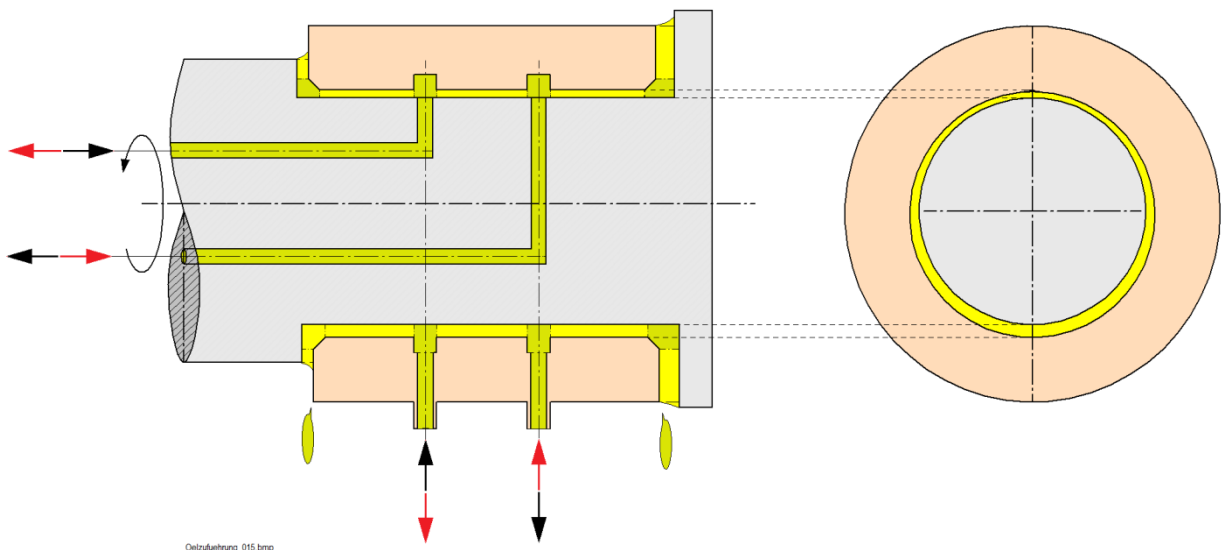


Berechnungen für eine Abschätzung der Leckage einer einfachen Ölzuführung in eine rotierende Welle (Drehdurchführung)

Calculations for an estimate of the leakage of a simple oil supply in a rotating shaft
(rotary feedthrough)



Klaus-Jürgen Bladt

Streuwiesenweg 60, 18119 Rostock, Germany

www.jbladt.de

Die Dokumentation wurde mit bestem Wissen und Gewissen erarbeitet. Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle erhebt die Dokumentation keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit. Unbeabsichtigte Fehler können auftreten. Hinweise auf inhaltliche Verbesserungen sind erwünscht. Für die Vervielfältigung des Dokumentes und die Übernahme von Auszügen ist die Zustimmung des Autors erforderlich. Für den Inhalt verlinkter Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

The paper was prepared to best of one's knowledge. The paper makes no claim to be complete and correct in spite of the careful control. References for improvements with regard to the content are welcome. The Duplication of the document and the taking over of abridges require the approval of the author. The linked WEB-Site operators are responsible for contents of their own sites.

2016-03-26

The Document is under Construction

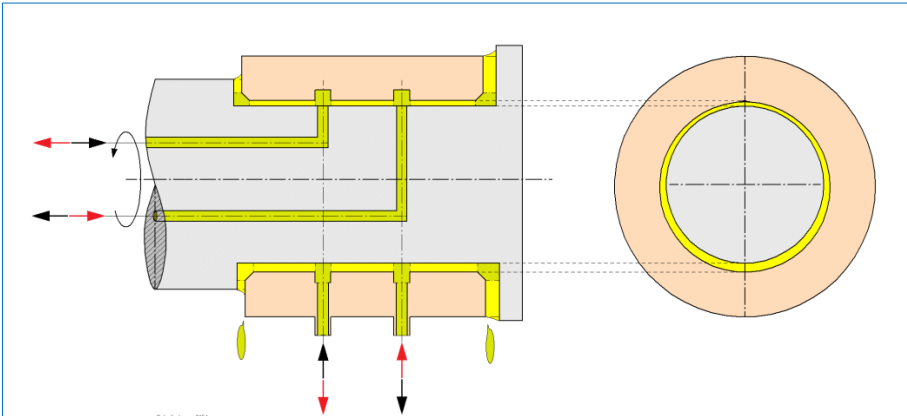
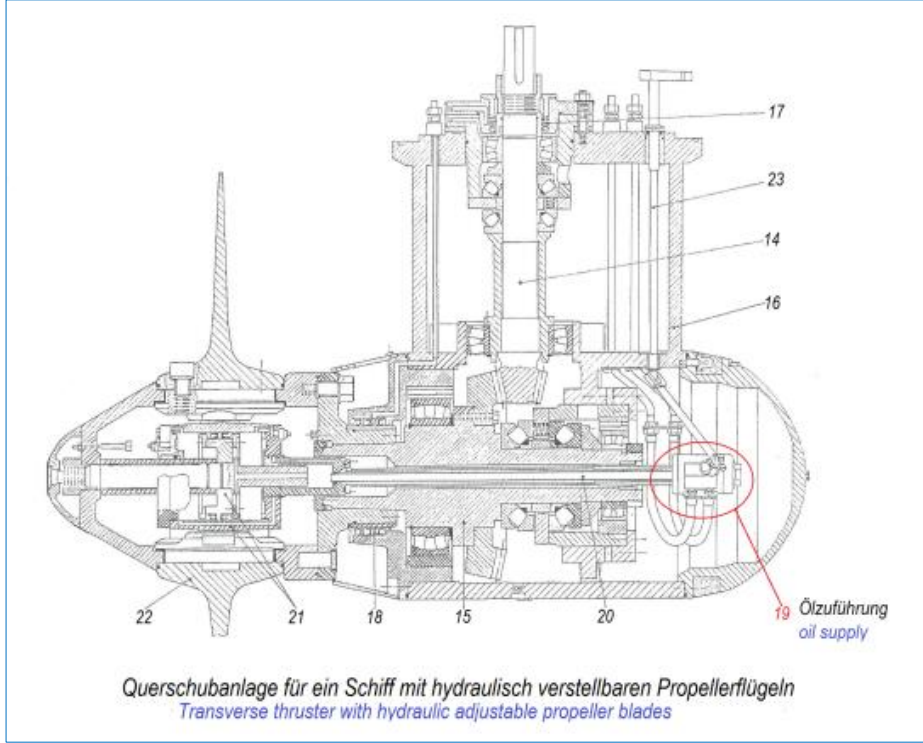
Fragen zum Thema?

Questions on this?



<http://www.jbladt.de/kontakt/>

Berechnungen zur Abschätzung einer einfachen Ölzuführung (Drehdurchführung)

0.000	0. Problem und Zielsetzung	0. Problem and Objective
	<p>Leckage, die Aufteilung des axialen Spiels und die zur Erwärmung führende Flüssigkeitsreibung sind funktionsbestimmende Einflussgrößen, die beim Entwurf einer Ölzuführung untersucht werden sollten. Die Komplexität des Problems führt zu einer Vielzahl von Gleichungen, die mit einander verknüpft sind.</p> <p>Es werden alle erforderlichen Gleichungen ermittelt, die zur Lösung des Problems erforderlich sind.</p> <p>Die Plausibilität soll geprüft werden durch eine Berechnung des sich aufgrund von Gleichgewichtsbedingungen einstellenden axialen Spaltes.</p> <p>Es werden <u>alle</u> Rechenschritte detailliert aufgeführt, die sie sich im Laufe der Bearbeitung ergeben haben, um eine Nachvollziehbarkeit aber auch Kontrolle zu ermöglichen. Dadurch kann es zu Wiederholungen kommen.</p>	<p>Leakage, the division of the axial clearance and leading to heat fluid friction are function-determining factors that should be examined when designing an oil supply.</p> <p>The complexity of the problem leads to a plurality of equations that are associated with each other.</p> <p>It will be determined all necessary equations required to solve the problem.</p> <p>The plausibility should be done by a calculation of partition the axial clearance.</p> <p><u>All</u> steps of calculation will be listed, which have occurred in the course of processing, so that the traceability and checking is possible. This may lead to repetition.</p>
	<i>Vertrauen ist gut, Kontrolle ist aber angebracht!</i>	<i>Trust is good, control is but attached!</i>
1.000	1. Funktionsprinzip einer einfachen Ölzuführung / Principle of operation of a simply oilsupply	
1.001	 <p>Prinzip</p>	
1.002	 <p>Querschubanlage für ein Schiff mit hydraulisch verstellbaren Propellerflügeln Transverse thruster with hydraulic adjustable propeller blades</p> <p>Application</p>	

