

Masterarbeit zum Thema

**STRÖMUNGSSIMULATION  
EINER AXIALPUMPE MIT  
GEGENLÄUFIGEN ROTOREN**

**Verfasser**

Andreas Gebert, BSc

**Eingereicht am Institut für Thermische  
Turbomaschinen und Maschinendynamik**

**Vorstand**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Franz Heitmeir

**Betreuer**

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Sanz

**Externe Betreuer der Firma ANDRITZ AG**

Dipl.-Ing. Dr.techn. Arno Gehrer

Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Forstner

**Graz, 03.02.2014**

## Vorwort

Im Zuge eines Praktikums im Sommer 2012 bei ANDRITZ Hydro in Linz in der Abteilung für Forschung und Entwicklung (RD) entdeckte ich mein Interesse für Computational Fluid Dynamics (CFD). Daher machte ich mich auf die Suche nach einem geeigneten Thema für meine Masterarbeit im CFD-Bereich und wurde im Oktober 2012 in Graz bei der Anstalt für Strömungsmaschinen (kurz ASTRÖ) der Firma ANDRITZ fündig. Dort wurde mir angeboten, über die Strömungssimulation einer Axialpumpe mit zwei gegenläufigen Rotoren eine Masterarbeit zu verfassen.

An dieser Stelle möchte ich mich namentlich ganz besonders bei meinen externen Betreuern bei ASTRÖ Arno Gehler und Martin Forstner herzlich bedanken, die Gelegenheit erhalten zu haben dieses interessante Thema, das sich einerseits mit der CFD und andererseits mit der Auslegung von Pumpen beschäftigt, zu bearbeiten. Sie hatten jederzeit ein offenes Ohr, wenn es sich wieder einmal spießte.

Weiters gilt meine Danksagung auch Univ.-Prof. Wolfgang Sanz vom Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik der Technischen Universität Graz, der sich dazu bereit erklärt hat die Masterarbeit zu betreuen und mir bei den Besprechungen stets hilfreiche Tipps gab.

Graz, 3.Februar 2014

## INHALT

<b>FORMELZEICHEN, INDIZES UND ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>4</b>
<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>STATUTORY DECLARATION .....</b>	<b>7</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>10</b>
<b>2 HYDRAULISCHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>13</b>
2.1 WICHTIGE ZUSAMMENHÄNGE DER STRÖMUNGSLEHRE .....	13
2.1.1 <i>Kontinuitätsgleichung</i> .....	13
2.1.2 <i>Navier-Stokes-Gleichungen</i> .....	14
2.2 DRUCKZIFFER .....	15
2.3 DURCHFLUSSZAHL .....	16
2.4 SPEZIFISCHE DREHZAHL .....	17
2.5 KAVITATION .....	18
2.5.1 <i>Anlagen NPSH-Wert</i> .....	19
2.5.2 <i>Pumpen NPSH-Wert</i> .....	20
2.5.3 <i>Dimensionsloser Kavitationskennwert <math>\psi_c</math></i> .....	22
2.5.4 <i>Thoma-Zahl <math>\sigma</math></i> .....	22
2.5.5 <i>Drehzahlverhältnis</i> .....	22
<b>3 NUMERISCHE UNTERSUCHUNG .....</b>	<b>23</b>
3.1 GITTERGENERIERUNG .....	23
3.2 PRE-PROCESSING .....	25
3.3 SOLVER .....	27
3.4 POST-PROCESSING .....	31
3.5 CONTRAROTATE AUSLEGUNGS-TOOL .....	38
3.5.1 <i>Übersichtsmaske</i> .....	38
3.5.2 <i><math>\varphi_1 - \psi</math> - Diagramm</i> .....	43
3.5.3 <i><math>Q - H</math> - Übersichtsdigramm für <math>D = 0,6\text{ m}</math></i> .....	46
3.5.4 <i><math>Q - H</math> - Übersichtsdigramme für <math>n_1/n_2 = \text{const.}</math></i> .....	48
3.5.5 <i><math>Q - H</math> - Vergleichsdigramme ContraRotate und AmuZang</i> .....	52
<b>4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>62</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>63</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>64</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>66</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>68</b>

## Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

### Lateinische Formelzeichen

$\dot{V}$	$\text{m}^3/\text{s}$	Volumenstrom
$\vec{v}$	$\text{m}/\text{s}$	Geschwindigkeitsvektor
$A$	$\text{m}^2$	Querschnittsfläche
$c$	$\text{m}/\text{s}$	Absolutgeschwindigkeit
$c_m$	$\text{m}/\text{s}$	Meridiangeschwindigkeit
$c_u$	$\text{m}/\text{s}$	Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit
$D, D1$	$\text{m}$	Außendurchmesser des Laufrades
$D2$	$\text{m}$	Innendurchmesser des CR-Gehäuses
$D_{\text{max}}$	$\text{m}$	Maximaldurchmesser des Laufrades
$D_{\text{saug}}$	$\text{m}$	Saugdurchmesser
$D_{\text{Spirale}}$	$\text{m}$	Maximaldurchmesser der Spirale
$g$	$\text{m}/\text{s}^2$	Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$
$H$	$\text{m}$	Förderhöhe eines Laufrades
$H$	$\text{m}$	Gesamtförderhöhe
$H_{\text{s,geo}}$	$\text{m}$	Höhendifferenz zwischen Wasserspiegel im Saugbehälter und Mitte Pumpensaugstutzen
$H_{\text{v,s}}$	$\text{m}$	Druckhöhenverlust in der Saugleitung
$i$	-	Drehzahlverhältnis $n_1/n_2$
$k$	$\text{J}/\text{kg}$	spezifische kinetische Energie
$M_{\text{(Torque)}}$	$\text{Nm}$	Drehmoment am Laufrad
$n$	$\text{U}/\text{min}$	Drehzahl des Laufrades
$n_q$	$\text{U}/\text{min}$	spezifische Drehzahl einer Pumpe
$n_s$ bzw. $n_{sq}$	$\text{U}/\text{min}$	spezifische Drehzahl einer Pumpe
$n_{s1}$	$\text{U}/\text{min}$	spezifische Drehzahl der CR-Pumpe bzgl LR1
$p$	$\text{Pa}$	Druck
$p_b$	$\text{Pa}$	Luftdruck
$p_D$	$\text{Pa}$	Verdampfungsdruck
$p_e$	$\text{Pa}$	Überdruck im Saugbehälter
$p_{\text{tot}}$	$\text{Pa}$	Totaldruck
$Q$	$\text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{min}$	Förderstrom
$s'$	$\text{m}$	Höhendifferenz zwischen Mitte Pumpensaugstutzen und Mitte Laufradeintritt

t	s	Zeit
u	m/s	Umfangsgeschwindigkeit
$v_e$	m/s	Strömungsgeschwindigkeit in Saugbehälter
w	m/s	Relativgeschwindigkeit
Y	J/kg	spezifische Stutzenarbeit

### Griechische Formelzeichen

$\rho$ bzw rho	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$\sigma$ bzw sig	-	Thoma Zahl
$\varphi$ bzw phi	-	Durchflusszahl
$\psi$ bzw psi	-	Druckzahl
$\psi_c$ bzw psi_c	-	Kavitationsrelevante Druckziffer
$\eta$ bzw eta	%	Wirkungsgrad
$\omega$ bzw om	1/s	Winkelgeschwindigkeit des Laufrades

### Operatoren und Bezeichnungen

d	vollständiges Differential
$\partial$	partiell Differential
$\vec{\nabla}$	Nabla Operator

### Weitere Indices und Abkürzungen

1	Laufrad 1 betreffend
2	Laufrad 2 betreffend
x	in x-Richtung
y	in y-Richtung
z	in z-Richtung
1cm <sup>2</sup> bzw 1cm	Kavitationskriterium 1 cm <sup>2</sup> betreffend
2,75cm <sup>2</sup> bzw 2,75cm	Kavitationskriterium 2,75 cm <sup>2</sup> betreffend
3,25cm <sup>2</sup> bzw 3,25cm	Kavitationskriterium 3,25 cm <sup>2</sup> betreffend
3%	Kavitationskriterium 3% betreffend
CFD,Modell	das CFD-Modell betreffend

---

1D	eindimensional
3D	dreidimensional
ASTRÖ	Anstalt für Strömungsmaschinen
bzw	beziehungsweise
CFD	Computational Fluid Dynamics
CFX	Computational Fluid DynamiX – Programm von Fa. ANSYS
CR	ContraRotate
CRP	contra rotating propeller
def	Definition file von ANSYS CFX
DP	Design Point
et al.	et alii – und andere
IEC	International Electrotechnical Commission
LR1	Laufgrad 1
LR2	Laufgrad 2
NPSHA	Net Positive Suction Head Available
NPSHR	Net Positive Suction Head Required
RMS	Root Mean Square
sig_iso	durch Isoflächen ermittelte Thomazahl
vgl	vergleiche
xls	Microsoft EXCEL file Format

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Andreas Gebert

Graz, 3.Februar 2014

## **Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Andreas Gebert

Graz, February 3<sup>rd</sup>, 2014

## Zusammenfassung

Die Zielsetzung der Masterarbeit ist einerseits ausgehend von einem von ANDRITZ AG vorgegebenen CFD-Modells einer ContraRotate-Axialpumpe herauszufinden, worin die Stärken und Schwächen dieser im Vergleich zu einer herkömmlichen Pumpe mit gleichen hydraulischen Eigenschaften liegen und andererseits um den Grundstein für einen weiteren Entwicklungsschritt durch die Erstellung eines einfach zu handhabenden Auslegungs-Tools zu setzen.

Im ersten Teil beschäftigt sich die Arbeit mit den die CR-Pumpe betreffenden theoretischen Grundlagen wie beispielsweise Kavitation oder den Definitionen wichtiger hydraulischer Größen. Diese Grundlagen werden jedoch nur überblicksmäßig dargestellt, da das Hauptaugenmerk der Masterarbeit auf der numerischen Untersuchung der CR-Pumpe liegt.

Im zweiten Part, der eigentlichen numerischen Untersuchung der CR-Pumpe wird auf die Vorgehensweise der Erlangung der im Anhang zur Gänze aufgeführten Rechenergebnisse mittels ANSYS CFX und der Weiterverarbeitung der Daten mittels Microsoft EXCEL eingegangen.

Schließlich erfolgt noch eine Beschreibung der Handhabung des ContraRotate-Pumpen Auslegungs-Tools und in weiterer Folge einiger der damit erzeugten dimensionslosen und dimensionsbehafteten Diagramme, wobei letztere einen direkten Vergleich mit einer bereits bestehenden Pumpenvariante der Firma ANDRITZ AG beinhaltet.



## **Abstract**

The aim of this master thesis is on the one hand to figure out the strengths and weaknesses of a counter rotating axial flow pump compared to a conventional pump with similar hydraulic characteristics and on the other hand to establish a basis for further research and development by means of a easy manageable dimensioning tool.

The first chapter deals with theoretical background concerning the counter rotating pump to get a general idea of cavitation and some important hydraulic parameters.

In the second part, the numerical analysis of the counter rotating pump, the procedure of getting the in the annex attached calculation results by ANSYS CFX and the further processing by Microsoft EXCEL are described.

Finally the handling of the dimensioning tool and a collection of diagrams made with that tool are described, for instance a direct comparison of a CR-pump with an existing pump designed by ANDRITZ AG.

## 1 Einleitung

Die Technologie zweier gegenläufiger Rotoren ist grundsätzlich kein komplettes Novum, da im Bereich der Schifffahrt zur Senkung des Treibstoffverbrauchs gegenläufige Propeller zum Antrieb etwa von Fähren oder Motorbooten verwendet werden, wie in Abb. 1-1 schematisch zu sehen ist. Aus verschiedenen Gründen hat sich diese Art von Antrieb im maritimen Bereich bereits bewährt. So wird etwa die Propellergondel gleichzeitig als Steuerruder verwendet, wodurch die Wendigkeit erhöht wird. Weiters wird das durch den ersten Propeller entstehende Krängungsmoment mit Hilfe des gegenläufigen zweiten Propeller kompensiert, wodurch in weiterer Folge die Laufruhe erhöht wird. Wegen der Verwendung zweier Propeller ist die übertragbare Leistung im Vergleich zu einem gleich großen einfach gebauten Schiffspropeller höher.

Dem gegenüber stehen jedoch aufgrund der höheren Komplexität des Antriebes größere Investitions- und Wartungskosten. Aufgrund der aus der Bauweise resultierenden erhöhten mechanischen Reibung ist der Wirkungsgradgewinn, welcher sich hydrodynamisch durch die Minimierung der kinematischen Verluste ergibt, jedoch überschaubar.<sup>1</sup>

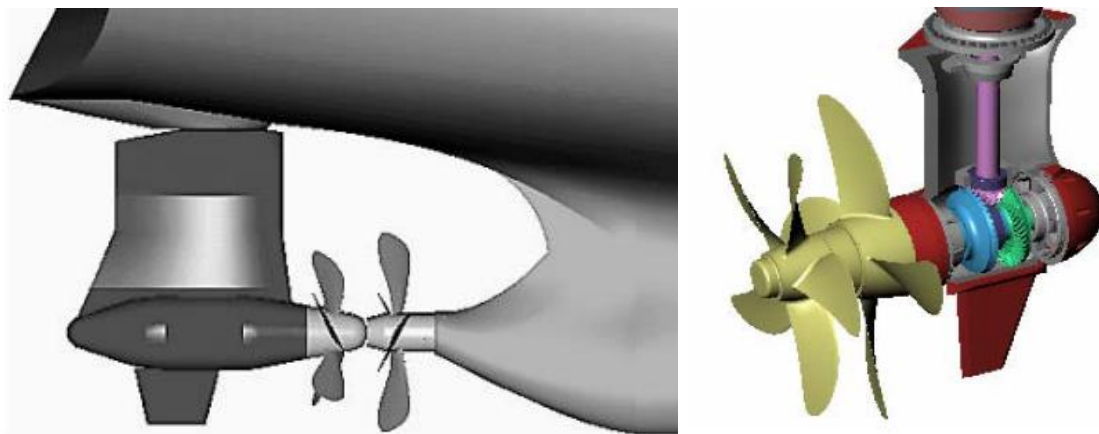


Abb. 1-1 CRP Propellergondel-Antrieb von Mitsubishi Heavy Industries; Ltd.<sup>2</sup> und Schematischer Aufbau des CR-Antriebes des japanischen Super Eco-Ship<sup>3</sup>

Eine weitere bereits bestehende Variante des CR-Prinzips ist die von Toshiaki Kanemoto und Shin Oba entwickelte CR-Pumpe, welche in Abb. 1-2 dargestellt ist. Sie wurde entwickelt, um die Stabilität der Kennlinie zu erhöhen und die Kavitationswerte zu verbessern.

<sup>1</sup> <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/61906/706827699.pdf?sequence=1>, 10.12.2013

<sup>2</sup> <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e416/e416338.pdf>, 22.11.2013

<sup>3</sup> [www.marinebiztv.com/shiptek08/download.php?a=Abdul%20Rahim](http://www.marinebiztv.com/shiptek08/download.php?a=Abdul%20Rahim), 22.11.2013

Grundsätzlich wird hierbei die Differenzdrehzahl der beiden gegenläufigen Rotoren konstant gehalten, wobei die mit dem zweiten Laufrad verbundene „Statorwicklung“ und die mit dem ersten Laufrad verbundene Rotorwicklung des Elektromotors in Bewegung sind. Der Aufbau dieser Axialpumpe ähnelt grundsätzlich jenem der in dieser Masterarbeit thematisierten CR-Pumpe, lediglich bezüglich Antrieb lässt sich noch keine Aussage treffen, welcher verwendet wird, da dies nicht Teil der Aufgabenstellung ist.

