| $u_{2\text{zul}}$      | m/s                                                                     | Zulässige Geschwindigkeit        |
| $\dot{V}$              | $\text{m}^3/\text{s}$ ; $\text{m}^3/\text{min}$ ; $\text{m}^3/\text{h}$ | Volumenstrom                     |
| $\dot{V}_R$            | $\text{m}^3/\text{s}$ ; $\text{m}^3/\text{min}$ ; $\text{m}^3/\text{h}$ | Berechnungsvolumenstrom          |
| $\dot{V}_{\text{sp}}$  | $\text{m}^3/\text{s}$ ; $\text{m}^3/\text{min}$ ; $\text{m}^3/\text{h}$ | Spaltvolumenstrom                |
| $w_0 = w_1 = w_2$      | m/s                                                                     | Relativgeschwindigkeit           |
| $W_t$                  | Nm                                                                      | Widerstandsmoment                |
| $Y$                    | J/kg                                                                    | Stutzenarbeit                    |
| $y_p$                  | J/kg                                                                    | spezifische Arbeit               |
| $z$                    | -                                                                       | Schaufelanzahl                   |
| $\alpha_0$             | Grad                                                                    | Absolutwinkel                    |
| $\alpha_1$             | Grad                                                                    | Absoluter Laufradeintrittswinkel |
| $\alpha_2$             | Grad                                                                    | Absoluter Laufradaustrittswinkel |
| $\alpha_3$             | Grad                                                                    | Leitvorrichtung                  |
| $\beta_1$              | Grad                                                                    | Schaufeleintrittswinkel          |
| $\beta_2$              | Grad                                                                    | Schaufelwinkel                   |
| $\beta_3$              | Grad                                                                    | Schaufelwinkel am Austritt       |
| $\beta'$               | Grad                                                                    | Relativbahnwinkel                |
| $\delta$               | -                                                                       | Durchmesserzahl                  |
| $\Delta p$             | bar                                                                     | Druckdifferenz                   |
| $\Delta s_p$           | J/(kg*K)                                                                | Entropiedifferenz                |
| $\delta_r$             | -                                                                       | Drallzahl                        |
| $\Delta\beta_1$        | Grad                                                                    | Winkelübertreibung               |
| $\varepsilon$          | -                                                                       | Einlaufziffer                    |
| $\eta$                 | -                                                                       | Wirkungsgrad                     |
| $\eta_h$               | -                                                                       | Hydraulischer Wirkungsgrad       |
| $\eta_{\text{pumpe}}$  | -                                                                       | Wirkungsgrad der Pumpe           |
| $\eta_1$               | -                                                                       | Volumetrischer Wirkungsgrad      |

|                            |                   |                              |
|----------------------------|-------------------|------------------------------|
| $\lambda_L$                | -                 | Liefergrad                   |
| $v_F$                      | -                 | Sicherheitsfaktor            |
| $\rho = \rho_1$            | $\text{kg/m}^3$   | Dichte des Fluides           |
| $\sigma$                   | -                 | Laufzahl                     |
| $\sigma_1$                 | mm                | Umfangsrichtung              |
| $\tau_1$                   | -                 | Schaufelverengungsverhältnis |
| $\tau_2$                   | -                 | Schaufelverengungsverhältnis |
| $\tau_F$                   | $\text{N/mm}^2$   | Torsionsfestigkeit           |
| $\tau_t$                   | $\text{N/mm}^2$   | Torsionsspannung             |
| $\varphi = \varphi_{\max}$ | Grad              | Umschlingungswinkel          |
| $\psi$                     | -                 | Druckwert                    |
| $\psi_{\text{opt}}$        | -                 | optimaler Druckwert          |
| $\mu_1$                    | -                 | Eintrittskontraktionsbeiwert |
| $\omega$                   | $\text{min}^{-1}$ | Winkelgeschwindigkeit        |