2.000	2. Formelzeichen, Symbole	
-------	----------------------------------	--

2.001	Formelzeichen		Symbols
2.002	Länge	l [m]	Length
2.003	Radius	r [m]	Radius
2.004	Spiel	s [m]	Clearanc
2.005	Örtliche Spalthöhe	h [m]	Local height of gap
2.006	Exzentrizität	e [m]	Excentricity
2.007			
2.008	Winkelgeschwindigkeit	ω [1/s]	Angular speed
2.009			
2.010	Viskosität	η [N · s/m ²]	Dynamically viscosity
2.011	Leistungsverlust infolge Flüssigkeitsreibung	P [N · m/s]	Loss by fluid friction
2.012			
2.013	Strömungsgeschwindigkeit	w [m/s]	Flow speed
2.014	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit	\bar{w} [m/s]	Mean flow speed
2.015	Volumenstrom	\dot{V} [m ³ /s]	Volume flow
2.016	Kraft	F [N]	Force
2.017			
2.018	Koordinate in axialer Richtung	x [m]	Coordinate in axial direction
2.019	Koordinate in radialer Richtung	r [m]	Coordinate in radial direction
2.020	Koordinate in Umfangsrichtung	φ [rad]	Coordinate in circumference direction
2.021	Koordinate über die Spalthöhe h	y [m]	Coordinate in direction gap height
2.022			
2.023			
2.024	Indices		
2.025	axial	ax	axial
2.026	radial	rad	radial
2.027	außen	a	outside
2.030	innen	i	inside
2.031	Welle	w	shaft
2.032	Linker Teil der Ölzuführung	L	Left part of oil supply
2.033	Mittlerer Teil der Ölzuführung	M	Middle part of oil supply
2.034	Rechter Teil der Ölzuführung	R	Right part of oil supply
2.035	Ölzufuhr durch Umfangsnut	z	Supply of oil by circumferential groove
2.036	axiale Richtung	x	Axial direction
2.037	radiale Richtung	r	Radial direction
2.038	Umfangsrichtung	φ	circumference direction
2.030			
20.40	Weitere Erklärungen von Formelzeichen sind in den folgenden Ausführungen erklärt. Further explanation of symbols are explained in the following script.		

3.000	3. Geometrie und Ölfluss Geometry and oil flow			
	4.001	4. Modellaufteilung Model	L Linker Teil	M Mittelteil

decomposition		left section	midsection	right section
4.002				
4.004				
4.005		Linker und rechter Teil sind spiegelbildlich. Left and right site are mirrored		Rechter und linker Teil sind spiegelbildlich right and left site are mirrored
4.006		Axiale und radiale Verteilung von: Axial and radial distribution of: <ul style="list-style-type: none"> Durchströmung / flow Druck / pressure 	Axiale Verteilung von: Axial distribution of: <ul style="list-style-type: none"> Durchströmung / flow Druck / pressure 	Axiale und radiale Verteilung von: Axial and radial distribution of: <ul style="list-style-type: none"> Durchströmung / flow Druck / pressure
4.007	Hinweis note	Die Teilmodelle setzen sich aus axialen und radialen Spalträumen zusammen und können in diese zerlegt und betrachtet werden. The partial models are composed of axial and radial gap spaces and can be disassembled. These sub-models can be edited.		

5.000	5. Allgemeine Betrachtungen General considerations	Ermittlung allgemeiner hydraulischer / hydrodynamischer Zusammenhänge für eine Spaltströmung zur Berechnung von Druckverteilung, Leakage und axialer Spaltverteilung Determination of the general hydraulic / hydrodynamic relations of the flow of fluid through of gap space for calculation / estimation of pressure distribution, leakage and partition of the axial gap																												
5.001	5.1 Axialer Spalt in axialer Richtung Axial gap in axial direction																													
5.002	5.1.1 Axialer Spalt in x-Richtung Axial gap in x-direction																													
5.003	Gültig für: Valid for:	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>l_{ax}</th> <th>r</th> <th>h</th> <th colspan="2">p_{ax}</th> <th>Δp_{ax}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>links</td> <td>left</td> <td>l_L</td> <td rowspan="3">r_w</td> <td rowspan="3">h_{ax}</td> <td>$p_{z,L}$</td> <td>$p_{i,L}$</td> <td>$\Delta p_{ax,L}$</td> </tr> <tr> <td>mitte</td> <td>middle</td> <td>l_M</td> <td>$p_{z,L}$</td> <td>$p_{z,R}$</td> <td>$\Delta p_{ax,M}$</td> </tr> <tr> <td>rechts</td> <td>right</td> <td>l_R</td> <td>$p_{z,R}$</td> <td>$p_{i,R}$</td> <td>$\Delta p_{ax,R}$</td> </tr> </tbody> </table>			l_{ax}	r	h	p_{ax}		Δp_{ax}	links	left	l_L	r_w	h_{ax}	$p_{z,L}$	$p_{i,L}$	$\Delta p_{ax,L}$	mitte	middle	l_M	$p_{z,L}$	$p_{z,R}$	$\Delta p_{ax,M}$	rechts	right	l_R	$p_{z,R}$	$p_{i,R}$	$\Delta p_{ax,R}$
		l_{ax}	r	h	p_{ax}		Δp_{ax}																							
links	left	l_L	r_w	h_{ax}	$p_{z,L}$	$p_{i,L}$	$\Delta p_{ax,L}$																							
mitte	middle	l_M			$p_{z,L}$	$p_{z,R}$	$\Delta p_{ax,M}$																							
rechts	right	l_R			$p_{z,R}$	$p_{i,R}$	$\Delta p_{ax,R}$																							
5.004	Geschwindigkeitsverteilung in x-Richtung über die Spalthöhe $h(y, \varphi)$ velocity distribution in x-direction over the height of gap $h(y, \varphi)$																													
5.005	Spalthöhe (in x-Richtung konstant) Height of gap (in x-direction constant)	$h_{ax}(x, \varphi = const) = const$																												
5.006		$h_{ax}(\varphi) = \frac{s}{2} \cdot (1 - \varepsilon \cdot \cos \varphi), \quad \varepsilon = \frac{e}{s/2}$																												