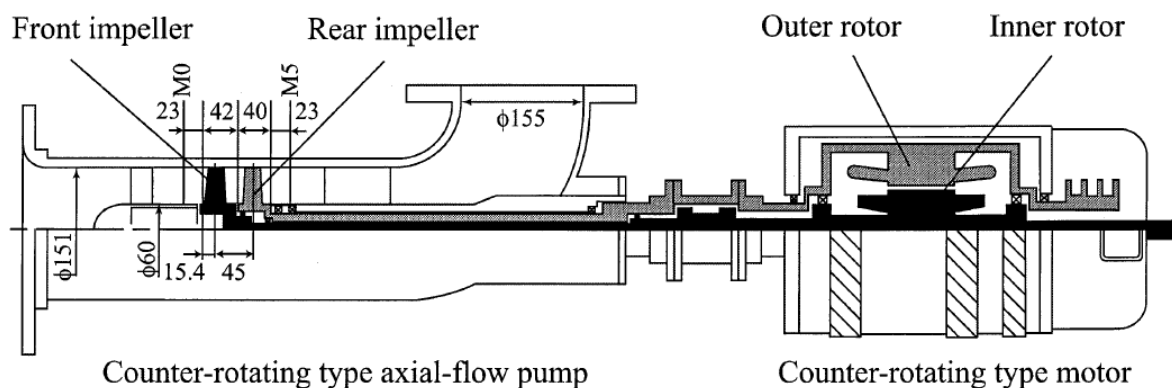


Abb. 1-2 Versuchsaufbau der Kanemoto-Oba CR-Pumpe<sup>4</sup>

Ausgehend von der durch ASTRÖ bereitgestellte Netzgeometrie eines Modells der in dieser Arbeit behandelten Axialpumpe mit gegenläufigen Rotoren („ContraRotate“ bzw. kurz „CR“) konnte mittels ANSYS CFX-Pre ein .def-File erstellt werden, welches die Grundlage der weiterführenden Berechnungen darstellt. In dieser Datei werden alle Parameter definiert, welche nötig sind, um eine CFD Simulation durchführen zu können.

Ziel der Masterarbeit ist es in erster Linie die hydraulischen Eigenschaften der ContraRotate Pumpe in einem sinnvollen Betriebsbereich der unterschiedlichen Drehzahlverhältnisse sowohl in dimensionsloser  $\varphi - \psi$  - Form, als auch in dimensionsbehafteter  $Q - H$  - Form darzustellen um die potentiellen Vorteile gegenüber einer herkömmlichen Pumpe in Erfahrung zu bringen. Zusätzlich gilt es, mittels Microsoft EXCEL ein einfach zu bedienendes Auslegungs-Tool für eine CR-Pumpe zu entwerfen, wo man mittels Eingabe der im Regelfall bekannten Größen Förderhöhe und Förderstrom alle notwendigen hydraulische Daten einerseits der CR-Pumpe und andererseits einer vergleichbaren Halbaxialpumpe erhält.

<sup>4</sup> [downloads.hindawi.com/journals/ijrm/2004/462402.pdf](http://downloads.hindawi.com/journals/ijrm/2004/462402.pdf), 22.11.2013

Bevor im nächsten Kapitel die wichtigsten theoretischen Grundlagen bezüglich der CR-Pumpe erläutert werden, sei auf Abb. 1-3 verwiesen, die mittels Geschwindigkeitsdreiecke die Funktion der gegenläufigen Axialpumpe veranschaulicht. Strichliert ist hierbei der Teillastbetrieb und dünn der Überlastbetrieb eingezeichnet. Der Austritt erfolgt bei geringerem Förderstrom mit Gleichdrall  $c_{2u} > 0$ , im Optimalpunkt drallfrei mit  $c_{2u} = 0$  und bei erhöhtem Förderstrom mit Gegendrall  $c_{2u} < 0$ .

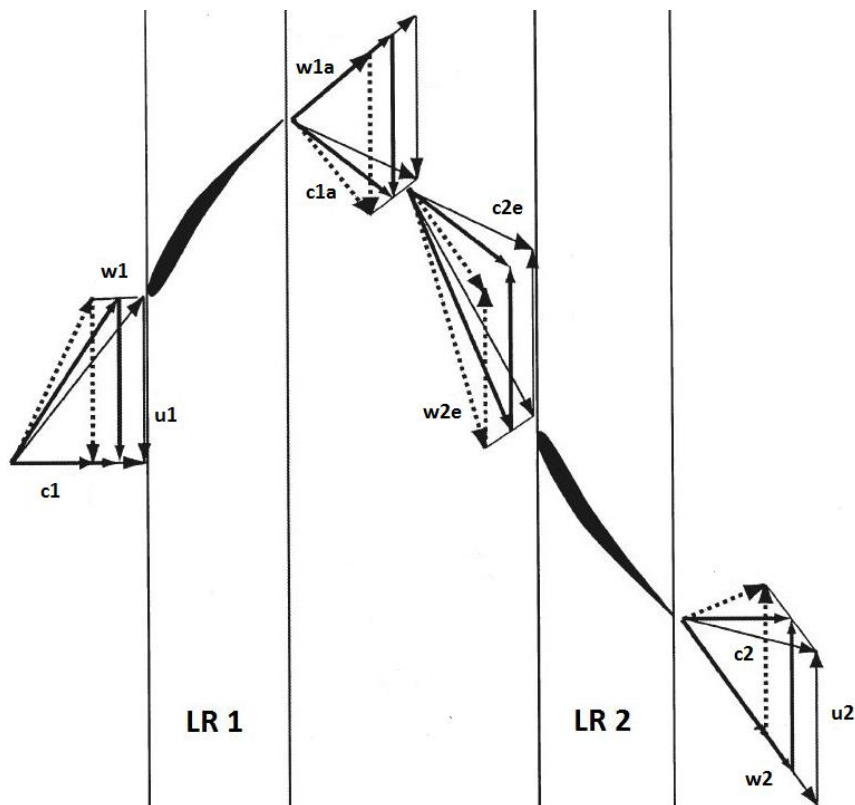


Abb. 1-3 Geschwindigkeitsdreiecke an der CR-Pumpe<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Vgl. [downloads.hindawi.com/journals/ijrm/2004/462402.pdf](http://downloads.hindawi.com/journals/ijrm/2004/462402.pdf), 22.11.2013

## 2 Hydraulische Grundlagen

In diesem Kapitel wird kurz auf die relevante Theorie die CR-Pumpe betreffend eingegangen. Der Vollständigkeit halber seien im ersten Unterkapitel der hydraulischen Grundlagen noch die wichtigsten allgemeinen formalen Zusammenhänge der zu Grunde liegenden Strömungslehre erwähnt.

### 2.1 Wichtige Zusammenhänge der Strömungslehre

Da das Hauptaugenmerk der Pumpenhydraulik und der CFD gilt, werden folgend die Hauptgleichungen der Strömungslehre nur kurz abgehandelt.

#### 2.1.1 Kontinuitätsgleichung

Die differentielle Formulierung der Kontinuitätsgleichung lautet<sup>6</sup>:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\vec{\nabla} \cdot \rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

Da das Arbeitsmedium der ContraRotate Pumpe Wasser ist und es aufgrund der Inkompressibilität zu keinen Dichteänderungen kommt, kann  $\rho = \text{const.}$  angenommen werden.

Weiters fällt der Term  $\frac{\partial \rho}{\partial t}$  in (1) weg, da von einer stationären Strömung ausgegangen werden kann. Somit kann geschrieben werden:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \quad (2)$$

Anders formuliert heißt das, dass entlang einer Strömung bestimmten Querschnitts der eintretende Volumenstrom  $\dot{V}_1$  gleich dem austretenden Volumenstrom  $\dot{V}_2$  ist, wobei gilt<sup>7</sup>:

$$\dot{V} = A \cdot c_m \quad (3)$$

---

<sup>6</sup> Vgl. Brenn, G. (2009), S.2.

<sup>7</sup> Vgl. Bohl, W. et al. (2004), S. 45.

Daher kann vereinfacht für eine inkompressible und stationäre Strömung die Kontinuitätsgleichung folgend angeschrieben werden:

$$A_1 \cdot c_{m1} = A_2 \cdot c_{m2} \quad (4)$$

### 2.1.2 Navier-Stokes-Gleichungen

Als Basis für die mathematische Berechnung von Fluidströmungen dienen die Navier-Stokesschen Gleichungen, welche für Newton'sche Fluide mit konstanter Dichte und Zähigkeit entsprechend (5), (6) und (7) lauten<sup>8</sup> und die Vorgänge in jedem Punkt einer Strömung durch partielle Differentialgleichungen beschreiben.

in x-Richtung

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\rho \partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + g_x \quad (5)$$

in y-Richtung

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\rho \partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) + g_y \quad (6)$$

und in z-Richtung

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\rho \partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + g_z \quad (7)$$

Aufgrund der Komplexität der Gleichungen ist eine analytische Lösung im Allgemeinen nicht möglich. Daher werden die Knotenpunkte eines über das Rechenggebiet gelegten Gitternetzes numerisch mittels der bei ASTRÖ verwendeten CFD-Software ANSYS CFX angenähert.

---

<sup>8</sup> Vgl. Brenn, G. (2009), S.4.

## 2.2 Druckziffer

Eine sehr wichtige dimensionslose Größe, welche vor allem bei Strömungsarbeitsmaschinen benutzt wird<sup>9</sup>, ist die Druckziffer (auch Druckzahl)  $\psi$ . Sie ist eine Kenngröße für den spezifischen Energieumsatz in einer Stufe<sup>10</sup> und ist entsprechend Gleichung (8) abhängig von der spezifische Stutzenarbeit  $Y$  und der Umfangsgeschwindigkeit  $u$  am Außendurchmesser zum Quadrat.

$$\psi = \frac{Y}{\frac{u^2}{2}} \quad (8)$$

Da die spezifische Stutzenarbeit  $Y$  das Produkt aus Erdbeschleunigung  $g$  und Förderhöhe  $H$  ist lässt sich die Druckzahl allgemein wie folgt anschreiben<sup>11</sup>:

$$\psi = \frac{g \cdot H}{\frac{u^2}{2}} \quad (9)$$

Für den speziellen Fall der ContraRotate Pumpe lassen sich eine Druckziffer  $\psi_1$  bezüglich des ersten und eine Druckziffer  $\psi_2$  bezüglich des zweiten Laufrads bestimmen. Die Werte hierfür ergeben sich aus dem Einsetzen der jeweiligen Teilförderhöhe und der entsprechenden Umfangsgeschwindigkeit in (9).

Die Umfangsgeschwindigkeit ergibt sich entsprechend Gleichung (10)<sup>12</sup> aus dem Außendurchmesser  $D$  und der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , wobei die Außendurchmesser der beiden gegenläufigen Laufräder in dieser Arbeit als ident betrachtet werden.

$$u = \frac{D}{2} \cdot \omega \quad (10)$$

Da sich die Winkelgeschwindigkeit durch die Drehzahl  $n$  multipliziert mit  $\frac{2 \cdot \pi}{60}$  ersetzen lässt, ergibt sich für die Umfangsgeschwindigkeit:

$$u = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (11)$$

<sup>9</sup> Vgl. Bohl, W. et al. (2004), S. 70.

<sup>10</sup> Vgl. Sigloch, H. (1993), S.95.

<sup>11</sup> Vgl. Sigloch, H. (1993), S.95.

<sup>12</sup> Vgl. Bohl, W. et al. (2004), S. 44.

Nach Einsetzen von (11) in (9) erhält man für die Druckziffer in Abhängigkeit der grundlegenden Parameter  $H$ ,  $D$  und  $n$  (in U/min):

$$\psi = \frac{7200 \cdot g \cdot H}{D^2 \cdot \pi^2 \cdot n^2} \quad (12)$$

### 2.3 Durchflusszahl

Eine weitere unabdingbare dimensionslose Größe im Bereich der Strömungsmaschinen-auslegung ist die sogenannte Durchflusszahl (auch Volumenzahl oder Lieferzahl<sup>13</sup>)  $\varphi$ . Sie beschreibt das Verhältnis von Meridiangeschwindigkeit  $c_m$  zu Umfangsgeschwindigkeit  $u$ .

$$\varphi = \frac{c_m}{u} \quad (13)$$

Durch entsprechendes Umformen der Gleichung (3), wobei für den Volumenstrom  $\dot{V}$  der Förderstrom  $Q$  eingesetzt wird, ergibt sich für die Meridiangeschwindigkeit

$$c_m = \frac{Q}{A} \quad (14)$$

und damit in weiterer Folge für die Förderziffer:

$$\varphi = \frac{Q}{A \cdot u} \quad (15)$$

In Abhängigkeit der Parameter  $Q$ ,  $D$  und  $n$  (in U/min) lässt sich  $\varphi$  folgend anschreiben:

$$\varphi = \frac{240 \cdot Q}{D^3 \cdot \pi^2 \cdot n} \quad (16)$$

Wie zuvor bei der Druckziffer lässt sich auch die Durchflusszahl bei der ContraRotate Pumpe entsprechend der Laufräder in ein  $\varphi_1$  und ein  $\varphi_2$  unterteilen. Aus Vergleichbarkeitsgründen erfolgt jedoch in den weiteren Kapiteln der Bezug ausschließlich auf das erste Laufrad.

---

<sup>13</sup> Vgl. Bohl, W. et al. (2004), S. 69.



## 2.4 Spezifische Drehzahl

Um unterschiedliche Radformen besser vergleichen zu können, wurde eine von der Größenordnung des Laufrades unabhängige Kennzahl eingeführt: die spezifische Drehzahl  $n_q$  bzw  $n_s$ , welche folgendermaßen definiert ist<sup>14</sup>:

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (17)$$

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (18)$$

Grundsätzlich gibt es laut Pfeleiderer<sup>15</sup> vier verschiedene Arten von Radialrädern, welche eingeteilt sind in:

- Radform I (langsamläufiges Radialrad)  $n_q = 10$  bis  $30$
- Radform II (mittelläufiges Radialrad)  $n_q = 30$  bis  $60$
- Radform III (Halbaxialrad)  $n_q = 50$  bis  $150$
- Radform IV (Schnellstläufer)  $n_q = 110$  bis  $500$  und höher

Entsprechend dieser Einteilung lässt sich die CR-Pumpe, trotz seiner axialer Ausführung, mit Radform III vergleichen, da der bei ANDRITZ AG in erster Linie verwendete  $n_s$ -Wert in der Größenordnung von 220 bis 250 liegt, welches wiederum einen  $n_q$ -Bereich von etwa 60 bis 70 bedeutet.

---

<sup>14</sup> Vgl. Pfeleiderer, C. (1990), S. 84.

<sup>15</sup> Pfeleiderer, C. (1990), S. 85.

## 2.5 Kavitation

„Unter Kavitation versteht man das Entstehen mit nachfolgendem Zusammenbrechen dampfgefüllter Hohlräume in der Flüssigkeitsströmung“<sup>16</sup>, das an hydraulischen Strömungsmaschinen negative Auswirkungen hat, da aufgrund der so entstehenden 2-Phasen-Strömung es wegen der Änderung der effektiven Strömungsquerschnitte zu Wirkungsgradabfall oder Förderhöhenabnahme kommt. Weiters können starke Schwingungen, sowie laute Geräusche entstehen.<sup>17</sup>

Bei lokalem Abfall des statischen Absolutdrucks der Flüssigkeitsströmung (bei etwa gleich bleibender Temperatur) unter den Dampfdruck kommt es entsprechend Abb. 2-1A meist in Wandnähe zur Dampfblasenbildung. In weiterer Folge brechen die in Strömungsrichtung weitergewanderten Blasen nach neuerlichem Druckanstieg in sich zusammen (Abb. 2-1B).

Da das Zusammenbrechen sehr schnell vonstatten geht, werden die Flüssigkeitsteilchen regelrecht gegen die Wand geschleudert wodurch es zu Werkstoffzerstörung kommen kann (Abb. 2-1C)<sup>18</sup>.