5.007	Druckgefälle Pressure drop	$\frac{dp_{ax}(x)}{dx} = \frac{d\tau_{ax,x}(y,\varphi)}{dy}$
5.008	Scherspannung Shear stress	$\tau_{ax,x}(y, \varphi) = -\eta \cdot \frac{dw_{ax,x}(y,\varphi)}{dy}$
5.009	Druckgradient über die Spalthöhe Pressure gradient over height of gap	$\frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} = -\eta \cdot \frac{dw_{ax,x}^2(y,\varphi)}{dy^2}$
5.010		$\frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot y + C_1 = -\eta \cdot \frac{dw_{ax,x}(y,\varphi)}{dy}$
5.011		$\frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \frac{y^2}{2} + C_1 \cdot y + C_2 = -\eta \cdot w_{ax,x}(y, \varphi)$
5.012	Randbedingungen Boundary conditions	$\frac{dw_{ax,x}(0, \varphi)}{dy} = 0, \quad w_{ax,x}\left(\pm \frac{h_{rad}(\varphi)}{2}, \varphi\right) = 0$
5.013		$\frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \left(\frac{y^2}{2} - \frac{h_{rad}^2(\varphi)}{8}\right) = -\eta \cdot w_{ax,x}(y, \varphi)$
5.014	Geschwindigkeitsverteilung über die Spalthöhe Velocity distribution over the height of gap	$w_{ax,x}(y, \varphi) = +\frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \left(\frac{h_{rad}^2(\varphi)}{4} - y^2\right)$
5.015		$w_{ax,x}(y, \varphi) = \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \left(\frac{\left(\frac{s}{2}(1-\varepsilon \cdot \cos\varphi)\right)^2}{4} - y^2\right)$
5.016	Mittlere axiale Geschwindigkeit Mean axial velocity	$\bar{w}_{ax,x}(\varphi) = \frac{1}{h_{rad}(\varphi)} \cdot \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \int_{-h_{rad}(\varphi)/2}^{+h_{rad}(\varphi)/2} \left(\frac{h_{rad}^2(\varphi)}{4} - y^2\right) dy$
5.017		$\bar{w}_{ax,x}(\varphi) = \frac{1}{h_{rad}(\varphi)} \cdot \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} \cdot \left(\frac{h_{rad}^2(\varphi)}{4} \cdot y - \frac{y^3}{3}\right)_{-h_{rad}(\varphi)/2}^{+h_{rad}(\varphi)/2}$
5.018		$\bar{w}_{ax,x}(\varphi) = \frac{h_{rad}^2(\varphi)}{12\eta} \cdot \frac{dp_{ax,x}(x)}{dx}$
5.019		
5.020	Kontinuität continuity	$\bar{w}_{ax,x}(x = 0, \varphi) = \bar{w}_{ax,x}(x = l, \varphi) = \bar{w}_{ax,x}(x = l, \varphi) = const$
5.021	Aus der Bedingung für die Kontinuität in axialer Richtung folgt: From the condition for the continuity in axial direction follows:	$\frac{dp_{ax,x}(x)}{dx} = const \sim$ linearer Druckabfall / linear pressure drop
5.022	Allgemein gilt dann In general is then	$\frac{dp_{ax,x}(\varphi, x=l)}{dx} - \frac{dp_{ax,x}(\varphi, x=0)}{dx} = 0$
5.023	Linearer Druckabfall in x-Richtung Linear decrease in pressure	$p(x = 0, \varphi), \quad p(x = l, \varphi),$ $\frac{dp_{ax,x}(x,\varphi)}{dx} = \frac{p(x=0,\varphi) - p(x=l,\varphi)}{l} = \frac{\Delta p_{ax}}{l} = const$
5.024		$\bar{w}_{ax}(\varphi) = \frac{h_{rad}^2(\varphi)}{12\eta} \cdot \frac{\Delta p_{ax}}{l}$
5.025	Volumenstrom in x-Richtung Volume flow in x-direction	$\dot{V}_{ax,x} = \int_0^{2\pi} (\bar{w}_{ax}(\varphi) \cdot h_{rad}(\varphi)) \cdot r_M \cdot d\varphi$
5.026		$\dot{V}_{ax,x} = \int_0^{2\pi} \left(\frac{h_{rad}^2(\varphi)}{12\eta} \cdot \frac{\Delta p_{ax}}{l} \cdot h_{rad}(\varphi)\right) \cdot r_m \cdot d\varphi$
5.027		$\dot{V}_{ax,x} = \frac{r_m}{12\eta} \cdot \frac{\Delta p_{ax,x}}{l} \cdot \int_0^{2\pi} h_{rad}^3(\varphi) d\varphi$
5.028		$h = s_{rad}/2 \cdot (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)$
5.029		$\dot{V}_{ax,x} = \frac{2 \cdot r_m}{12\eta} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \frac{\Delta p_{ax}}{l} \cdot \int_0^\pi (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)^3 d\varphi$
5.030		$\dot{V}_{ax,x} = \frac{2 \cdot r_m}{12\eta} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \frac{\Delta p_{ax}}{l} \cdot \int_0^\pi (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)^3 d\varphi$
5.031	Lösung des Integrals Solution of the integral	$(1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)^3 = (1 - 3 \cdot \varepsilon \cdot \cos\varphi + 3 \cdot \varepsilon^2 \cdot \cos^2\varphi - \varepsilon^3 \cdot \cos^3\varphi)$
5.032		$\int_0^\pi (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)^3 d\varphi = (\varphi - 3 \cdot \varepsilon \cdot \sin\varphi + \frac{3\varphi \cdot \varepsilon^2}{2} + \frac{3 \cdot \varepsilon^2 \cdot \sin 2\varphi}{4} - \varepsilon^3 \cdot \sin\varphi + \frac{\varepsilon^3 \cdot \sin^3\varphi}{3})$
5.033		$\int_0^\pi (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi)^3 d\varphi = \pi \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)$
5.034	Volumenstrom durch den Spaltquerschnitt Volume flow through the cross-section of gap	$\dot{V}_{ax,x} = \frac{\pi \cdot \Delta p_{ax,x}}{6\eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)$
5.035	Druckdifferenz über die Spaltlänge Pressure difference over the gap length	$\Delta p_{ax,x} = p_i - p_z$ oder
5.036		$\Delta p_{ax,x} = \frac{l}{r_m} \cdot \frac{6\eta}{\pi \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)} \cdot \dot{V}_{ax,x}$
5.037	Verlustleistung infolge axialer Durchströmung	Flüssigkeitsreibung führt zu einer Erwärmung / Temperaturerhöhung ΔT der Flüssigkeit (Öl). Die Flüssigkeitsreibung äußert sich im Druckgefälle Δp .

	Power loss due to the axial flow	fluid friction causes a heating / increasing of temperature ΔT of the fluid (oil) The fluid friction caused the pressure drop Δp .
5.038		
5.039	Mittlere Spaltfläche (Schnittfläche) Mean cross area of the gap	$A_{ax,\varphi} = \frac{s}{2} \cdot \int_0^{2\pi} (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi) \cdot r_m \cdot d\varphi = \pi \cdot r_m \cdot s$
5.040		
5.041	Verlustleistung durch Flüssigkeitsreibung Power loss due to fluid friction	$P_{ax,x} = \Delta p_{ax} \cdot \dot{V}_{ax,x}$
5.042		$P_{ax,x} = \frac{l}{r_m} \cdot \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot \left(\frac{s}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)} \cdot \dot{V}_{ax,x}^2$
5.043		$P_{ax,x} = \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right) \cdot \Delta p_{ax,x}^2$
5.044		

5.046	5.1.2 Axialer Spalt in φ-Richtung (Umfangsrichtung) Axial gap in φ -direction (circumferentially)	
5.047		
5.048	Volumenstrom Volume flow in axial gap ($\rightarrow ax, \varphi, x, y$)	Dieser Volumenstrom wird verursacht durch die Rotation und ist Ursache einer Wärmeentwicklung (Schleppströmung) This volume flow is caused by rotation and is one reason for the heat development (drag flow).
5.049	Annahme: Assumption:	<u>Lineare</u> Geschwindigkeitsverteilung über die Spalthöhe $h_{ax}(\varphi)$ <u>Linear</u> distribution of the velocity over the gap $h_{ax}(\varphi)$
5.050	Reibungsverlust infolge Durchströmung in Umfangsrichtung Friction loss due to the flow in circumference direction	Flüssigkeitsreibung infolge der Rotation führt zu einer Erwärmung / Temperaturerhöhung ΔT der Flüssigkeit (Öl). The fluid friction due to rotation causes a heating / increasing of temperature ΔT of the fluid (oil)
5.051	Annahme Assumption	Vernachlässigung der hydrodynamischen Druckentwicklung, Spalthöhe $h_{ax}(\varphi)$ wird durch mittlerer Spalthöhe $s/2$ genähert, linear über die Spalthöhe verteilte Schleppströmung Neglect of the hydrodynamic lubrication, the gap $h_{ax}(\varphi)$ is approximated by the mean height of gap $s/2$, drag flow with linear over the height of gap distributed velocity
5.052	Scherspannung Shear stress	$\tau_{ax,\varphi}(\varphi) = \eta \cdot \frac{dw_{ax,\varphi}(\varphi)}{dy} = \eta \cdot \frac{\omega \cdot r_m}{h_{rad}(\varphi)} \approx \eta \cdot \frac{\omega \cdot r_m}{s_{rad}/2} = const$
5.053	Mittlere Spaltfläche (Schnittfläche) Mean cross area of the gap	$A_{ax,\varphi} = \frac{s_{rad}}{2} \cdot \int_0^{2\pi} (1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi) \cdot r_m \cdot d\varphi = \pi \cdot r_m \cdot s_{rad}$
5.054	Verlustleistung Power loss	$P_{ax,\varphi,i} = \tau_{ax,\varphi} \cdot \underbrace{2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot l}_{A_{ax,\varphi}} \cdot \underbrace{r \cdot \omega}_{\dot{V}_{ax,\varphi}} = 4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \frac{\omega^2 \cdot r_m^3 \cdot l}{s_{rad}}$
5.055	Dimensionskontrolle: $\frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{1}{s^2} \cdot m^3 \cdot m \cdot \frac{1}{m} = \frac{N \cdot m}{s}$ dimension check	$P_{ax,\varphi} = 4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \frac{\omega^2 \cdot r_m^3 \cdot l}{s_{rad}}$
5.056		

5.057	5.2 Spalt in Radialer Richtung Gap in radial direction																									
5.058	Anwendung für: Application to:	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>r_a</th> <th>r_i</th> <th>p_a</th> <th>p_i</th> <th>Δp_{rad}</th> <th>h_{ax}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>links</td> <td>left</td> <td>$r_{a,L}$</td> <td>$r_{i,L}$</td> <td>$p_{a,L}$</td> <td>$p_{i,L}$</td> <td>$\Delta p_{rad,L}$</td> <td>$h_L = s_{ax} - h_{ax,R}$</td> </tr> <tr> <td>rechts</td> <td>right</td> <td>$r_{a,R}$</td> <td>$r_{i,R}$</td> <td>$p_{a,R}$</td> <td>$p_{i,R}$</td> <td>$\Delta p_{rad,R}$</td> <td>$h_R = s_{ax} - h_{ax,L}$</td> </tr> </tbody> </table>			r_a	r_i	p_a	p_i	Δp_{rad}	h_{ax}	links	left	$r_{a,L}$	$r_{i,L}$	$p_{a,L}$	$p_{i,L}$	$\Delta p_{rad,L}$	$h_L = s_{ax} - h_{ax,R}$	rechts	right	$r_{a,R}$	$r_{i,R}$	$p_{a,R}$	$p_{i,R}$	$\Delta p_{rad,R}$	$h_R = s_{ax} - h_{ax,L}$
		r_a	r_i	p_a	p_i	Δp_{rad}	h_{ax}																			
links	left	$r_{a,L}$	$r_{i,L}$	$p_{a,L}$	$p_{i,L}$	$\Delta p_{rad,L}$	$h_L = s_{ax} - h_{ax,R}$																			
rechts	right	$r_{a,R}$	$r_{i,R}$	$p_{a,R}$	$p_{i,R}$	$\Delta p_{rad,R}$	$h_R = s_{ax} - h_{ax,L}$																			
5.059	5.2.1 Radialer Spaltes in r-Richtung Radial gap in r-direction																									

5.060		
5.061	Kräftegleichgewicht Balance of forces	$\frac{dp_{rad}(r)}{dx} = \frac{d\tau_{rad,r}(y,r)}{dy}$
5.062	Stoffgesetz Material law	$\tau_{rad,x}(y,r) = -\eta \cdot \frac{dw_{rad,r}(y,r)}{dy}$
5.063	Geometrie Geometry	$h_{ax}(\varphi, r) = const$
5.064	Kontinuität über den Umfang Continuity about the circumference	$\dot{V}_{rad,r}(r) = const$
5.065	Druckgradient über die Spalthöhe h Pressure gradient over height of gap h	$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} = -\eta \cdot \frac{dw_{rad,r}^2(y,r)}{dy^2}$
5.066		$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot y + C_1 = -\eta \cdot \frac{dw(y,r)}{dy}$
5.067		$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot y + C_1 = -\eta \cdot \frac{dw_{rad,r}(y,r)}{dy}$
5.068	Integration über die Spalthöhe Integration over gap height	$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot \frac{y^2}{2} + C_1 \cdot y + C_2 = -\eta \cdot w_{rad,r}(y, r)$
5.069	Randbedingungen Boundary conditions	$\frac{dw_{rad,r}(y=0, r)}{dy} = 0, \quad w_{rad,r}(\pm \frac{h_{ax}}{2}, r) = 0$
5.070		$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot \left(\frac{y^2}{2} - \frac{h_{ax}^2}{8}\right) = -\eta \cdot w_{rad,r}(y, \varphi)$
5.071	Geschwindigkeitsverteilung über die Spalthöhe Distribution of velocity over the height of gap	$w_{rad,r}(y, r) = +\frac{1}{2 \cdot \eta} \cdot \frac{dp_{rad}(y,r)}{dr} \cdot \left(\frac{h_{ax}^2}{4} - y^2\right)$
5.072		
5.073	Mittlere axiale Geschwindigkeit Mean axial velocity	$\bar{w}_{rad,r}(r) = \frac{1}{h_{ax}} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta} \cdot \frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot \int_{-h_{ax}/2}^{+h_{ax}/2} \left(\frac{h_{rad}^2}{4} - y^2\right) dy$
5.074		$\bar{w}_{rad,r}(r) = \frac{1}{h_{ax}} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta} \cdot \frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot \left(\frac{h_{ax}^2}{4} \cdot y - \frac{y^3}{3}\right)_{-h_{ax}/2}^{+h_{ax}/2}$
5.075	Dimensionskontrolle: $m^2 \cdot \frac{m^2}{N \cdot s} \cdot \frac{N}{m^2} \cdot \frac{1}{m} = \frac{m}{s}$ dimension check	$\bar{w}_{rad,r}(r) = \frac{h_{ax}^2}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{dp_{rad}(r)}{dr}$
5.076	Kontinuität: Volumenstrom ist constant Continuity: Volume flow is constant	$\dot{V}_{rad,r} = \bar{w}_{rad,r}(r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_{ax} = const \quad r_i \leq r \leq r_a$ Strömungsrichtung / flow direction: $r_i \rightarrow r_a$
5.077	Das bedeutet / that means	$\bar{w}_{rad,r}(r_i) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot h_{ax} = \bar{w}_{rad,r}(r_a) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_a \cdot h_{ax} = \bar{w}_{rad,r}(r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_{ax}$
5.078		$\bar{w}_{rad,r}(r) = \frac{\dot{V}_{rad,r}}{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot h_{ax}} \cdot \frac{r_i}{r}$
5.079	Mittlere Geschwindigkeit an einem Radius r Mean velocity at the radius r	$\bar{w}_{rad,r}(r) = \frac{h_{rad}^2}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{dp_{rad}(r)}{dr} = \frac{\dot{V}_{rad,r}}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_{ax}}$
5.080	Druckanstieg über den Radius r pressure rise about the radius r Dimensionskontrolle: $\frac{N}{m^2} \cdot \frac{1}{m} = \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{m^3}{s}$ $\frac{1}{m^3} \cdot \frac{1}{m} = \frac{N}{m^3}$ Dimension check	$\frac{dp_{rad}(r)}{dr} = -\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \frac{1}{r} \quad \text{für } \dot{V}_{rad,r} = const$
5.081	Druck (Integration) Pressure (integration)	$\int_{p_{rad,r}(r)}^{p_{rad,r}(r_a)} dp_{rad}(r) = p_{rad}(r_a) - p_{rad}(r) = -\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \int_r^{r_a} \frac{1}{r} dr = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r}$
5.082		$\int_{p_{rad,r}(r_i)}^{p_{rad,r}(r)} dp_{rad}(r) = p_{rad}(r) - p_{rad}(r_i) = -\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \int_{r_i}^r \frac{1}{r} dr = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i}$
5.083		
5.084		$p_{rad}(r_a) - p_{rad}(r) = -\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r}$
5.085		$p_{rad,r}(r) - p_{rad}(r_i) = -\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i}$
5.086		$p_{rad}(r_i) - p_{rad}(r_a) = +\frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$
5.087		$p_{rad}(r_i) = p_i, \quad p_{rad}(r_a) = p_a$
5.088		$p_i - p_a = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$
5.089		$p_i = p_a + \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$

5.090		$p_{rad}(r) = p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i}$
5.091	Radiusverhältnis: Außen/ Innenradius Radius relation: outer / inner radius	$\frac{r_a}{r_i}$
5.092	Dimensionskontrolle: $\frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{m^3}{s} \cdot \frac{1}{m^3} = \frac{N}{m^2}$: dimension check	$\Delta p_{rad} = p_i - p_a = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$
5.093		$p_{rad}(r) = p_a + \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r}$ $p_{rad}(r) = p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i}$
5.094		
5.095	Volumenstrom im axialen Spaltraum Volume stream in the radial gap space	$\dot{V}_{rad,r} = \frac{\pi \cdot h_{ax}^3 \cdot \Delta p_{rad}}{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}} = (p_i - p_a) \cdot \frac{\pi \cdot h_{ax}^3}{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}}$

5.096	Verlustleistung durch radialer Strömung Power loss due to radial flow	
5.097	Gradient der Verlustleistung durch Reibung Gradient of power lost by friction	$\frac{dP_{rad,r}}{dr} = \frac{dp_{rad}(r)}{dr} \cdot \dot{V}_{rad,r} = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \frac{1}{r} \cdot \dot{V}_{rad,r}$
5.098	Intergration Integration	$P_{rad,r} = \frac{12 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}^2}{h_{ax}^3} \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{1}{r} dr$
5.099	Dimensionskontrolle: $\frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{m^6}{s^2} \cdot \frac{1}{m^3} = \frac{N \cdot m}{s}$ dimension check	$P_{rad,r} = \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}^2}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} = \frac{\pi \cdot h_{ax}^3}{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (p_i - p_a)^2$
5.100		