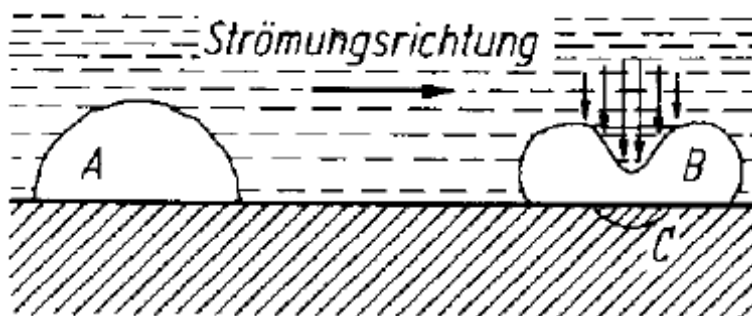


Abb. 2-1 A: Entstehung der Dampfblase, B: Zusammenbrechen der Dampfblase, C: Werkstoffzerstörung<sup>19</sup>

In Abb. 2-2 erkennt man anhand eines Rotorblattes einer Pumpe die zwei Stellen, wo Kavitation auftritt. Bei einem geringen Förderstrom und in weiterer Folge geringen Meridiangeschwindigkeit kommt es zu saugseitiger Kavitation, wohingegen bei höherem Förderstrom aufgrund des flacheren Anströmwinkels druckseitige Kavitation folgt. Diese

<sup>16</sup> Pfeleiderer, C. (1990), S. 95.

<sup>17</sup> Vgl. Bohl, W. et al. (2004), S. 83.

<sup>18</sup> Pfeleiderer, C. (1990), S. 95.

<sup>19</sup> Ebenda.

Tatsache führt zu der charakteristischen Wannenkurve, welche später bei den Berechnungsergebnissen behandelt und veranschaulicht wird.

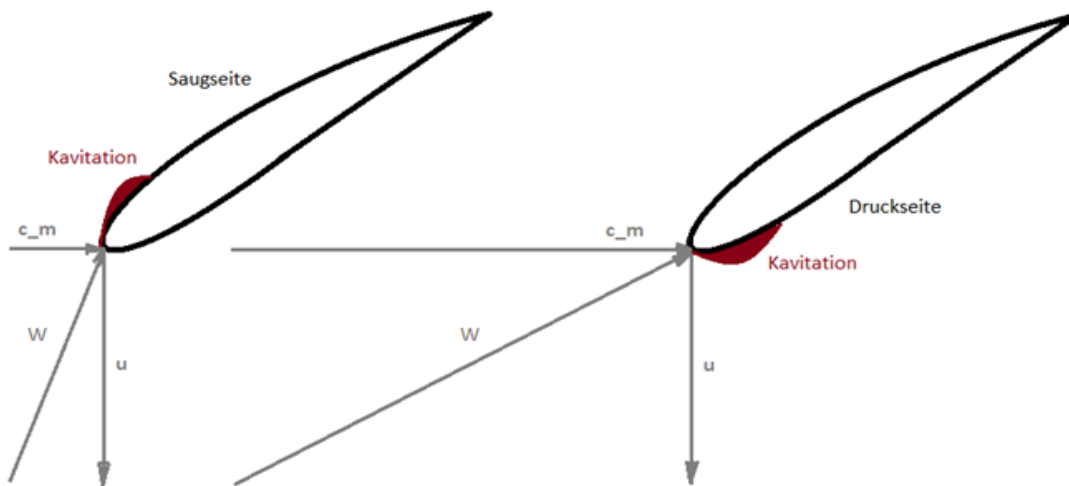


Abb. 2-2 Darstellung der saugseitigen und druckseitigen Kavitation

Um die Kavitation zahlenmäßig erfassen zu können gibt es Kennwerte die Anlage betreffend und Kennwerte die Pumpe betreffend, welche in den folgenden Unterpunkten näher ausgeführt sind.

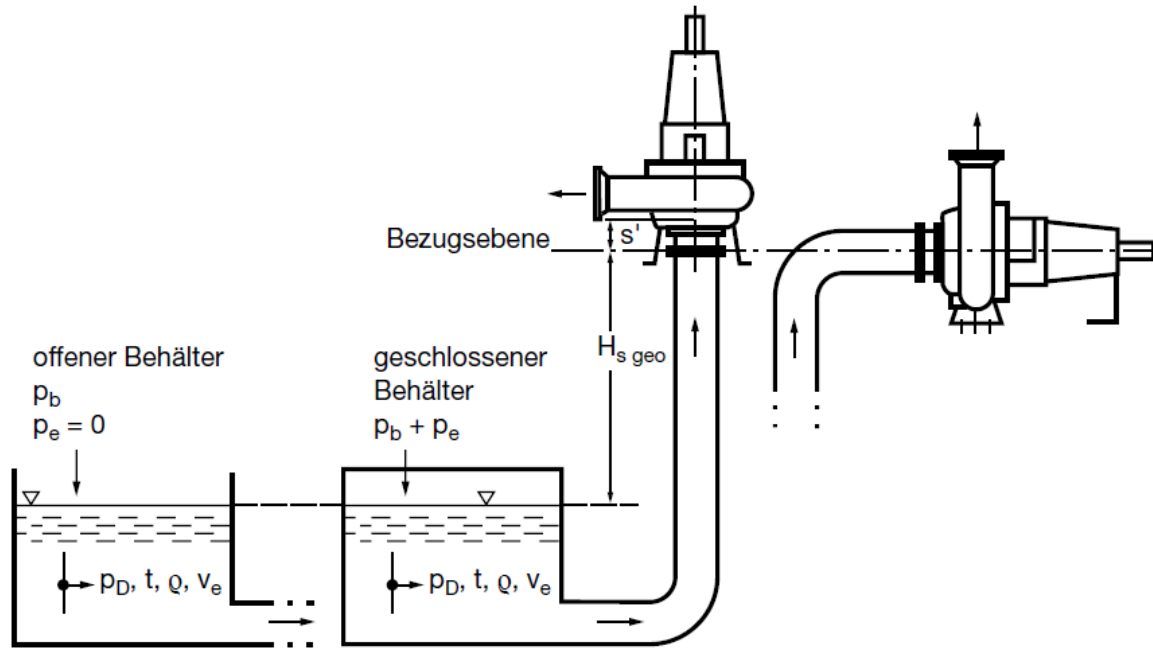
### 2.5.1 Anlagen NPSH-Wert

Die vorhandene Druckdifferenz zwischen dem Gesamtdruck der zu fördernden Flüssigkeit an der Mitte des Pumpeneinlaufstutzens und dem Dampfdruck gemessen in Meter wird NPSHA- bzw NPSH<sub>vorh</sub>-Wert genannt und dient als Maß für die Verdampfungsgefahr. Der NPSHA-Wert ist nur von den Anlagedaten abhängig und lässt sich entsprechend (19) und (20) berechnen.

Wenn sich die Pumpe oberhalb des saugseitigen Flüssigkeitsspiegel befindet, also im Saugbetrieb ist, erfolgt die Berechnung des NPSHA-Wert folgend<sup>20</sup>:

$$NPSHA = \frac{(p_e + p_b - p_D)}{\rho \cdot g} + \frac{v_e^2}{2 \cdot g} - H_{v,s} - H_{s,geo} \pm s' \quad (19)$$

<sup>20</sup> Pfleiderer, C. (1990), S. 95.

Abb. 2-3 Ermittlung des NPSHA-Wert bei Saugbetrieb<sup>21</sup>

Bei Zulaufbetrieb erhält die Höhendifferenz zwischen Flüssigkeitsspiegel im Saugbehälter und Mitte des Pumpsaugstutzens ein positives Vorzeichen in (19), woraus sich demnach folgende Gleichung ergibt:

$$NPSHA = \frac{(p_e + p_b - p_D)}{\rho \cdot g} + \frac{v_e^2}{2 \cdot g} - H_{v,s} + H_{s,geo} \pm s' \quad (20)$$

## 2.5.2 Pumpen NPSH-Wert

Der NPSHR- bzw.  $NPSH_{erf}$ -Wert „gibt an, um wie viel die Netto-Energiehöhe in der Bezugsebene des Laufradeintrittsquerschnittes [...] über der Dampfdruckhöhe der Förderflüssigkeit liegen muss, um ein einwandfreies Arbeiten der Pumpe zu gewährleisten.“<sup>22</sup> Dieser Wert bestimmt daher abhängig vom Kavitationskriterium den Kavitationszustand der Pumpe.

Für die Auslegung der Pumpe gilt zu beachten:

$$NPSHA > NPSHR \quad (21)$$

<sup>21</sup> KSB (2005), S.43.

<sup>22</sup> Bohl, W. et al. (2004), S. 108.

Aufgrund der relativ einfachen Messbarkeit und empirischer Vergleichsdaten von ASTRÖ, wurden als Kavitationskriterium  $NPSH_{2.75\text{cm}^2}$  und das strengere  $NPSH_{1\text{cm}^2}$  gewählt, wobei  $NPSH_{2.75\text{cm}^2}$  in etwa dem etablierten  $NPSH_{3\%}$  entspricht, bei welchem es einen Förderhöhenabfall von 3% gegenüber kavitationsfreien Betrieb gibt. Dies ist anhand Abb. 2-4 erkennbar, wo der mittels Modellprüfstand ermittelte Verlauf der Kavitation von erstem Auftreten der Dampfblasen bis hin zu Förderhöhenverlust dargestellt wird.

Die Indices 1 und 2,75 bei den von ASTRÖ verwendeten NPSHR-Werten geben die Projektionsfläche einer Dampfblase in  $\text{cm}^2$  an, welche im Versuch am Modellprüfstand durch ein Guckloch mittels einem Raster ausreichend genau abgelesen werden kann.

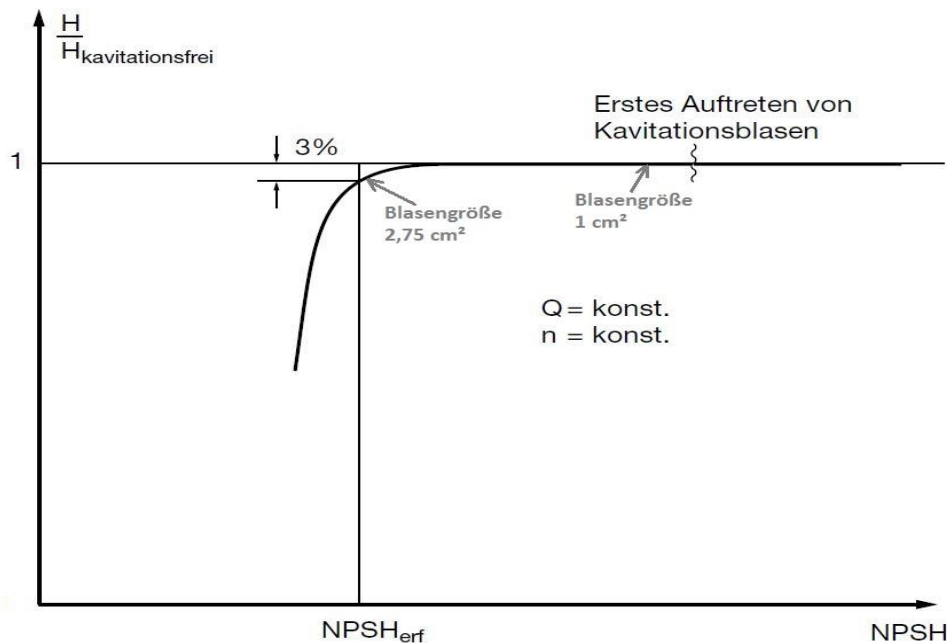


Abb. 2-4 Experimentelle Ermittlung von  $NPSH_{\text{erf}}$  (NPSHR) für Kavitationskriterium  $NPSH_{3\%}$ <sup>23</sup>

Für die in dieser Arbeit thematisierten CR-Pumpe wurden die jeweiligen durch Rechnung ermittelten NPSHR-Werte von firmeninternen Macros ausgewertet. Im Normalfall erfolgt in ANSYS CFX die Ermittlung der NPSHR-Werte mittels Funktion der Isoflächen. Hierbei werden für verschieden Druckniveaus die Größe der Isoflächen in Form einer Tabelle der Fläche über den Druck ausgegeben, woraus man in weiterer Folge durch Interpolation das zugehörige lokale Druckniveau zu einer vorgegebenen Flächengröße, welche der Blasengröße entspricht, erhält.

<sup>23</sup> KSB (2005), S.44.

### 2.5.3 Dimensionsloser Kavitationskennwert $\psi_c$

Entsprechend Gleichung (9) lässt sich der kavitationsrelevante NPSHR-Wert dimensionslos machen.

$$\psi_c = \frac{g \cdot NPSHR}{\frac{u^2}{2}} \quad (22)$$

Mittels dieser Form lassen sich dimensionslose  $\varphi - \psi$  - Kennlinien durch die beckenförmige Kavitationskurve erweitern.

### 2.5.4 Thoma-Zahl $\sigma$

Eine weitere dimensionslose Größe zum Vergleich und zur Auslegung von hydraulischen Strömungsmaschinen ist die in (23) definierte Thoma-Zahl.

$$\sigma = \frac{NPSHR}{H} = \frac{\psi_c}{\psi} \quad (23)$$

Entsprechend dem zu Grunde liegenden Kavitationskriterium ergeben sich verschiedene  $\sigma$ -Werte.

### 2.5.5 Drehzahlverhältnis

Einer der Hauptparameter, welcher die hydraulischen Eigenschaften der hier dargelegten CR-Pumpe beschreibt ist das in (24) definierte Drehzahlverhältnis  $i$ .

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (24)$$

### 3 Numerische Untersuchung

Wie zuvor erwähnt ist das Hauptziel dieser Masterarbeit ein Auslegungs-Tool für die in Entwicklung befindliche CR-Pumpe. Um nun die Basisdaten für ein solches Tool zu erhalten, muss für eine Vielzahl von Drehzahlverhältnisvarianten eine CFD-Rechnung eines Modells durchgeführt werden. Die dafür notwendige Netzgeometrie, worauf in folgendem Unterkapitel eingegangen wird, wurde firmenintern bereitgestellt. Hierfür ist die Schaufelgeometrie eines anderen ANDRITZ AG Projektes entsprechend adaptiert worden.

#### 3.1 Gittergenerierung

Die wichtigsten Arten von numerischen Netzgittern, welche für CFD-Simulationen verwendet werden sind zum einen strukturierte und zum anderen unstrukturierte Gitter.<sup>24</sup> Der CFX-Solver berücksichtigt jedoch bei der Berechnung die Struktur nicht. Für die Generierung des strukturierten Hexahedra-Gitters (Abb. 3-1 und Abb. 3-2) wurde der firmeninterne Gittergenerator von ASTRÖ verwendet.