5.101	Axialkraft Axial force	
5.102	Örtliche Axialkraft Local axial force	$dF_{ax} = p_{rad}(r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = \left(p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$
5.103	Hinweis / note: $\dot{V}_{rad,r} = \dot{V}_{ax,x}$	$F_{ax} = 2 \cdot \pi \cdot \int_{r_i}^{r_a} \left(p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \ln \frac{r}{r_i} \right) \cdot r \cdot dr + 2 \cdot \pi \cdot \int_{r_m}^{r_i} p_i \cdot r \cdot dr$ <i>Kraft aus dem Druckverlauf zwischen r_i und r_a Kraft infolge des Drucks zwischen r_m und r_i</i>
5.104	Substitution Substitution	$z = \frac{r}{r_i}, \quad r = r_i \cdot z, \quad dr = r_i \cdot dz, \quad \bar{z} = \frac{r_a}{r_i}$ $\int_1^{\bar{z}} z \cdot \ln z \cdot dz = \frac{1}{2} \cdot \left[z^2 \cdot \left(\ln z - \frac{1}{2} \right) \right]_1^{\bar{z}} = \frac{1}{2} \cdot \left[z^2 \cdot \left(\ln z - \frac{1}{2} \right) - 1 \cdot \left(0 - \frac{1}{2} \right) \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[z^2 \cdot \left(\ln z - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right] =$
5.105		$F_{ax} = 2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (r_a^2 - r_i^2) \cdot p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot 2 \cdot r_i^2 \cdot \int_1^{\bar{z}} z \cdot \ln z \cdot dz \right] + 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{2} \cdot (r_i^2 - r_m^2) p_i$
5.106	Axialkraft / axial force Dimensionskontrolle: $m^2 \cdot \left(\frac{m^2}{m^2} \cdot \frac{N}{m^2} - \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{m^3}{s} \cdot \frac{1}{m^3} \right) = N$ dimension check	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}_{rad,r}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$
5.107	$\dot{V}_{ax,x} = \dot{V}_{ax,x} = \dot{V}, \quad p_i = p_z + \frac{l}{r_m} \cdot \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot \left(\frac{r_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \varepsilon^2 \right)} \cdot \dot{V}$	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot \left(p_z + \frac{l}{r} \cdot \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}}{\pi \cdot \left(\frac{r_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \varepsilon^2 \right)} \right) - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$
5.108		

5.109	5.2.2 Radialer Spaltes in φ-Richtung (Umfangsrichtung) Radial gap in φ -direction (circumference direction)	
5.110	Verlustleistung durch Strömung in φ-Richtung Umfangsrichtung infolge Flüssigkeitsreibung Power loss due to radial flow φ -direction Circumference direction	Dieser Volumenstrom in Umfangsrichtung wird verursacht durch die Rotation und ist eine Ursache einer Wärmeentwicklung. This volume flow in circumference direction is caused by rotation and is one reason for the heat development.
5.111		
5.112	Lineare Geschwindigkeitsverteilung Linear velocity distribution	$w_{rad,\varphi}(y,r) = \omega \cdot r \cdot y, \quad w_{rad,\varphi}(y = +\frac{h_{ax}}{2}, r) = \omega \cdot r, \quad w_{rad,\varphi}(y = -, r) = 0$
5.113	Scherspannung Shear stress	$\tau_{rad,\varphi} = \eta \cdot \frac{\omega \cdot r}{h_{ax}}$
5.114	Örtliche Verlustleistung durch Reibung Lokal power loss by friction	$dP_{rad,\varphi} = \tau_{rad,\varphi} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot r \cdot \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot \eta}{h_{ax}} \cdot r^3 \cdot dr$
5.115	Verlustleistung Power loss	$P_{rad,\varphi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot \eta}{h_{ax}} \cdot \int_{r_i}^{r_a} r^3 \cdot dr$

5.116	Dimensionskontrolle: $\frac{1}{s^2} \cdot \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot \frac{1}{m} \cdot m^4 = \frac{N \cdot m}{s}$ Dimension check	$P_{rad,\varphi} = \frac{\pi \cdot \omega^2 \cdot \eta}{2 \cdot h_{ax}} \cdot (r_a^4 - r_i^4)$	
5.117			

6.000	6. Zwischenbilanz / Interim balance		
6.001	Welche Größen sind bekannt? Which size are known?		
6.002	Längen / Lengths	l_L, l_M, l_R	
6.003	Radien / Radii	$r_{i,L}, r_{a,L}, r_m, r_{i,R}, r_{a,R}$	
6.004	Spiele / clearances	s_{ax}, s_{rad}	
6.005	Exzentrizität / Eccentricity	e	
6.006	Drücke / Pressures	$p_{z,L}, p_{z,R}, p_{a,L}, p_{a,R}$	
6.007			
6.008			
6.009	Welche Größen müssen ermittelt werden?		
6.010	Drücke / pressures	$p_{i,L}, p_{i,R}$	
6.011	Volumenströme / volume flows	$\dot{V}_L, \dot{V}_m, \dot{V}_R$	
6.012	Axialkraft / axial forces	$F_{ax,L}, F_{ax,R}$	
6.013	Axiale Spiaufteilung / partition of the axial clearance	$h_{ax,L}, h_{ax,R}$ info: $s_{ax} = h_{ax,L} + h_{ax,R}$	
6.014	Verlustleistungen / power loss	P_L, P_M, P_R	
6.015			

7.000	7. Zusammenhang der Teilmodelle L, R – axiale Spaltausbildung Relationship of the part-models L and R - axiale gap formation		
7.001	<p>Der Zusammen hang ergibt sich aus dem Gleichgewicht der axialen Kräfte. Erst wenn mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingung $F_{ax,L} = F_{ax,R} = F_{ax}$ die Aufteilung des axialen Spiele s_{ax} in $h_{ax,L} + h_{ax,R}$ berechnet ist, können \dot{V}_L und \dot{V}_R sowie $p_{i,L}$ und $p_{i,R}$ berechnet werden.</p> <p>The relationship of part-models L, R results of the equality of the axial forces. When the partition of the axial clearance s_{ax} to $h_{ax,L}$ and $h_{ax,R}$ is calculated with the help of the equilibrium condition $F_{ax,L} = F_{ax,R} = F_{ax}$, then \dot{V}_L and \dot{V}_R and $p_{i,L}$ and $p_{i,R}$ can be calculated.</p>		
7.002	<p>a. Teilmodell L und R (Linke und Rechte Seite) Part-model L and R (Left and Right side)</p>		
7.003	Hinweis note	<p>Bei der allgemeine Behandlung des Zusammenwirkens von Axial- und Radialspalt kann vorerst auf die Unterscheidung von 'Links' und 'Rechts' verzichtet werden. Bei der Anwendung auf das linke (L) und rechte (R) Teilmodell sind die entsprechenden Größen in den Gleichungen jeweils mit dem Index 'L' bzw. 'R' zu ergänzen.</p> <p>In the general treatment of the interaction of axial and radial gap can be here before the time being dispensed on the distinction of 'Left' and 'Right' before the time being. When applied to the left (L) and right (R) part-model, the corresponding sizes in the equations shall be supplemented with the index 'L' respectively 'R'.</p>	
7.004	Druckdifferenz in axialer Richtung Pressure difference in axial direction	$p_z - p_i = \frac{l}{r_m} \cdot \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)} \cdot \dot{V}_{ax,x}$	
7.005		$p_i - p_a = \frac{6 \cdot \eta \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \dot{V}_{rad,r}$	
7.006	Volumenstrom Volume flow in axial direction	$\dot{V}_{ax,x} = (p_z - p_i) \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2}\right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2\right)$	

7.007		$\dot{V}_{rad,r} = (p_i - p_a) \cdot \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{h_{ax}^3}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$	✓
7.008	Bedingung / Condition	$\dot{V} = \dot{V}_{ax,x} = \dot{V}_{rad,r}$	
7.009	Axialkraft Axial force	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \left(\frac{r_a}{r_i} \right) - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$	
7.010			
7.011	Verlustleistung Power loss	$P_{ax,x} = \dot{V} \cdot (p_z - p_i)$	
7.012		$P_{ax,\varphi} = 4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \frac{\omega^2 \cdot r_M^3 \cdot l}{s_{rad}}$	
7.013		$P_{rad,r} = \frac{12 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \dot{V}^2}{h_{ax}^3} \cdot \ln \left(\frac{r_a}{r_i} \right)$	
7.014		$P_{rad,\varphi} = \frac{\pi \cdot \omega \cdot \eta}{2 \cdot h_{ax}} \cdot (r_a^4 - r_i^4)$	
7.015			
7.016	Druck pressure	$p_z - p_i = \frac{l}{r_m} \cdot \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} \cdot \dot{V}$	
7.017		$p_i - p_a = \frac{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}}{\pi \cdot h_{ax,L}^3} \cdot \dot{V}$	
7.018		$\frac{p_z - p_i}{p_i - p_a} = \frac{\frac{l}{r_m} \cdot \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)}}{\frac{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}}{\pi \cdot h_{ax}^3}} = \frac{h_{ax}^3}{\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)}$	
7.019		$(p_i - p_a) \cdot h_{ax}^3 = (p_z - p_i) \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)$	
7.020		$p_i \cdot \left(h_{ax}^3 + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right) = p_a \cdot h_{ax}^3 + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)$	
7.021		$p_i = \frac{p_a \cdot h_{ax}^3 + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{h_{ax}^3 + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)}$	
7.021		$p_i = \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)}, h_{ax}^3 \text{ unbekannt / unknown}$	
7.022			
7.023	Volumenstrom Volume flow	$\dot{V} = (p_z - p_i) \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)$	
7.024		$\dot{V} = \left(p_z - \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} \right) \cdot \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)$	
7.025			
7.026	In diese Gleichung werden die ermittelten Gleichungen für p_i und \dot{V} eingesetzt In this equation are to insert the equations for p_i und \dot{V}	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot p_i - \frac{6 \cdot \eta \cdot \dot{V}}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$	
7.027		$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} - \frac{6 \cdot \eta}{\pi \cdot h_{ax}^3} \cdot \left(p_z - \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} \right) \cdot \frac{\pi}{6 \cdot \eta} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$	
7.028		$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} \cdot \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} - \left(p_z - \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} \right) \cdot \frac{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot r_m}{h_{ax}^3} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$	
7.029		$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} \cdot \left[\frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} - \left(p_z - \frac{p_a \cdot \frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + p_z \cdot \left(\frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \right)}{\frac{h_{ax}^3}{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3} + \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)} - 1 \right) \cdot \frac{\left(\frac{s_{rad}}{2} \right)^3 \cdot r_m}{h_{ax}^3} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right) \right]$	

7.030	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \frac{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + p_z \frac{r_m \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{(\frac{s_{rad}}{2})^3}}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{r_m \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{(\frac{s_{rad}}{2})^3}} \cdot \frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} - \left(\frac{p_z \left(\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{r_m \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{(\frac{s_{rad}}{2})^3} \right)}{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + p_z \frac{r_m \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{(\frac{s_{rad}}{2})^3}} - 1 \right) \cdot \frac{(\frac{s_{rad}}{2})^3}{h_{ax}^3} \cdot \frac{r_M}{l} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right)$	
7.031	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot \frac{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + p_z \frac{\frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}}{\frac{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + p_z \frac{\frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}}} \cdot \frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} - \left(\frac{p_z \left(\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2) \right)}{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + p_z \frac{\frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}}} - 1 \right) \cdot \frac{s_{ax}^3}{h_{ax}^3} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \cdot \frac{r_M}{l} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right)$	
7.032	$F_{ax} = \pi \cdot r_i^2 \cdot p_z \cdot \frac{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}}{\frac{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}{\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)}}} \cdot \frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2} + \left(1 - \frac{p_z \left(\frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2) \right)}{p_a \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} + \frac{1}{8} \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \frac{r_m}{l} \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot (1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2)} \right) \cdot \frac{s_{ax}^3}{h_{ax}^3} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \cdot \frac{r_M}{l} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right)$	
7.033	<p>Da auf der linken und der rechten Seite radial ein Schmierung angestrebt wird, um einen reibungsarmen Betrieb durch den Ölfluss durch die radialen Spalte zu erreichen, ist sowohl auf der linken und rechten Seite ein Zuführungsdruck erforderlich. Das bedeutet, dass $p_z > p_a$ sein muss. The aim is to achieve a low-friction operation by the flow of oil through the radial gaps. Therefore, supply pressures $p_{z,L}$ and $p_{z,R}$ are necessary at the left and the right side for the oil flow. That means that $p_z > p_a$.</p>	
7.034		
7.035	Dimensionsloser Axialspalt dimensionless axial gap	$\bar{h}_{ax}^3 = \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} \quad 0 < \frac{h_{ax}^3}{s_{ax}^3} = \bar{h}_{ax,L}^3 < 1$
7.036	Kraft force	$f = \pi \cdot r_i^2 \cdot p_z$
7.037	Dimensionsloser Außendruck dimensionless outer pressure	$\bar{p}_a = \frac{p_a}{p_z}$, mit $0 \leq \bar{p}_a \leq 1,0$ bzw. $p_a \leq p_z$
7.038	Zusammenfassende Konstante Summary constant	$a = \frac{1}{8} \cdot \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right)$
7.039	Zusammenfassende Konstante Summary constant	$b = \frac{1}{8} \cdot \frac{s_{rad}^3}{s_{ax}^3} \cdot \frac{r_m}{l} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \varepsilon^2 \right) \cdot \left(\left(\frac{r_a}{r_i} \right)^2 \cdot \left(\ln \frac{r_a}{r_i} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right)$
7.040	Zusammenfassende Konstante Summary constant	$c = \frac{r_a^2 - r_m^2}{r_i^2}$
7.041	Kurzform der Gleichung Short form of the equation	$F_{ax} = f \cdot \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a}{\bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \left[c + \left(1 - \frac{\bar{h}_{ax}^3 + a}{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a} \right) \cdot \frac{b}{\bar{h}_{ax}^3} \right] = f \cdot \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a}{\bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \left[c + \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a - \bar{h}_{ax}^3 - a}{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \frac{b}{\bar{h}_{ax}^3} \right]$
7.042		$F_{ax} = f \cdot \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a}{\bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \left[c + \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a - \bar{h}_{ax}^3 - a}{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \frac{b}{\bar{h}_{ax}^3} \right] = f \cdot \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a}{\bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \left[c + \frac{(p_a - 1) \cdot b}{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a} \right] = f \cdot \frac{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a}{\bar{h}_{ax}^3 + a} \cdot \left[c + \frac{(p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a) - (1 - p_a) \cdot b}{p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a} \right]$
7.043		$F_{ax} = f \cdot \frac{c \cdot (p_a \cdot \bar{h}_{ax}^3 + a) - (1 - p_a) \cdot b}{\bar{h}_{ax}^3 + a}$ pa
7.044		$F_{ax,L} = F_{ax,R}$
7.045		$\bar{h}_{ax,R} = 1 - \bar{h}_{ax,L}$
7.046		Linke Seite / Left side Rechte Seite / Right side
7.047		$f_L \cdot \frac{c_L \cdot (p_{a,L} \cdot \bar{h}_{ax,L}^3 + a_L) - (1 - p_{a,L}) \cdot b_L}{\bar{h}_{ax,L}^3 + a_L} = f_R \cdot \frac{c_R \cdot (p_{a,R} \cdot (1 - \bar{h}_{ax,L})^3 + a_R) - (1 - p_{a,R}) \cdot b_R}{(1 - \bar{h}_{ax,L})^3 + a_R}$
7.048	Algebraische Gleichung 6. Grades Algebraic equation of 6 th grades	$f_L \cdot \frac{c_L \cdot (p_{a,L} \cdot \bar{h}_{ax,L}^3 + a_L) - (1 - p_{a,L}) \cdot b_L}{\bar{h}_{ax,L}^3 + a_L} = f_R \cdot \frac{c_R \cdot (p_{a,R} \cdot (1 - \bar{h}_{ax,L})^3 + a_R) - (1 - p_{a,R}) \cdot b_R}{(1 - \bar{h}_{ax,L})^3 + a_R}$
7.049	<p>Die exakte Lösung dieser allgemeinen Gleichung ist wahrscheinlich sehr aufwendig, so dass eine genäherte Lösung durch Iteration anzustreben ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Sonderfall $p_{a,L} = p_{a,R} = p_a^{alt}$ ist der allgemein übliche Fall. p_a ist dann der Bezugsdruck für die anderen Drücke, so dass $p_a = 0$ gesetzt werden kann und der Zuführungsdruck p_z durch die Differenz $p_z^{neu} = p_z^{alt} - p_a^{alt}$ zu ersetzen ist. The exact solution of this general equation is probably very expensive, so that an approximate solution is sought by iteration. The special case of $p_{a,L} = p_{a,R} = p_a^{old}$ is the generally usual case. $p_a = 0$ can be used as the reference pressure for the other pressures and we can set $p_a = p_a^{new} = 0$ and then the supply pressures p_z are to replace by $p_z = p_z^{new} = p_z^{old} - p_a^{old}$. 	
7.050	Sonderfall / special case Diese Gleichung ist lösbar / this equation is solvable	für $\bar{p} = 0$ bzw. $p_a = 0$: $F_{ax} = f \cdot \frac{c \cdot a + b}{\bar{h}_{ax}^3 + a}$
7.051		$f_L \cdot \frac{c_L \cdot a_L - b_L}{\bar{h}_{ax}^3 + a_L} = f_R \cdot \frac{c_R \cdot a_R - b_R}{(1 - \bar{h}_{ax,L})^3 + a_R}$
7.052		$1 - 3 \cdot \bar{h}_{ax,L}^1 + 3 \cdot \bar{h}_{ax,L}^2 - \bar{h}_{ax,L}^3 + a_R = (\bar{h}_{ax,L}^3 + a_L) \cdot \frac{c_R \cdot a_R - b_R}{c_L \cdot a_L - b_L} \cdot \frac{f_R}{f_L}$
7.053		$\bar{h}_{ax,L}^3 \cdot \left(1 + \frac{f_R}{f_L} \cdot \frac{c_R \cdot a_R - b_R}{c_L \cdot a_L - b_L} \right) - 3 \cdot \bar{h}_{ax,L}^2 + 3 \cdot \bar{h}_{ax,L}^1 + a_L \cdot \frac{c_R \cdot a_R - b_R}{c_L \cdot a_L - b_L} \cdot \frac{f_R}{f_L} - 1 - a_R = 0$