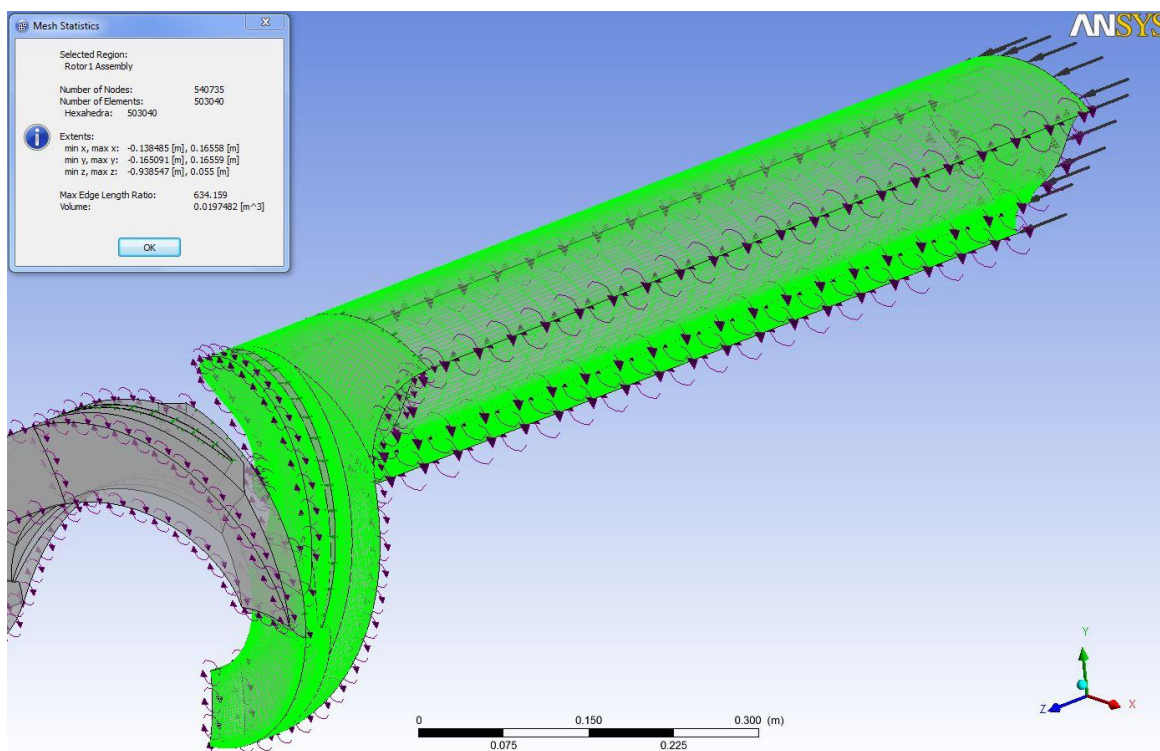


Abb. 3-1 Strukturierte Hexahedra-Gitter von Einlauf und LR1

<sup>24</sup> Vgl. Ferziger J. H.; Peric M. (2001), S. 26f.

Aufgrund der Annahme von Rotationssymmetrie der CR-Pumpe, kann zur Vereinfachung der Berechnung die Modelleierung des Pumpenmodells auf ein Viertel reduziert werden.

Das in Abb. 3-1 angezeigte Viertel des Einlaufs der CR-Pumpe und des erste Laufrades sind in Summe aus etwa 540.000 Knoten bei circa 500.000 Elementen aufgebaut. Selbiges gilt für den Auslauf und das zweite Laufrad.

Das Viertel des Spaltes am LR1 und LR 2 bestehen je aus circa 19.000 Knoten bei etwa 16.000 Elementen.

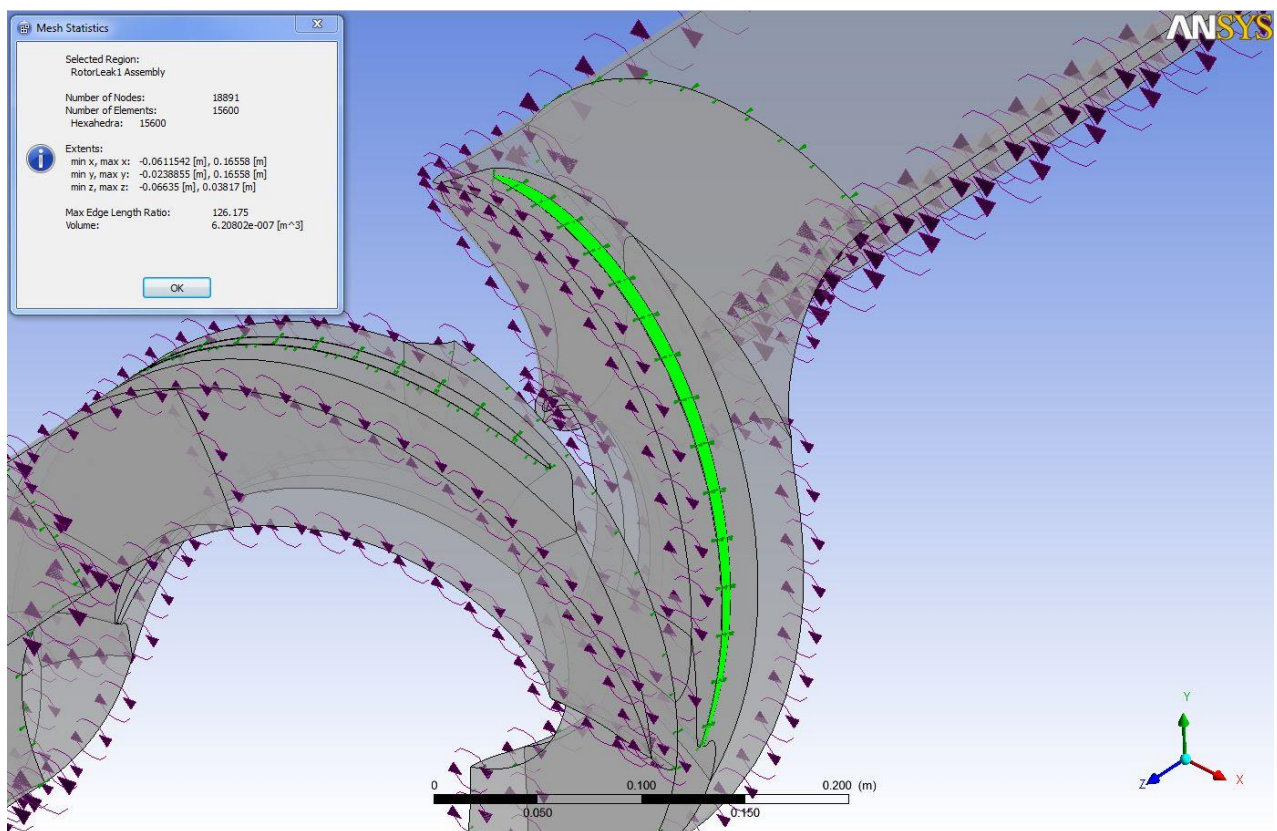


Abb. 3-2 Strukturiertes Hexahedra-Gitter des Spaltes

Da das Netzgitter des CR Modells jedoch bereits vorgegeben war, sei in dieser Arbeit nicht mehr näher darauf eingegangen.



## 3.2 Pre-Processing

Grundsätzlich ist das zu berechnende Modellviertel der CR-Pumpe aufgebaut aus vier Komponenten (domains), welche in Abb. 3-3 zu erkennen sind: Einlass (*intake*), *LR1*, *LR2* und Auslass (*outlet*).

Die Komponente *intake* setzt sich zusammen aus der Einlassfläche *in*, welche die Eintrittsgeschwindigkeit (bzw damit verbunden den Förderstrom) als boundary condition vorgibt, der aus Vereinfachungsgründen der Berechnung dargestellten Einlassnabe *intake hub* und dem Einlasskranz *intake shroud*, die als Wand (boundary type wall) definiert sind. Die zum *intake* gehörenden Schnittstellen (interfaces) sind als stage definiert.

Das *outlet* ist ähnlich dem *intake* aufgebaut, jedoch mit dem Unterschied, dass es statt der Einlassfläche eben eine Auslassfläche gibt, welche einen statischen Relativdruck von 0 Pa vorgegeben bekommt.

Die beiden mittleren domains *LR1* und *LR2* bestehen je aus den als wall definierten Nabe (*hub*), Kranz (*shroud*) und Schaufel (*blade*), sowie den interfaces zu den anderen domains und dem Spalt (*leak*).

Damit für die weitere Berechnung das ganze Modell berücksichtigt wird, sind an den entsprechenden Stellen innen interfaces für die Rotationsperiodizität der vier Modellviertel definiert.

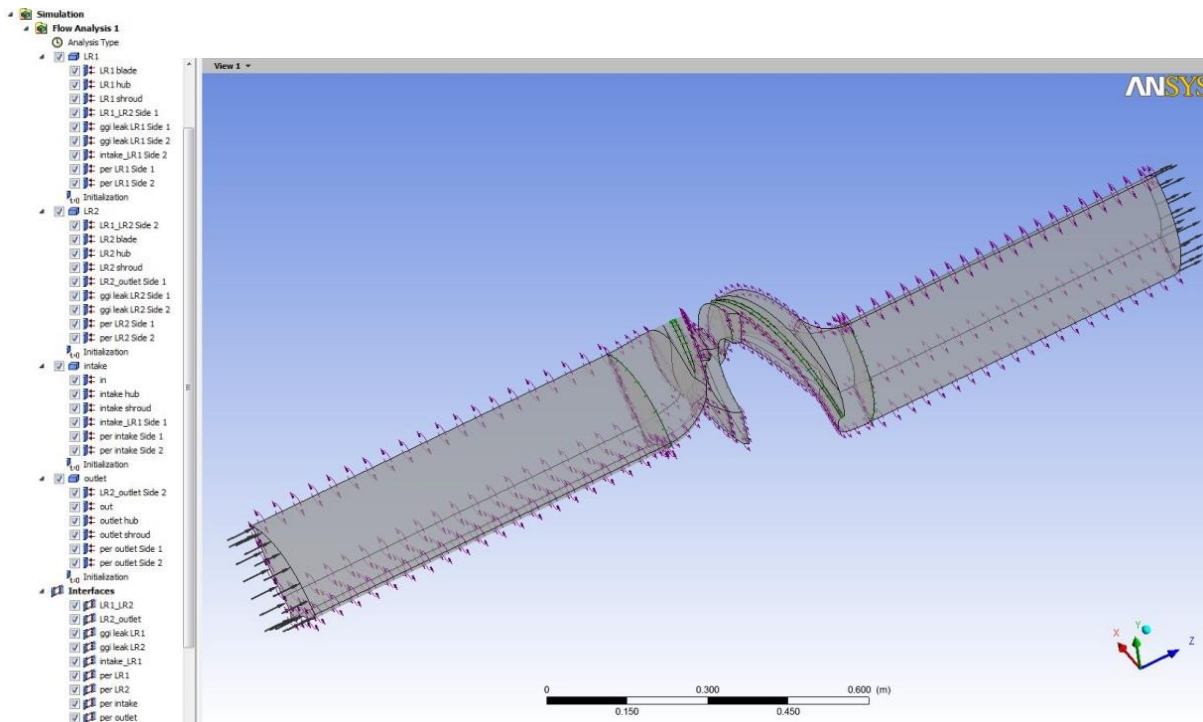


Abb. 3-3 Modellviertel der CR-Pumpe in ANSYS CFX-Pre

Die verwendeten Grundeinstellungen für die Solver Steuerung (solver control) sind folgend ausgeführt.

Als Interfacetyp wurde Stage verwendet, hierbei erfolgt eine Mittelung der Strömungsgrößen über den Umfang, sie werden anschließend der Schnittstelle (interface) übergeben. Aufgrund der Mittelung kann jedoch die aktuelle Position zum rotierenden Bezugssystems nicht berücksichtigt werden und darf daher im Gegensatz zu Frozen Rotor nur für axialsymmetrische stationäre Probleme verwendet werden.<sup>25</sup>

Als Turbulenzmodell, welches die Verteilung der Reynolds-Spannungen beschreibt, ist das  $k-\omega$ -Modell voreingestellt gewesen. Bei diesem Modell handelt es sich um ein Zwei-Gleichungs-Turbulenzmodell, bei welchem es gilt einerseits eine Transportgleichung für die spezifische kinetische Energie  $k$  und andererseits eine Transportgleichung für die Frequenz der „großen“ Wirbel  $\omega$  zu lösen. Dieses Modell wurde speziell zur Berechnung von Fluidbewegung gegen einen großen Druckanstieg in Strömungsrichtung entwickelt. Die Stärke des  $k-\omega$ -Modells liegt unter anderem darin, dass es die Vorgänge in Wandnähe sehr gut beschreibt.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Vgl. [http://www.cadfeem.at/fileadmin/files/9\\_service\\_newsletter/2005/0507/rotcfx.pdf](http://www.cadfeem.at/fileadmin/files/9_service_newsletter/2005/0507/rotcfx.pdf), 09.10.2013

<sup>26</sup> Vgl. Gülich, J. F. (2010); S. 453f.

Zur räumlichen Diskretisierung wird in CFX-Pre ein High-Resolution-Schema erster Ordnung gewählt. Als Konvergenzkriterium fällt die Wahl auf MAX im Vergleich zum Typ RMS (Root Mean Square) und als Residuumsziel (Residual Target) ist 0,0004 gesetzt.

Weiters sei noch erwähnt, dass die Bedeutung des  $y^+$  Wertes, welcher ein Kennwert der Gitterqualität in der Grenzschicht ist, bei der numerischen Untersuchung dieser CR-Pumpe nicht als vorrangig angesehen wird. Dies rührt daher, dass im Zuge dieser Masterarbeit die Ergebnisse der CR-Pumpe mit jenen der später erwähnten AmuZang und Thotapally Pumpen relativ zueinander mit den gleichen vorgegebenen Gittereinstellungen verglichen werden.

Der Vollständigkeit halber ist in Abb. 3-4 eine  $y^+$  Darstellung von LR1 und LR2 angezeigt, aus welcher man den  $y^+$  Bereich ablesen kann.

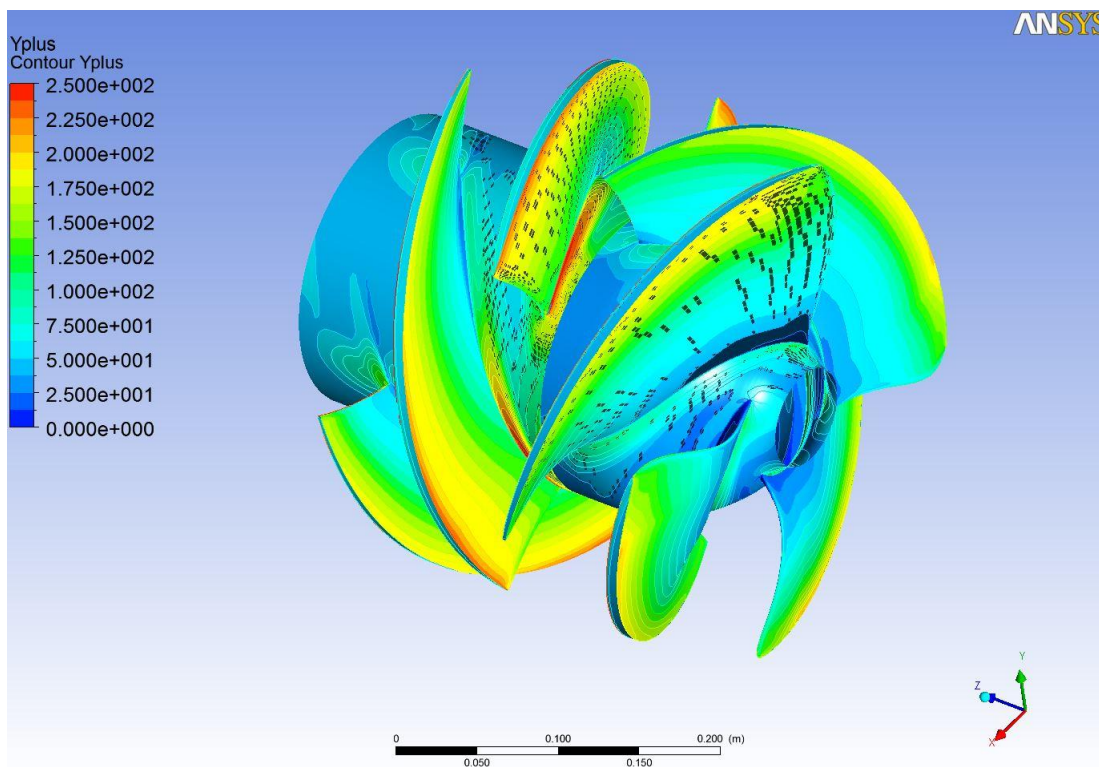


Abb. 3-4  $y^+$  Konturen-Darstellung von LR1 und LR2

### 3.3 Solver

Da nun das CR-Modell in ANSYS CFX-Pre in einem Definition-File (\*.def-File) bestimmt ist, gilt es als nächsten Schritt die Strömung über den Betriebsbereich der Pumpe numerisch zu berechnen. Hierfür wird einerseits der Förderstrom über die Eintrittsgeschwindigkeit am *intake* und andererseits das Drehzahlverhältnis der beiden gegenläufigen Rotoren zueinander mittels Eingabe der Startbedingungen im firmeninternen Launch-xls-Files variiert. Dieses

Launch-File gibt dem Solver die notwendigen Informationen, wie Anzahl der Rechenprozessoren, um die numerische Berechnung des CFD-Modells starten zu können.

Da es bisher noch keine Erfahrungswerte mit einer drehzahlverhältnisgesteuerten CR-Pumpe gab, muss erst ein Feld von Drehzahlverhältnissen abgesteckt werden, welche einen Betrieb rechtfertigen. Als Ausgangsdrehzahl bei einem Verhältnis  $i$  von -1 wurde eine Standard-Synchrondrehzahl  $n_1$  von 1450 U/min gewählt. Die Drehzahlen von LR1 und LR2 liegen bei den berechneten Verhältnissen -0,4; -0,6; -0,75; -0,83; -0,9; -1,1; -1,17; -1,25; -1,4; -1,6; -1,8; -2 und -3 entsprechend Abb. 3-5 je halbsymmetrisch um 1450 U/min zueinander, sodass die betragsmäßige Summe beider Drehzahlen 2900 U/min ergibt.

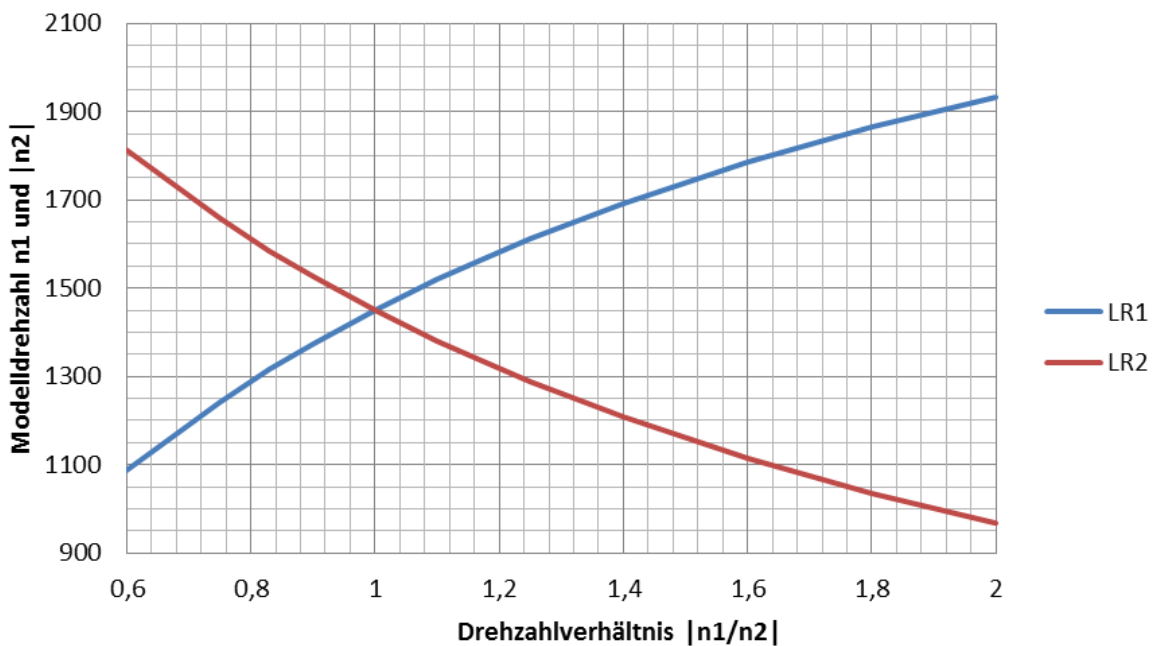


Abb. 3-5 Modellgeschwindigkeiten  $n_1$  und  $|n_2|$  über Drehzahlverhältnis  $|\frac{n_1}{n_2}|$

Aus jedem berechneten Betriebspunkt sämtlicher per Launch-File dem Solver gespeisten Drehzahlverhältnisse  $\frac{n_1}{n_2}$  und Eintrittsgeschwindigkeiten  $c_1$  ergibt sich ein Result-File (\*.res-file), welches für das Post-Processing verwendet wird.

Bevor jedoch ein Result-File für das Post-Processing freigegeben werden kann, muss darauf geachtet werden, dass ausreichend Iterationsschritte für eine Konvergenz gemacht wurden.

Mittels der ausgelesenen User Monitor Datei, welche in Abb. 3-6 für einen Betriebspunkt dargestellt ist, kann auf hinreichende Konvergenz überprüft werden. Sollte die numerische Berechnung noch nicht auskonvergiert sein, so lassen sich mittels Launch-File weitere Iterationsschritte an die bisherige, nicht auskonvergierte, Berechnung (Startlösung) anhängen.

Die aufgrund von Erfahrungswerten von ASTRÖ beanschlagten 300 Iterationsschritte erwiesen sich bei einem Großteil der berechneten Betriebspunkten als ausreichend.

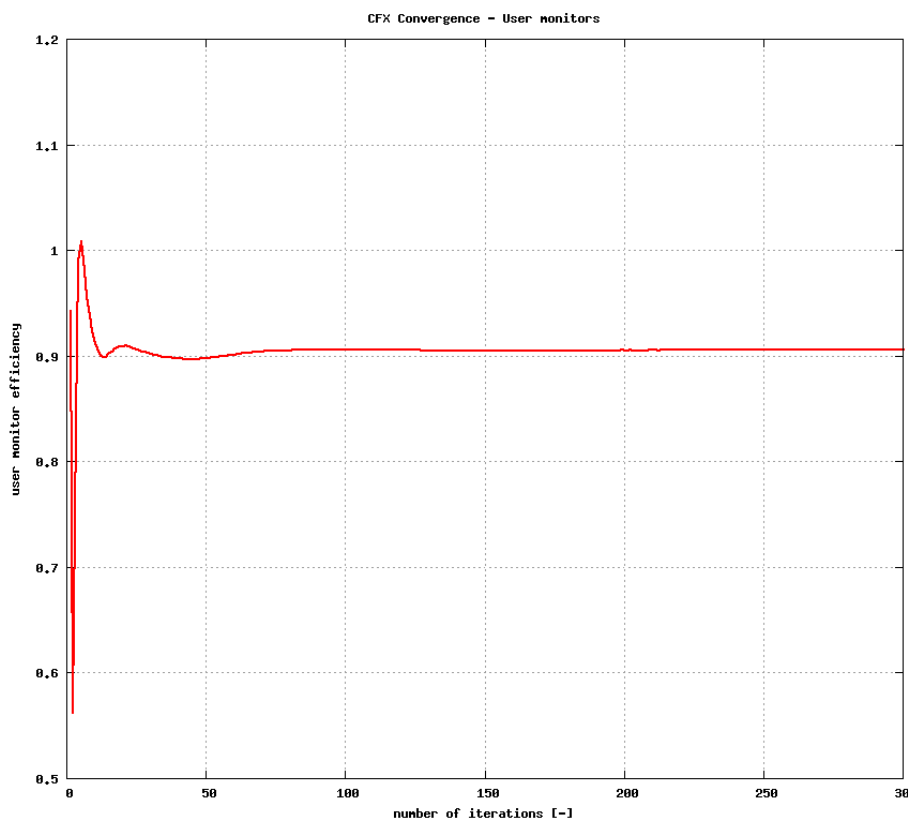


Abb. 3-6 Konvergenz Monitor des Wirkungsgrades bei  $\frac{n_1}{n_2} = -1$  und  $c_1 = 4,5 \frac{m}{s}$

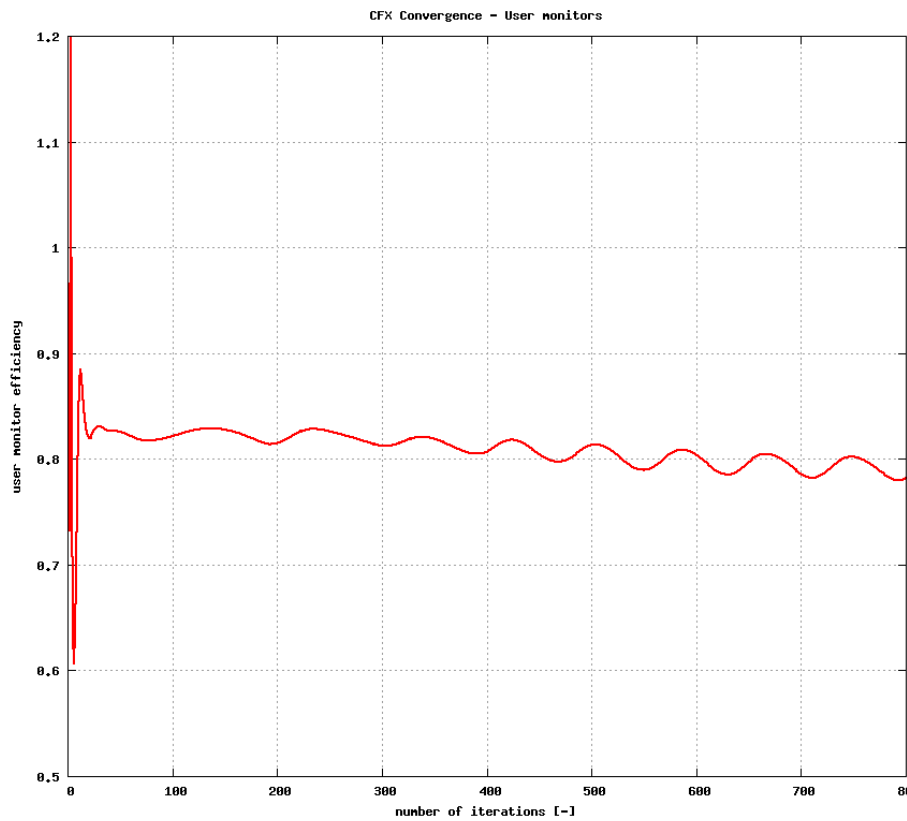


Abb. 3-7 Konvergenz Monitor des Wirkungsgrades bei  $\frac{n_1}{n_2} = -1,17$  und  $c_1 = 3,38 \frac{m}{s}$

Wie in Abb. 3-7 veranschaulicht zeigt sich jedoch, dass bei einer verhältnismäßig geringen Eintrittsgeschwindigkeit von  $3,19 \frac{m}{s}$  bis  $3,56 \frac{m}{s}$  bei Drehzahlverhältnissen von  $|\frac{n_1}{n_2}| \geq 1$  auch mehr Iterationsschritte nicht zu einer Konvergenz führen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in diesem Bereich aufgrund der niederen Fördermenge die Pumpen-Stabilitätsschranke erreicht wurde.

### 3.4 Post-Processing

Wie oben schon angeführt, kann mit dem Post-Processing begonnen werden, sobald fertig berechnete Ergebnisse vorliegen. Einerseits können hierbei die berechneten Betriebspunkte der CR-Pumpe mittels ANSYS CFX-Post grafisch aufbearbeitet und in weitere Folge analysiert werden und andererseits werden mit dem Microsoft EXCEL Post-Batch-File alle relevanten hydraulischen Größen des berechneten Modells ausgegeben.

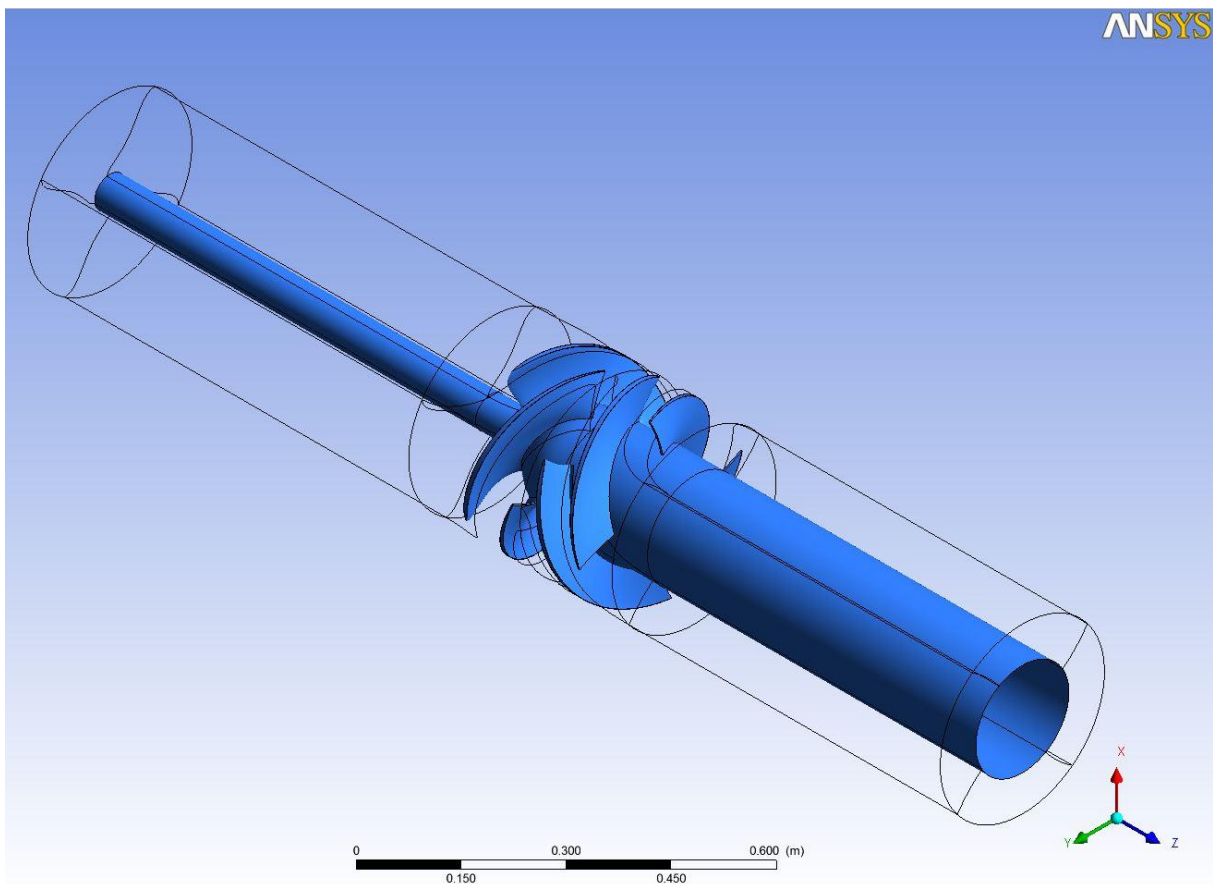


Abb. 3-8 Das aus vier Modellvierteln zusammengesetzte CR-Modell in ANSYS CFX-Post dargestellt mit Einlaufnabe

In Abb. 3-8 ist das in CFX-Post eingelesene und dargestellte CR-Modell mit der zur vereinfachten Berechnung hinzugefügten Einlaufnabe zu sehen.

In dieser Arbeit wurden in erster Linie quantitative Daten wie Wirkungsgrad oder kavitationsrelevante Zahlen aus der CFD-Simulation ausgewertet und über den Betriebsbereich in Kennfelder gezeichnet. Das in Abb. 3-9 dargestellte Bild des Modells soll zur Veranschaulichung qualitativ den Drall in der Abströmung zeigen.