7.054		$\bar{h}_{ax,L}^3 - \frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \cdot \bar{h}_{ax,L}^2 + \frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \cdot \bar{h}_{ax,L} + \frac{a_L \cdot \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L} - 1 - a_R}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} = 0$	
7.055			

7.056	Lösung der Gleichung Solution of the equation	Hans-Jochen Bartsch: Taschenbuch für Mathematik, Fachbuchverlag Leipzig, 1999 Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik, Verlag Harri Deutsch, 1999	
7.057		$\bar{h}_{ax,L}^3 - \frac{3}{\frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \cdot \bar{h}_{ax,L}^2 + \frac{3}{\frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \cdot \bar{h}_{ax,L} + \frac{a_L \cdot \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L} - 1 - a_R}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} = 0$	
7.058	Ansatz zur Lösung / Substitution Approach for the solution / substitution	$h_{ax,L} = y - \frac{\alpha}{3}$	
7.059		$3 \cdot p = \frac{3 \cdot \beta - \alpha^2}{3} = \frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \left(1 - \frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \right)$	
7.060		$2 \cdot q = \frac{2 \cdot \alpha^3}{27} - \frac{\alpha \cdot \beta}{3} + \gamma = -\frac{2}{27} \cdot \left(\frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \right)^3 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{3}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}} \right)^2 \cdot \frac{a_L \cdot \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L} - 1 - a_R}{1 + \frac{f_R \cdot c_R \cdot a_R - b_R}{f_L \cdot c_L \cdot a_L - b_L}}$	
7.061		$D = p^3 + q^2 \begin{cases} D > 0: 1 \text{ reelle Lösung und } 2 \text{ konjugiert komplexe Lösungen} \\ D = 0: 3 \text{ reelle Lösungen mit einer Doppelwurzel} \\ D < 0: 3 \text{ reelle Lösungen (casus irreducibilis)} \end{cases}$	
7.062	Lösbare Gleichung solvable equation	$y^3 + 3 \cdot p \cdot y + 2 \cdot q = 0$	
7.063		$u = \sqrt[3]{-q + \sqrt[2]{D}}$	
7.064		$v = \sqrt[3]{-q - \sqrt[2]{D}}$	
7.065	Dimensionslose Axialspalthöhe Dimensionless axial gap	$\bar{h}_{ax,L} = u + v - \frac{\alpha}{3}, \quad \bar{h}_{ax,R} = 1 - \bar{h}_{ax,L}$	
7.066			
7.067	Bei Einführung der Spalte $\bar{h}_{ax,L}$ und $\bar{h}_{ax,R}$ in die bereits vorher beschriebenen Gleichungen können <ul style="list-style-type: none"> die Leckagen $V_{rad,r,L}$ und $V_{rad,r,R}$ die Drücke $p_{i,L}$ und $p_{i,R}$ die Verlustleistungen P_L und P_R ermittelt werden. Drücke $p_{z,L}$ und $p_{z,R}$ sind ausreichend für die Ermittlung <ul style="list-style-type: none"> der Leckage $V_{M,L}$ der Verlustleistung P_M. 	Upon introduction of the gaps $\bar{h}_{ax,L}$ and $\bar{h}_{ax,R}$ in the equations previously described can <ul style="list-style-type: none"> the leaks $V_{rad,r,L}$ and $V_{rad,r,R}$ the pressures $p_{i,L}$ and $p_{i,R}$) the power losses P_L and P_R be determined. The pressures $p_{z,L}$ and $p_{z,R}$ are sufficient for the determination of <ul style="list-style-type: none"> the leakage $V_{M,L}$ the dissipation P_M. 	
7.068			

8.000	8. Diskussion und Beispiele Discussion and examples		
8.001	8.1 Diskussion Zur Überprüfung der Brauchbarkeit der abgeleiteten Gleichungen wurde ein Excel-Programm (OilSupply_01.xlsx) erarbeitet. Mit diesem Programm wurde eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen mit folgenden Ergebnissen: <ul style="list-style-type: none"> Bei symmetrischer Geometrie und $p_{z,L} = p_{z,R}$ ist $h_{ax,L} = h_{ax,R} = 0,5$ und $p_{i,L} = p_{i,R}$ Bei symmetrischer Geometrie und $p_{z,L} \neq p_{z,R}$ ist $h_{ax,L} \neq h_{ax,R}$ und $p_{i,L} = p_{i,R}$ Dir Ergebnisse entsprechen den Erwartungen. Mit den abgeleiteten Gleichungen ist es möglich, das Verhalten einer Ölzuführung der beschriebenen Ausführung einzuschätzen. An Excel program was elaborated to test the usefulness of the derived equations. A plausibility check was carried out with this program with the following results: <ul style="list-style-type: none"> For symmetrical geometry and $p_{z,L} = p_{z,R}$ is $h_{ax,L} = h_{ax,R} = 0,5$ und $p_{i,L} = p_{i,R}$ For symmetrical geometry and $p_{z,L} \neq p_{z,R}$ is $h_{ax,L} \neq h_{ax,R}$ und $p_{i,L} = p_{i,R}$ The results are consistent with expectations. Using the derived equations, it is possible to estimate the behavior of an oil supply to described the embodiments.		
8.002	8.2 Beispiele / examples ▼▼		▼▼
8.003			

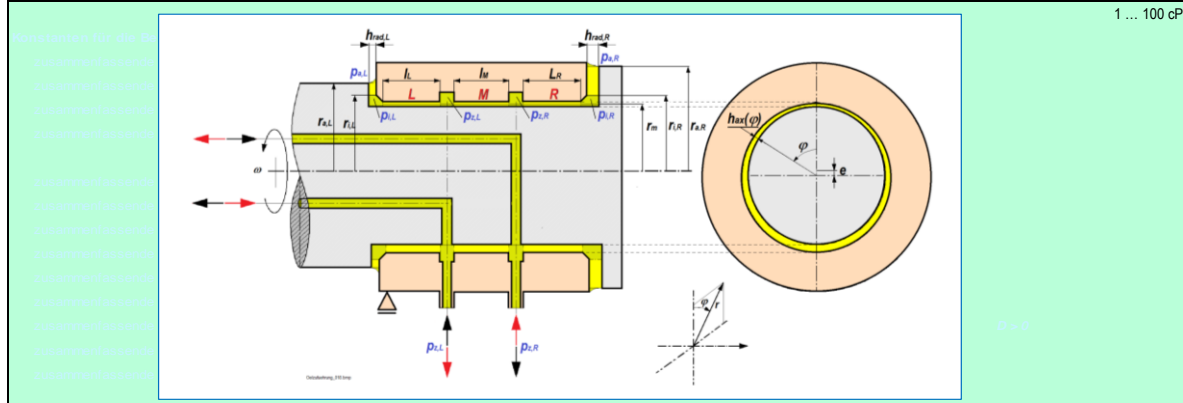
7.2.1 Beispiel / example 1

Symmetrische Geometrie / symmetric geometry, $p_{z,L} = p_{z,R}$

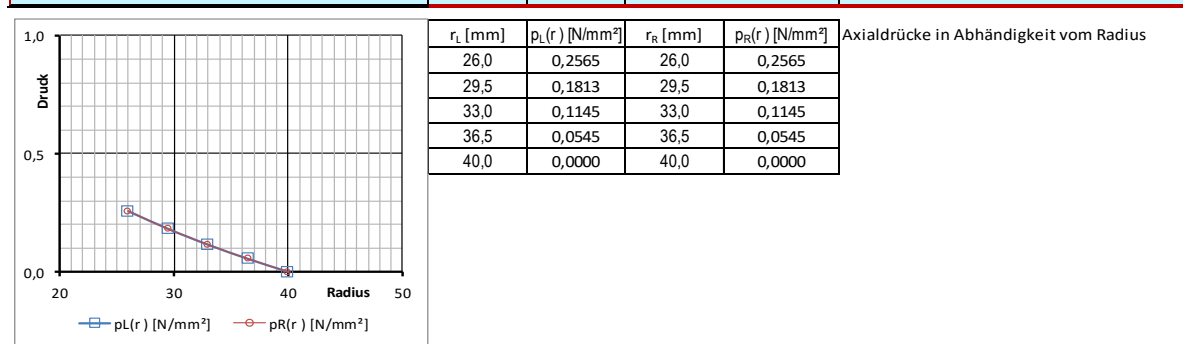
Ermittlung der Axialspalte, der Leckage und der Reibleistung einer einfachen Ölzuführung