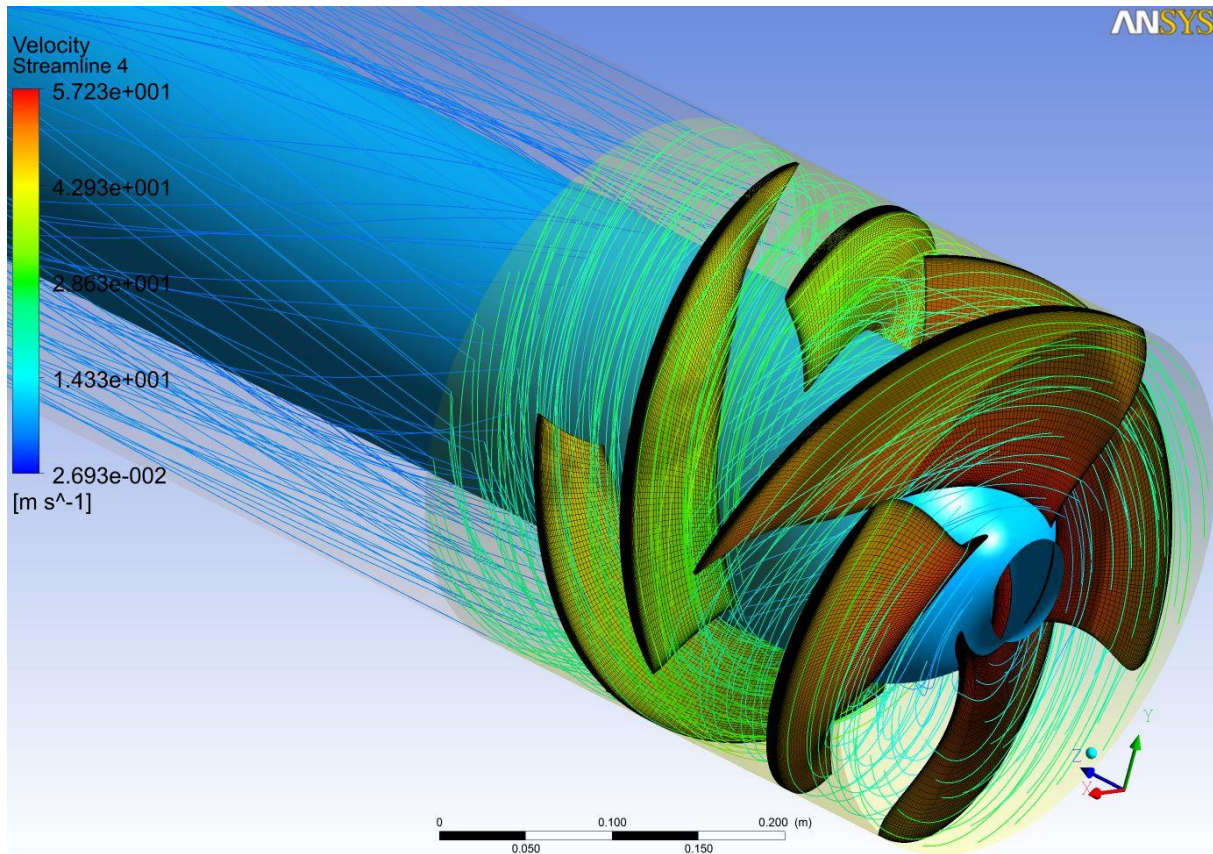


Abb. 3-9 *LR1*, *LR2* und *outlet* in ANSYS CFX-Post dargestellt ohne Einlaufnabe und mit Stromlinien zur Veranschaulichung des Dralls in der Abströmung

Wie bereits erwähnt gilt es im nächsten Schritt ein Auslegungstool für CR-Pumpen mittels Microsoft EXCEL zu schaffen. Um die hydraulischen Rohdaten aller berechneten Drehzahlverhältnisse für das Auslegungstool zu erhalten, wird das in den Tabellen 3-1 bis 3-5 gezeigte Post-Batch-File benutzt, welches zur besseren Darstellung aufgeteilt wurde in die Teile A bis D.

Bevor die daraus erhaltenen Daten des CFD-Modells für das Auslegungs-Tool verwendet werden können, müssen die Ergebnisdaten aus der Berechnung eingelesen werden.

Anschließend werden alle im Post-Batch-File hinterlegten Formeln berechnet und an entsprechender Stelle ausgegeben. So ist in Tab. 3-1 etwa der Förderstrom, die Gesamtförderhöhe des Modells  $H_{\text{Modell}}$ , die Teilförderhöhen  $H_{1,\text{Modell}}$  und  $H_{2,\text{Modell}}$ , die Drehzahlen  $n_1$  und  $n_2$  und schließlich der Außendurchmesser  $D_1$  der Modellschaufeln (*blade*) und der Innendurchmesser  $D_2$  des Modellkranzes (*shroud*) angegeben.



Tab. 3-1 Post-Batch-File Teil A für Drehzahlverhältnis  $\frac{n_1}{n_2} = -2$

Q_cfd,modell	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2
0,265102307	43,01787338	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	38,90068439	4,18246189
0,280695085	43,14912543	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	40,11688359	3,25135906
0,296288666	46,9192124	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	39,87153537	7,730879436
0,31188345	49,53017108	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	39,02516928	11,05310586
0,327478837	48,4378236	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	37,73774918	10,97239694
0,343072217	46,22853541	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	36,29443449	10,17565951
0,3586668	43,69097554	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	35,02592259	8,925204247
0,374260782	40,85668321	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	33,74525513	7,437062178
0,389855165	37,81075887	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	32,46042477	5,759916573
0,405448345	34,61144315	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	31,18060848	3,929815817
0,421043129	31,28533801	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	29,90852758	1,973432097
0,436637914	27,87738946	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	28,6489354	-0,064411723
0,452232698	24,31242989	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	27,37659821	-2,237691027
0,467827482	20,61359195	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	26,10016584	-4,509198371
0,483422267	16,82980461	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	24,82207168	-6,863234843
0,499013039	12,9474224	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	23,5419976	-9,301485096

In Tab. 3-2 sind die mittels Macros in das Post-Batch-File eingelesenen Werte für die Meridiangeschwindigkeit  $c_m$ , den Totaldruck  $p_{tot\_IEC}$  an den entsprechenden Positionen des CR-Modells, die Drehzahlen bzw Winkelgeschwindigkeiten und das von LR1 und LR2 übertragene Drehmoment  $M_{(Torque)}$  eingetragen. Weiters sind hier die Dichte des Mediums, die Erdbeschleunigung und der Außendurchmesser des CFD-Modells an der Schaufel definiert.

Tab. 3-2 Post-Batch-File Teil B für Drehzahlverhältnis  $\frac{n_1}{n_2} = -2$

M(Torque) LR1	omega1	n1	omega2	n2	M(Torque) LR2
-644,99926	202,458	1933,331488	-101,229	-966,6657441	508,89884
	p	Cm	Q	A	ptot IEC
0in	-477258	3,749994615	0,311884052	0,0831692	-470247,8639
1intake_LR1Side1	-477562	-3,749994615	-0,311884052	0,0831692	-470551,8639
2intake_LR1Side2	-477562	3,749984967	0,31188325	0,0831692	-470551,9
3LR1_LR2Side1	-225950	-5,336067057	-0,311882447	0,058448	-211755,9046
4LR1_LR2Side2	-225957	5,33450409	0,311882849	0,0584652	-211771,2185
5out	0	-5,334440145	-0,311881244	0,0584656	14185,44145
6LR2_outletSide1	5,25165	-5,334474456	-0,31188325	0,0584656	14190,87558
7LR2_outletSide2	4,94304	5,334474456	0,31188325	0,0584656	14190,56697
Modell-Parameter					
rho_modell	997				
g	9,81				
D1	0,330652				

Die für den Wirkungsgrad  $\eta_{ges}(\text{IEC})$  in Tab. 3-5 hinterlegte Formel lautet:

$$\eta_{ges}(\text{IEC}) = \frac{H_{ges}}{H_{moment\_LR1} + H_{moment\_LR2}} \quad (25)$$

wobei sich  $H_{moment\_LR1}$  und  $H_{moment\_LR2}$  entsprechend Formel (26) und (27) aus dem in Tab. 3-3 mittels in einem Macro aufintegrierten lokalen Druck nach der Fläche  $dA$  und dem Radius  $dr$  ergebenden Drehmomenten  $M_{(\text{Torque})\_LR1}$  und  $M_{(\text{Torque})\_LR2}$  ermitteln lassen.

$$H_{moment\_LR1} = \frac{M_{\text{Torque\_LR1}} \cdot \omega_1}{\rho \cdot g \cdot Q_{CFD,Modell}} \quad (26)$$

$$H_{moment\_LR2} = \frac{M_{\text{Torque\_LR2}} \cdot \omega_2}{\rho \cdot g \cdot Q_{CFD,Modell}} \quad (27)$$

$$p_{totIEC} = p_{stat} + \frac{\rho \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2} \quad (28)$$

Die für Gleichung (25) benötigte Gesamtförderhöhe des Modells  $H_{Modell}$  errechnet sich aus der in (28) definierten Totaldruckdifferenz zwischen *inlet* und dem Auslassquerschnitt des *LR2*:

$$H_{Modell} = \frac{p_{totIEC}(LR2_{out}) - p_{totIEC}(inlet)}{\rho \cdot g} \quad (29)$$

Die in Tab. 3-3 dargestellten dimensionslosen Thoma-Zahlen  $\text{sig\_iso\_1}$ ,  $\text{sig\_iso\_2.75}$  und  $\text{sig\_iso\_3.25}$ , welche in Tab. 3-5 entsprechend Gleichung (23) in NPSHR-Werte umgerechnet werden, ergeben sich ebenso aus den auswertenden macros. Da jedoch  $3,25 \text{ cm}^2$  als Kavitationskriterium schon relativ hoch ist, haben die Werte dieses Kriteriums eher geringe Bedeutung und wurden nur zu Informationszwecken ausgelesen.

Tab. 3-3 Post-Batch-File Teil C für Drehzahlverhältnis  $\frac{n_1}{n_2} = -2$

Hmoment LR1	Hmoment LR2	delta M LR1/LR2	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	eta_ges (IEC)
47,42735912	16,99887121	171,991248	2,245931723	0,84133918	0,72862322	0,667707441
45,84492804	14,67669838	223,6274	2,775338965	0,864099002	0,706257118	0,712953831
44,4757741	16,05111706	177,10802	2,498351226	0,73004741	0,665906491	0,775179619
42,8092543	16,88806577	136,10042	2,278092353	0,68254984	0,618450682	0,829688351
40,96459773	15,72495935	150,524296	2,18903267	0,671385119	0,602204273	0,854439973
39,05850449	14,2498244	174,997412	2,130420703	0,661805826	0,589675213	0,867191607
37,41045479	12,71286063	207,658056	2,060561613	0,657471989	0,583879925	0,871669705
35,84902839	11,14848365	245,024152	1,987137892	0,652192803	0,579202868	0,869337151
34,34552961	9,573075936	286,258456	1,903826692	0,647199017	0,576999937	0,860928037
32,89004866	8,001764601	330,753844	1,802352079	0,64336038	0,578551323	0,846414976
31,47536618	6,447282821	377,937712	1,691847312	0,642587277	0,585826413	0,824977654
30,10286351	4,939955697	426,574824	1,596005262	0,645782217	0,599976753	0,795523593
28,74293183	3,42877868	478,129088	1,49011519	0,654889197	0,621522261	0,755708338
27,39987622	1,935864764	531,744092	1,536943592	0,681877144	0,660067241	0,702678414
26,07219173	0,464465827	587,188392	2,207051596	1,022867464	0,896569443	0,634209662
24,75629212	0,994279387	548,859156	4,243105386	1,792758519	1,511760099	0,502801361

In Tab. 3-4 werden die Druckzifferwerte für LR1 und LR2, sowie die Förderzifferwerte für LR1 und LR2 des Modells nach Gleichung (12) und (16) berechnet, wobei  $\varphi_2$  nur der Vollständigkeit halber berechnet wird, da für die Auswertung und Auslegung LR 1 als Bezugspunkt gewählt wurde. Des weiteren wird die kavitationsrelevante Druckziffer  $\psi_c$  für die unterschiedlichen Kriterien nach Gleichung (22) in Tab. 3-4 kalkuliert.

Tab. 3-4 Post-Batch-File Teil D für Drehzahlverhältnis  $\frac{n_1}{n_2} = -2$

phi_LR1	phi_LR2	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2.75	psi_c_LR1_3.25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2.75	psi_c_LR2_3.25
0,09523	0,270525	0,68125	0,292086	1,729107067	0,647733637	0,560955414	-0,119894755	-0,198446478	-0,219056995
0,100832	0,286435	0,70254	0,227062	2,151939678	0,670004259	0,547616293	-0,059587709	-0,166333079	-0,183981416
0,106434	0,302347	0,69825	0,539893	2,10698151	0,613048188	0,559596849	0,059377392	-0,0716755	-0,094766578
0,112035	0,318261	0,68343	0,771903	2,020956839	0,599571362	0,540854119	0,233004579	-0,05658225	-0,08607251
0,117637	0,334177	0,66088	0,766267	1,890852939	0,574331648	0,512677673	0,188722236	-0,085973202	-0,116158206
0,123239	0,350088	0,6356	0,710626	1,766759987	0,547016045	0,486064262	0,040340797	-0,11620559	-0,142486283
0,128841	0,366002	0,61339	0,623299	1,621501805	0,51701558	0,458904702	-0,101577639	-0,148279752	-0,169524614
0,134442	0,381915	0,59096	0,519374	1,472452597	0,483256191	0,429146498	-0,130507901	-0,172542174	-0,191757842
0,140044	0,397828	0,56846	0,402249	1,318747781	0,448303345	0,399677328	-0,143936254	-0,199725684	-0,209380124
0,145645	0,41374	0,54605	0,274442	1,158981149	0,41370527	0,372030573	-0,164889376	-0,2049858	-0,212629988
0,151247	0,429654	0,52377	0,137816	1,00263849	0,380816125	0,347177967	-0,171676991	-0,196565767	-0,207943493
0,156849	0,445568	0,50171	-0,0045	0,86592146	0,350372704	0,325520698	-0,070034028	-0,153403393	-0,163414729
0,162451	0,461482	0,47943	-0,15627	0,731719853	0,320875666	0,304300105	0,123200843	-0,016898037	-0,051279606
0,168053	0,477395	0,45708	-0,3149	0,604900699	0,290418105	0,279878077	0,416154994	0,136779032	0,094758581
0,173655	0,493309	0,4347	-0,4793	0,508612228	0,260223615	0,254155048	0,822718567	0,332506989	0,27152731
0,179256	0,509219	0,41228	-0,64958	0,423052009	0,275342689	0,23643438	1,414942823	0,594476414	0,506928906

Nach einer ersten Analyse der durchgerechneten Drehzahlverhältnisse, ist anhand beider nachfolgenden Abbildungen erkennbar, dass die Variation der Verhältnisse nur in einem gewissen Band vorteilhaft ist.

In Abb. 3-10 sind von links nach rechts die Wirkungsgradkurven in absteigender Reihenfolge der Drehzahlverhältnisse veranschaulicht. Die Form der Kurvenschar ergibt sich dadurch, da aus Vergleichbarkeitsgründen der Bezug auf die Durchflusszahl des ersten Laufrades  $\varphi_1$  erfolgt. Entsprechend Gleichung (16) sinkt die Lieferzahl mit steigender Drehzahl. Aufgrund

der Form der Kurven kann gesagt werden, dass wirkungsgradbedingt die CR-Pumpe nur zwischen Drehzahlverhältnissen von -0,83 und -2 betrieben werden soll, wobei das Wirkungsgradmaximum etwa zwischen -1,17 und -1,26 liegt.

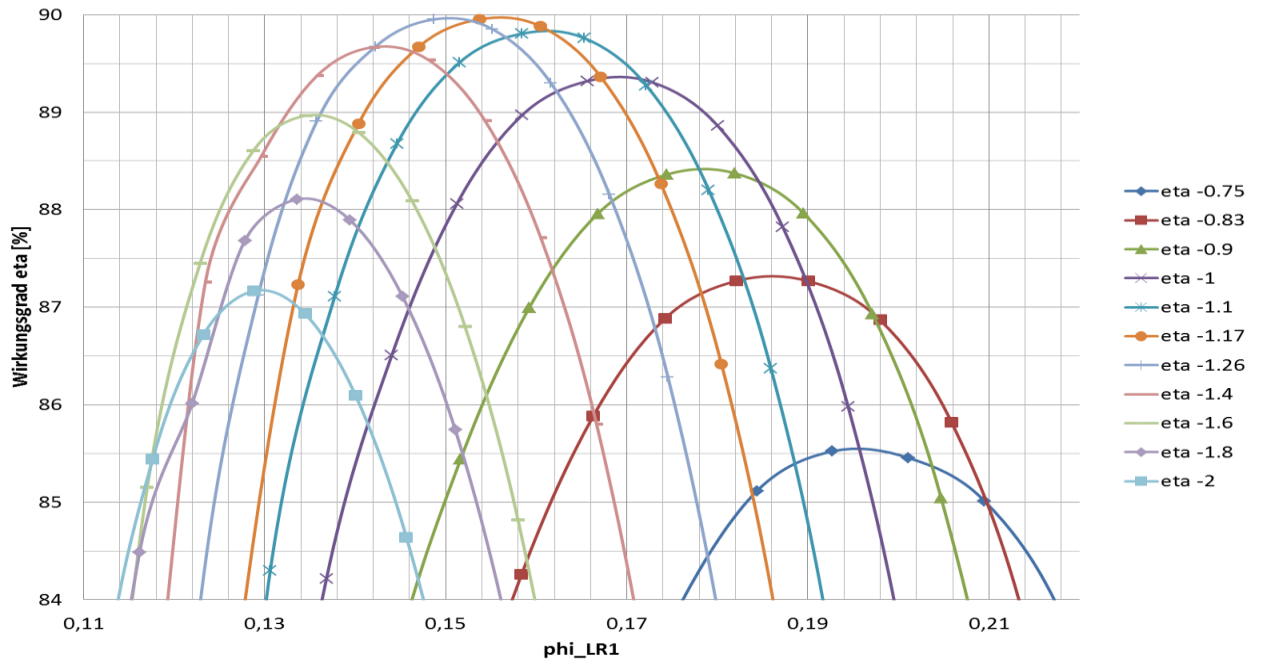


Abb. 3-10  $\phi_1 - \eta$  – Übersichtsdiagramm der CR-Pumpe

Die dimensionsbehafteter  $Q-\eta$ -Darstellung dieses Diagramms für einen Beispieldurchmesser von 0,6 m und einer Drehzahl  $n_1$  von 1000 U/min ist in Abb. 3-11 dargestellt.

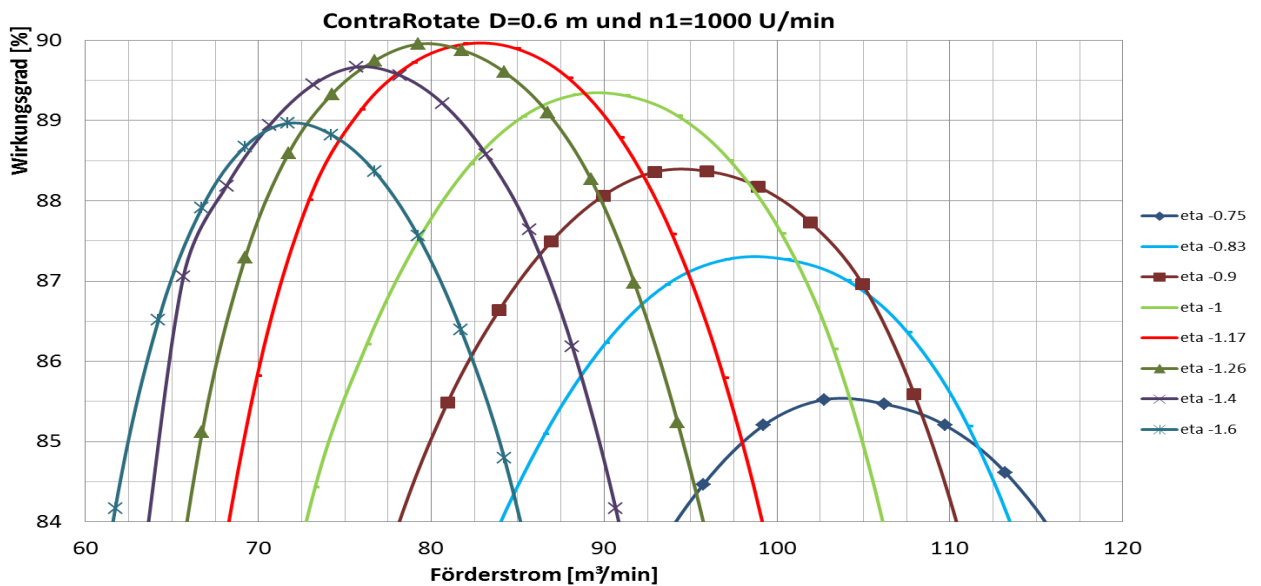


Abb. 3-11  $Q - \eta$  – Übersichtsdiagramm der CR-Pumpe

Bezieht man jedoch auch die Kavitation bei der Auswahl des Drehzahlverhältnisses in Betracht, so lässt sich mittels Abb. 3-12 feststellen, dass ab einem Drehzahlverhältnis von  $|1,4|$  mit einem rapiden Anstieg der kavitationsrelevanten NPSHR- bzw.  $\psi_c$ -Werte zu rechnen ist.

Auch hier lässt sich die Verschiebung der Kurven höherer Verhältnisse in Richtung niedrigerer Durchflusszahl dahingehend erklären, dass diese sich auf den immer schneller drehenden ersten Rotor bezieht.

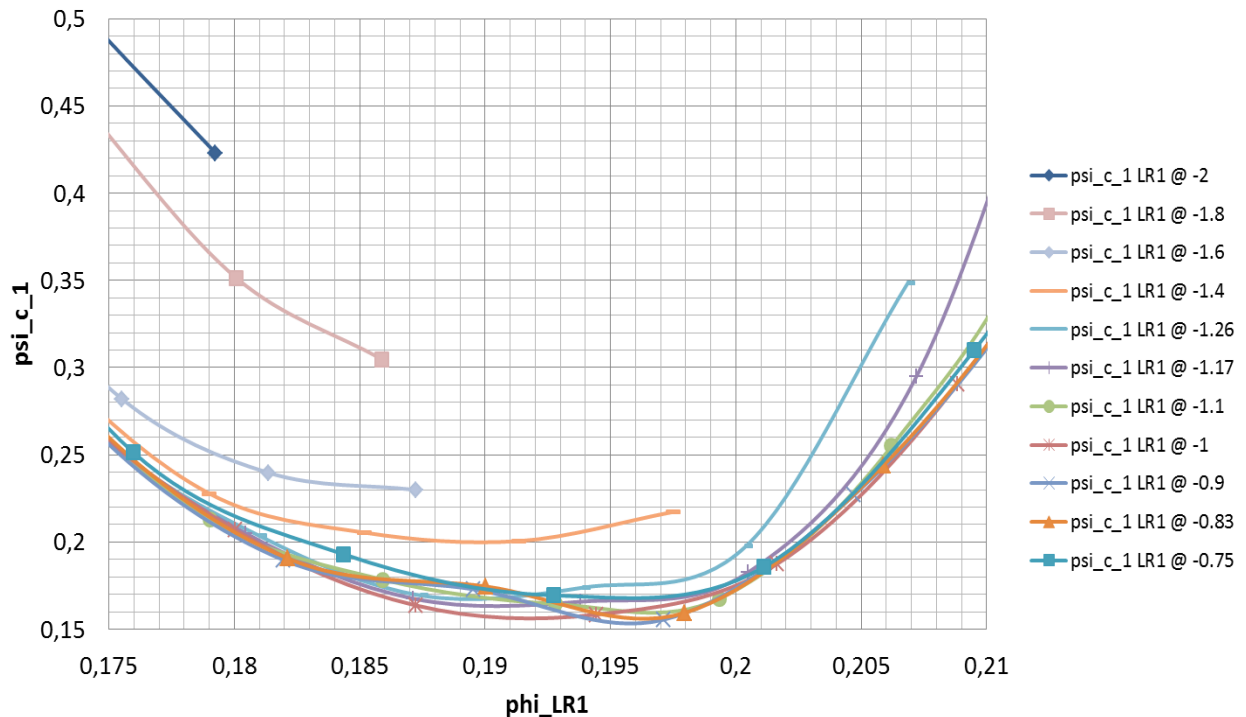


Abb. 3-12  $\varphi_1 - \psi_{c,1cm^2}$  – Detaildiagramm der CR-Pumpe

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass bei der Auslegung der CR-Pumpe das Hauptaugenmerk auf die Drehzahlverhältnisse  $-0,83$  bis  $-1,26$  gelegt wird, wobei im folgenden Kapitel, der Beschreibung des Auslegungs-Tool, ebenso der Vollständigkeit halber die Verhältnisse  $-0,75$ ;  $-1,4$  und  $-1,6$  beleuchtet werden.

### 3.5 ContraRotate Auslegungs-Tool

#### 3.5.1 Übersichtsmaske

Basierend auf den durch das Post-Batch-File erhaltenen Rohdaten, welche sich detailliert im Anhang befinden, ließ sich das Auslegungs-Tool für eine CR-Pumpe in Microsoft EXCEL erstellen.

<b>Foerderhoehe [m]</b>	<b>65</b>			pos. Schwankung Foerderhoehe [m]	5	NPSHA @ H_max [m]	16,00			
<b>Förderstrom [m³/min]</b>	<b>102,00</b>			neg. Schwankung Foerderhoehe [m]	5	NPSHA @ design point [m]	18,00			
<b>Schrittweite [m³/min]</b>	<b>3,00</b>			Wirkungsgrad [%]	89,00	NPSHA @ H_min [m]	20,00			
	<b>D_saug [m]</b>	<b>D_max [m]</b>	<b>D_Spirale [m]</b>	<b>n [U/min]</b>		<b>n_s [U/min]</b>	<b>sigma_1cm</b>	<b>eta_max [%]</b>	<b>phi @ eta_max</b>	
<b>AmuZang</b>	0,5124	0,5947		1,5857	1180	245	xxxx	xxxx	0,261	
<b>Thotapally</b>	0,4836	0,7019		1,5694	1073	223	xxxx	xxxx	0,341	
<b>ContraRotate</b>								<b>eta @ design</b>	<b>phi1 @ eta_max</b>	
<b>n1/n2</b>	<b>D [m]</b>			<b>n1 [U/min]</b>	<b>[n2] [U/min]</b>	<b>n_s1 [U/min]</b>	<b>sigma_2.75cm</b>	<b>point [%]</b>	<b>eta_max</b>	<b>shift phi1</b>
-0,7534	0,5804	0,5804		1097,3	1456,5	228	0,3938	85,523	0,193	0,00000000
-0,8339	0,5873	0,5873		1120,7	1343,9	233	0,1756	87,270	0,182	0,00000000
-0,9044	0,5929	0,5929		1137,2	1257,4	236	0,1881	88,360	0,174	0,00000000
-1,0000	0,6001	0,6001		1154,7	1154,7	240	0,2199	89,318	0,166	0,00000000
-1,1000	0,6068	0,6068		1168,1	1061,9	243	0,2874	89,805	0,158	0,00000000
-1,1678	0,6115	0,6115		1176,3	1007,2	245	0,3323	89,952	0,154	0,00000000
-1,2573	0,6169	0,6169		1184,5	942,1	246	0,3827	89,952	0,149	0,00000000
-1,4000	0,6250	0,6250		1192,7	851,9	248	0,4552	89,667	0,142	0,00000000
-1,6000	0,6354	0,6354		1197,2	748,3	249	0,5431	88,965	0,135	0,00000000

Abb. 3-13 Hauptübersichtsmaske CR-Auslegungstool mit Vorgabe H und Q

Die in Abb. 3-13 zu sehende Hauptübersichtsmaske des Auslegungs-Tools ist grundsätzlich eingeteilt in drei Bereiche.

Im dunkelgrau hinterlegten Bereich kann man den Design Point, sprich Förderhöhe H und Förderstrom Q im Auslegungspunkt vorgeben, welcher für die Dimensionierung der Pumpe maßgeblich ist. In diesem Punkt wird nun der  $\phi_1$ -Wert  $\phi_{1,\eta_{max}}$  des jeweiligen Drehzahlverhältnisses an der Stelle des maximalen Wirkungsgrades aus den Rohdaten des berechneten Modells geholt und gesetzt. In weiterer Folge erhält man auch den zugeordneten  $\psi_1$ -Wert  $\psi_{1,\eta_{max}}$  aus den Rohdaten. Durch Umformen der Gleichungen (12) und (16) lässt sich der Durchmesser D wie folgt berechnen:

$$D = D_1 = D_2 = \left( \frac{8 \cdot \psi_{1,DP}}{g \cdot H_{1,DP}} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left( \frac{Q}{\pi \cdot \phi_{1,DP}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

Die Förderhöhe des ersten Laufrades im Design Point  $H_{1,\eta_{max}}$  lässt sich durch die berechneten

Rohdaten des Modells folgend berechnen:

$$H_{1,DP} = H_{DP} \cdot \frac{H_{1,Modell,DP}}{H_{Modell,DP}} \quad (31)$$

bzw die Förderhöhe des zweiten Laufrades im Design Point  $H_{2,\eta_{max}}$ :

$$H_{2,DP} = H_{DP} \cdot \frac{H_{2,Modell,DP}}{H_{Modell,DP}} \quad (32)$$

Für die Berechnung der Teilförderhöhen der weiteren Punkte der Kennlinie gilt nach Umformen von Gleichung (9):

$$H_1 = \frac{\psi_{1,DP} \cdot u_1^2}{2 \cdot g} \quad (33)$$

und

$$H_2 = \frac{\psi_{2,DP} \cdot u_2^2}{2 \cdot g} \quad (34)$$

Aus Gleichung (10) lässt sich die hierfür benötigte Umfangsgeschwindigkeit  $u_1$  für das erste Laufrad berechnen:

$$u_1 = \frac{D}{2 \cdot n_1 \cdot \frac{\pi}{30}} \quad (35)$$

wobei nach Gleichung (16) für die Berechnung der Drehzahl in U/min gilt:

$$n_1 = \frac{240 \cdot Q}{D^3 \cdot \pi^2 \cdot \varphi_{1,DP}} \quad (36)$$

Für das entsprechende Drehzahlverhältnis erhält man für die Umfangsgeschwindigkeit und die Drehzahl in U/min des zweiten Rotors:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} \quad (37)$$

$$u_2 = \frac{u_1}{i} \quad (38)$$

Des Weiteren kann man die Schrittweite der aus den Rohdaten interpolierten Kennlinien der einzelnen Drehzahlverhältnisse einstellen. Es wurden nur jene Verhältnisse berücksichtigt, welche ein sinnvolles Drehzahlverhältnisband ergeben. Dieses Band ist im unteren Verhältnisbereich von rasch abnehmendem Wirkungsgrad und im oberen Verhältnisbereich von zu hohem NPSHR-Wert bzw. Thomazahl vorgegeben. Im in Abb. 3-13 angeführten Beispiel wurden in Anlehnung an das Projekt „Kuwait“ (siehe Anhang Abb. 0-1) der Firma ANDRITZ AG eine Förderhöhe von 65 m bei einem Förderstrom von 102 m<sup>3</sup>/min angenommen.