Calculation of the axial gaps, the leakage and the friction power of a simply oil supply

INPUT			Seite		Bedingung / condition
			L Links Left	R Rechts Right	
Länge an der seitlichen Teile	l	mm	20,00	20,00	$l_L > 0$
Außenradius an den Seiten	r_a	mm	40,00	40,00	$r_a > r_i$
Innenradius an den Seiten	r_i	mm	26,00	26,00	$r_m \leq r_i < r_a$
Länge in des mittelen Abschnitts	l_M	mm	30,00	30,00	$l_M > 0$
Radius des rotierenden Innenteils	r_m	mm	24,00	24,00	$r_m \leq r_i$
axiales Spiel	s_{ax}	mm	0,300	0,300	$s_{ax} > 0$
Durchmesserspiel bzgl. Rotation	s_{rad}	mm	0,100	0,100	$s_{rad} > 0$
relative Exzentrizität	ε	-	0,500	0,500	$0 > \varepsilon > 1$
Umgebungsdruck	p_a	N/mm ² [Mpa]	0,00	0,00	
Ölzuführungsdruck (bezogen auf Umgebungsdruck)	p_z	N/mm ² [Mpa]	10,0000	10,0000	$1 < p_{z,L} / p_{z,R} < 10$
mittlere dynamische Viskosität	η	N·s/mm ²	0,00000050	0,00000050	$0,001 \cdot 10^{-5} < \eta < 0,1 \cdot 10^{-5}$ 1N·s/m ² = 1Pa·s = 1P = 100 cP
Winkelgeschwindigkeit	ω	1/s	30,0	30,0	≥ 0



Dimensionsloser Axialspalt	h^*_{ax}	-	0,5000	0,5000	$h^*_{ax} \geq 0, \Sigma h^*_{ax} = 1$
Axialspalt	h_{ax}	-	0,15000	0,15000	
Druck zwischen Axial- und Radialspalt	p_i	N/mm ²	0,2565	0,2565	
Volumenstrom in Richtung L und R (Leckage)	V	mm ³ /s	2.104,444	2.104,444	
		l/min	0,126	0,126	
Volumenstrom zwischen den Zuführungen (Mitte)	V	mm ³ /s	0,00	0,00	
		l/min	0,000	0,000	
Gesamt Volumenstrom	V	mm ³ /s	2.104,44	2.104,44	
			0,13	0,13	
Gesamtleckage nach außen	V	mm ³ /s	4.208,9		
		l/min	0,253		
Pumpenleistung zur Deckung des Leistungsverlustes	P	Nmm/s	21.044	21.044	
Pumpenleistung		kW=kN·m/s	0,02104	0,02104	
Zur Erwärmung führender Leistungsverlust					Infolge axialer Durchströmung und Rotation
Leistungsverlust L und R	P	N·mm ² /s	46.589	46.589	
Leistungsverlust L und R		kN·m/s	0,047	0,047	
Leistungsverlust zwischen den Zuführungen	P	N·mm ² /s	23.452		
Leistungsverlust zwischen den Zuführungen		kN·m/s	0,02345		
Gesamtleistungsverlust	P	N·mm ² /s	116.630		
Gesamtverlustleistung		kW=N·m/s	0,117		



8.004

8.005

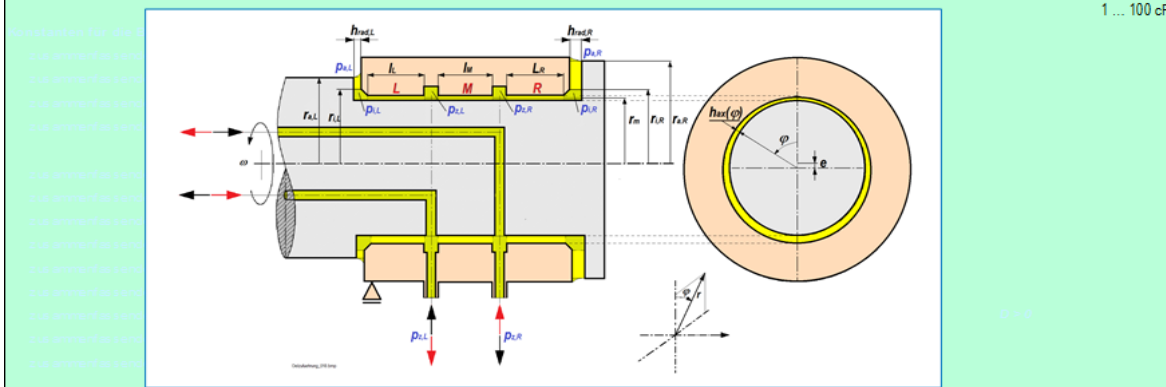
7.2.2 Beispiel / example 2

Unsymmetrische Geometrie / asymmetrically geometry, $p_{z,L} \neq p_{z,R}$

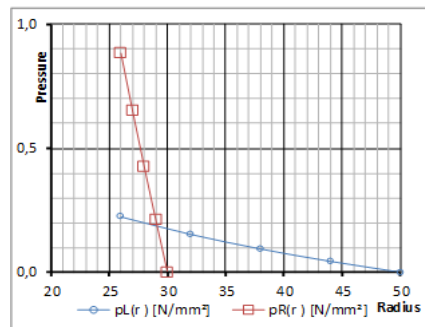
Ermittlung der Axialspalte, der Leckage und der Reibleistung einer einfachen Ölzuführung

Calculation of the axial gaps, the leakage and the friction power of a simply oil supply

Input			Side		Bedingung / condition
			L Links Left	R Rechts Right	
length of side parts	l	mm	20,0	10,0	$l_L > 0$
Outer radius at the sides	r_a	mm	50,0	30,0	$r_a > r_l$
Inner radius at the sides	r_l	mm	26,0	26,0	$r_m \leq r_l < r_a$
	
Length of the middle part	l_M	mm	30,00	30,00	$l_M > 0$
Radius of the rotating middle part	r_m	mm	24,00	24,00	$r_m \leq r_l$
Axial clearance	s_{ax}	mm	0,300	0,300	$s_{ax} > 0$
Diameter of the rotating part	s_{rad}	mm	0,100	0,100	$s_{rad} > 0$
relative Excentricity	ε	..	1,000	1,000	$0 > e > 1$
Ambiente pressure	p_a	N/mm ² [Mpa]	0,00	0,00	
Oil supply pressure (related to ambient pressure)	p_z	N/mm ² [Mpa]	10,0000	5,0000	$1 < p_{z,L} / p_{z,R} < 10$
Mean dynamical viscosity	η	N·s/mm ²	0,00000050	0,00000050	$0,0010^c = \eta < 0,10^c$ 1Ns/m ² =1Pa·s= 1P=1000 cP
Angular velocity	ω	1/s	30,0	30,0	≥ 0



Results					
Dimensionless axial gap Axialspalt	h^*_{ax}	..	0,7355	0,2645	$h^*_{ax} \geq 0, \Sigma h^*_{ax} = 1$
Axial gap	h_{ax}	..	0,22065	0,07935	
Pressure between axial and Radial gap	p_l	N/mm ²	0,2232	0,8841	
Volume flow in direction L and R (leakage)	V	mm ³ /s	3.839,347	3.232,635	
		l/min	0,230	0,194	
Volume flow between the supplies (middle)	V	mm ³ /s	1.309,00	-1.309,00	
		l/min	0,079	-0,079	
complete volumeflow	V	mm ³ /s	5.148,34	1.923,64	
			0,31	0,12	
leakage outwards	V	mm ³ /s	7.072,0		
		l/min	0,424		
Pump capacity to cover the power loss pump power	P	Nmm/s	38.393	16.163	
		kW=kN·m/s	0,03839	0,01616	
for heating leading power loss					due to axial flow and rotation
power loss at sides L and R	P	N·mm ² /s	72.586	27.125	
Leistungsverlust L und R		kN·m/s	0,073	0,027	
Power loss between the supplies (middle)	P	N·mm ² /s	29.997		
Power loss between the supplies (middle)		kN·m/s	0,03000		
Complete power loss	P	N·mm ² /s	129.708		
Complete power loss		kW=N·m/s	0,130		



r_l [mm]	$p_L(r)$ [N/mm ²]	r_a [mm]	$p_R(r)$ [N/mm ²]
26,0	0,2232	26,0	0,8841
32,0	0,1523	27,0	0,6509
38,0	0,0937	28,0	0,4262
44,0	0,0436	29,0	0,2094
50,0	0,0000	30,0	0,0000

Verlauf der Axialdrücke

Axial pressure as a function of radius