Im zweiten Bereich der Hauptübersichtsmaske entsprechend Abb. 3-13, welcher hellgrau hinterlegt ist, kann man die von der Anlage vorgegebenen Werte der Wasserspiegelschwankung, die entsprechenden NPSHA-Werte und den zu erzielenden Wirkungsgrad eingeben.

Im dritten, blau hinterlegten Bereich, erhält man anschließend einen vergleichenden Überblick der aus den Rohdaten berechneten hydraulischen Daten von einerseits einer Pumpe in CR-Ausführung mit unterschiedlichen Drehzahlverhältnissen und andererseits zweier von ANDRITZ AG entwickelter Halbaxialpumpen („AmuZang“ mit  $n_s$  von 245 U/min und „Thotapally“ mit  $n_s$  von 225 U/min), welche sich in einem ähnlichen spezifischen Drehzahlbereich wie die CR-Pumpe befinden. In Abb. 3-14 ist ein  $\psi_c$ - $n_s$ -Übersichtsdiagramm konventioneller ANDRITZ AG Pumpenprojekten dargestellt, welches die Systematik von näherungsweise linear steigender Kavitation mit Erhöhung der spezifischen Drehzahl beschreibt.

Um die Dimensionierung der axialen CR-Pumpe mit der halbaxialen Thotapally oder AmuZang Pumpe vergleichen zu können, wird neben dem Saug- und dem Maximaldurchmesser auch der Spiraldurchmesser angezeigt. Somit ist der Vorteil in der Baugröße einer CR-Pumpe im Vergleich zu einer konventionellen Pumpe mit vergleichbaren hydraulischen Daten sofort erkennbar.



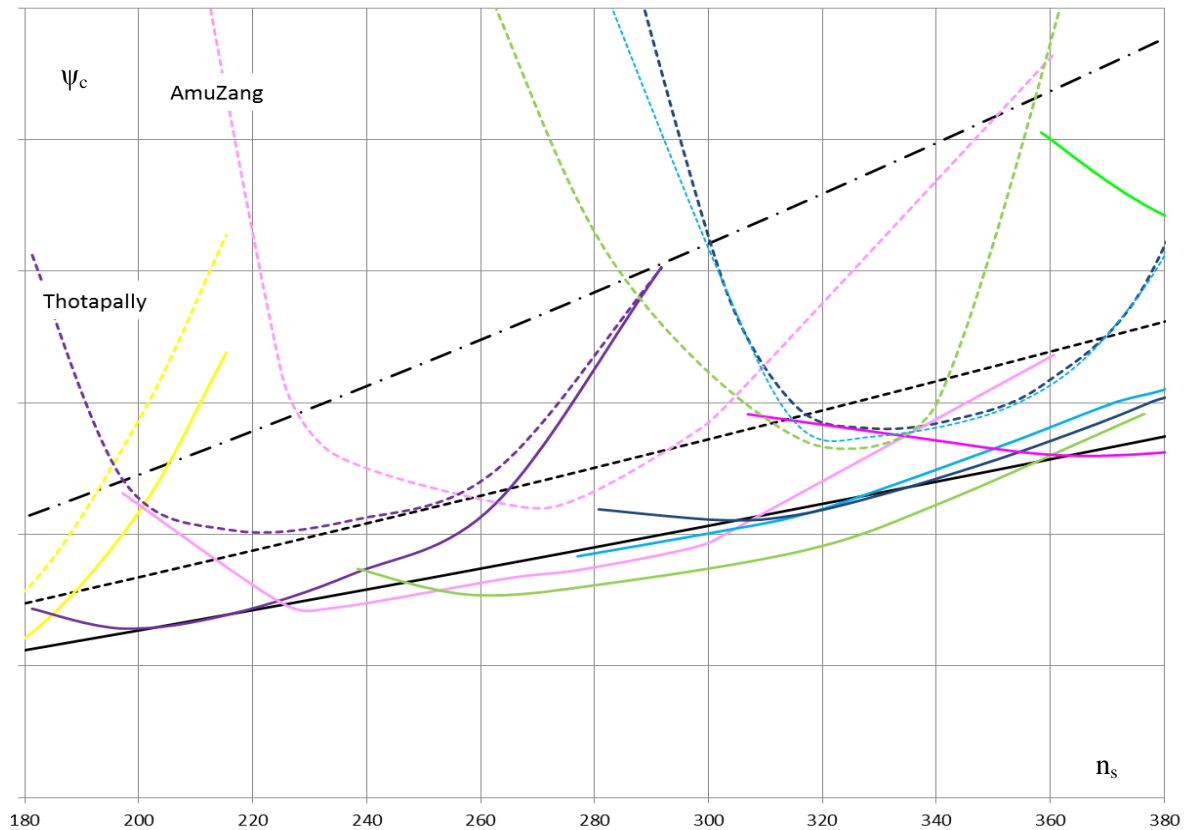


Abb. 3-14  $n_s - \psi_c$  Kavitationssystematik einiger bisheriger ANDRITZ AG Projekte

Weiters werden neben den Drehzahlen von LR1 und LR2 bei der CR-Variante bzw der Drehzahl beider betrachteten Vergleichsprojekte auch die entsprechenden spezifischen Drehzahlen  $n_{s1}$  und  $n_s$  ausgegeben. Dabei wird die spezifische Drehzahl  $n_{s1}$  in Anlehnung an Gleichung (18) wie folgt angenommen:

$$n_{s1} = 3,65 \cdot n_1 \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H_{ges}^{\frac{3}{4}}} \quad (39)$$

Weitere hydraulische Größen, welche in der Übersichtsmaske ausgegeben werden, sind für die beiden fertig entwickelten Vergleichsprojekte die Thomazahl  $\sigma_{1cm^2}$  und der maximale gemessene Wirkungsgrad bzw für die noch in Entwicklung befindliche CR-Pumpe die Thomazahl  $\sigma_{2.75cm^2}$  und der maximale Wirkungsgrad, welcher sich aus der CFD ergibt. Bei allen Varianten wird anfangs davon ausgegangen, dass sich der maximale Wirkungsgrad bei jener Förderziffer  $\varphi$  bzw  $\varphi_1$  befindet, welche dem Design Point entspricht.

Aufgrund der Möglichkeit zum Einstellen eines Shift- $\varphi_1$ -Wertes ist man nicht gezwungen bei der Auslegung der CR-Pumpe den Design Point an die Stelle des Wirkungsgradmaximums zu legen. Durch positives oder negatives Abändern dieses Wertes lässt sich der Auslegungspunkt

entlang der Kennlinie nach rechts bzw nach links verschieben, um so zwar einen geringeren Wirkungsgrad zu erhalten, jedoch gegebenenfalls einen besseren, sprich niedrigeren  $\sigma_{2.75\text{cm}^2}$ -Wert zu erhalten. Der Shift- $\varphi_1$ -Wert beeinflusst den Durchmesser und die Drehzahlen der auszulegenden CR-Pumpe, nicht jedoch das Drehzahlverhältnis oder die Hydraulik, da dieser Wert lediglich einen Offset von  $\varphi_1$  im ursprünglichen Design Point (bei  $\eta_{\max}$ ) angibt und entsprechend den Design Point entlang der Kennlinie nach links oder rechts verschiebt.

Sollte zu Beginn der Auslegung der Durchmesser und die Drehzahl des ersten Rotors bekannt sein, so lassen sich die daraus ergebende Förderhöhe und der entsprechende Förderstrom durch die mit oben abgebildeter Hauptübersichtsmaske in einem zweiten xls-Sheet verknüpften zweiten Übersichtsmaske in Abb. 3-15 ermitteln.

Hierbei errechnet sich der Förderstrom nach Gleichung (16) folgend:

$$Q = \frac{240 \cdot n_1}{D^3 \cdot \pi^2 \cdot \varphi_{1,DP}} \quad (40)$$

Ebenso wie bei der obigen Hauptübersichtsmaske werden auch hier die später im Detail beschriebenen einzelnen Kennlinien grafisch unterhalb der Übersicht im xls-File ausgegeben. Die angezeigten Shift- $\varphi_1$ -Werte werden durch die Hauptübersichtsmaske gesteuert.

Drehzahl LR1 [U/min]		1400							
Durchmesser Laufrad [m]		0,5500							
Schrittweite [m³/min]		5,00							
ContraRotare n1/n2	Foerderhoehe [m]	Volumenstrom [m³/min]	n2  [U/min]	n_s1 [U/min]	sigma_2.75cm	eta @ design point [%]	shift phi1		
-0,7534	95,03	110,77	1858	228	0,3938	85,523	0,0000		
-0,8339	89,33	104,67	1679	232	0,1749	87,270	0,0000		
-0,9044	85,09	100,22	1548	236	0,1873	88,360	0,0000		
-1,0000	80,57	95,19	1400	239	0,2191	89,318	0,0000		
-1,1000	76,72	91,02	1273	243	0,2873	89,805	0,0000		
-1,1678	74,76	88,35	1199	244	0,3311	89,952	0,0000		
-1,2573	72,42	85,45	1114	246	0,3815	89,952	0,0000		
-1,4000	69,56	81,59	1000	247	0,4539	89,667	0,0000		
-1,6000	66,80	77,34	875	248	0,5414	88,965	0,0000		

Abb. 3-15 Übersichtsmaske CR-Auslegungstool mit Vorgabe  $n_1$  und D

Bevor die mittels Auslegungs-Tool erhaltenen Dimensionierungsbeispiele der einzelnen relevanten Drehzahlverhältnisse beleuchtet werden, wird in den nächsten Unterkapiteln auf die Einsatzbandbreite der CR-Pumpe eingegangen.

### 3.5.2 $\varphi_1 - \psi$ - Diagramm

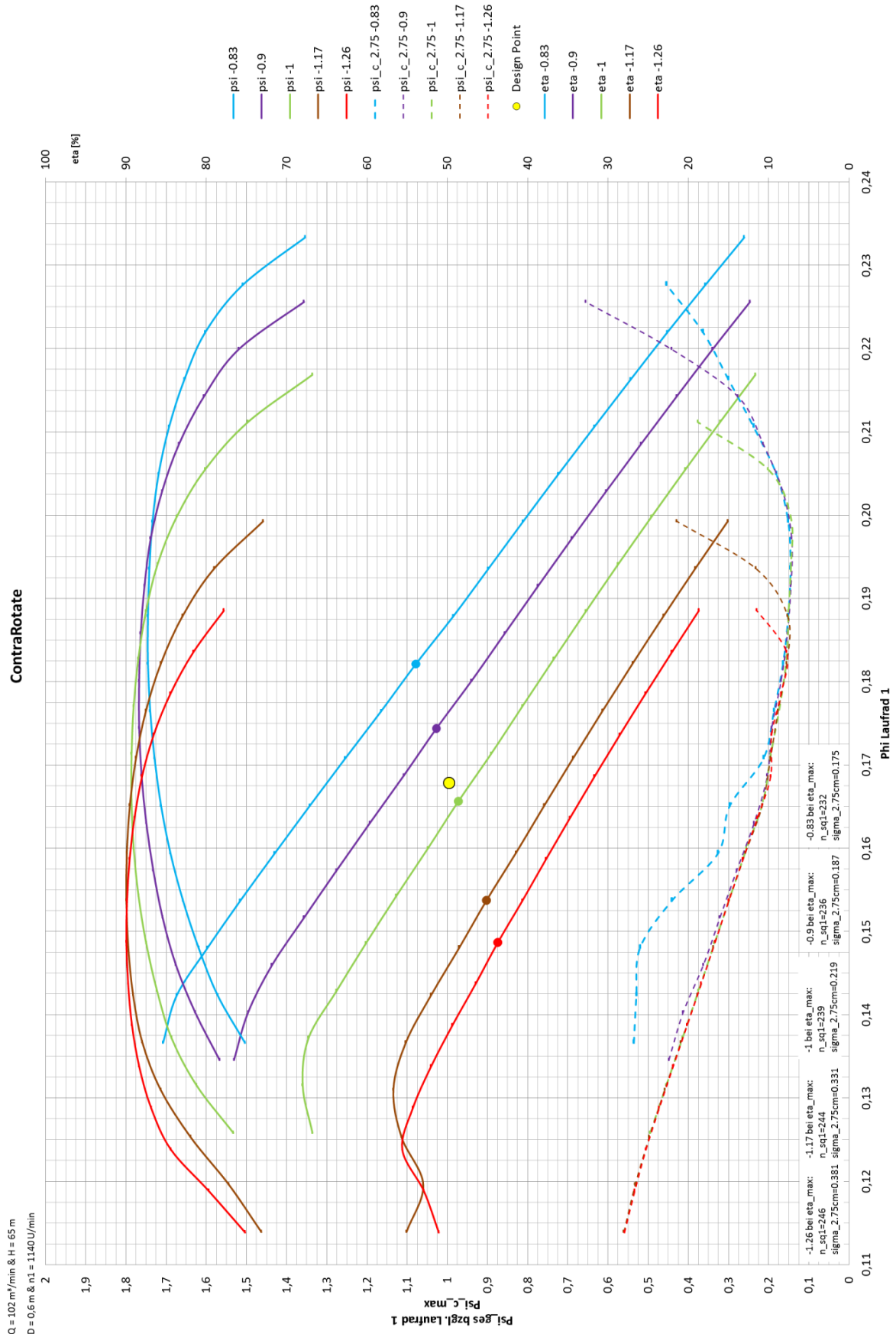


Abb. 3-16  $\varphi_1 - \psi_{ges}/\psi_{cmax}/\eta$  - Übersichtsdiagramm der CR-Pumpe

In Abb. 3-16 ist das  $\varphi_1 - \psi_{\text{ges}}/\psi_{\text{cmax}}/\eta$  - Übersichtsdiagramm der CR-Pumpe zu sehen, welches sich aus dem Auslegungs-Tool ergibt. Es zeigt in dimensionsloser Darstellung, welches Potential die CR-Pumpe hat. Hierbei werden jedoch nur die Drehzahlverhältnisse -0,83 (in Rot); -0,9 (in Braun); -1 (in Grün), -1,17 (in Violett) und -1,26 (in Blau) gezeigt, da diese am ehesten für die Anwendung in Frage kommen. Der strichliert eingezeichnete  $\psi_{\text{cmax}}$ -Verlauf gibt den größeren kavitationsbestimmenden Wert (mit dem Kavitationskriterium  $2,75 \text{ cm}^2$ ) der beiden Laufräder an und  $\psi_{\text{ges}}$  ist entsprechend Gleichung (12) auf die Drehzahl von LR1 bezogen. Aufgrund des durch den vom ersten Rotor bewirkten Vordruck für das nachfolgende Laufrad, kavitiert zumeist LR1 vor LR2 bei niederen bis mittleren Förderströmen und umgekehrt bei höheren Förderströmen, da in diesem laut Berechnungen die druckseitige Kavitation eher auftritt.

In dieses Diagramm lässt sich nun ein Betriebspunkt (gelber Punkt in Abb. 3-16) einzeichnen, welcher mittels der Parameter  $Q$  und  $H$  bzw.  $n_1$  und  $D$  geändert werden kann. Ziel ist es ausfindig zu machen, welches Drehzahlverhältnis für die auszulegende CR-Pumpe benötigt wird. Je nach dem welche zwei Größen bekannt sind, lassen sich die beiden anderen Größen über die Übersichtsmasken in Abb. 3-13 oder Abb. 3-15 ungefähr ermitteln. Im Regelfall sind die Förderhöhe und der Förderstrom bekannt und ein Anhaltswert der beiden anderen Variablen ergibt sich der Hauptübersichtsmaske des Auslegungs-Tools.

Anschließend gibt man die zwei fixen und die zwei änderbaren Parameter ein, um zum Beispiel im Bereich des Wirkungsgradmaximums eines beliebigen Drehzahlverhältnisses zu landen. Wobei hier ist gegebenenfalls auf eine sinnvolle Durchmesserstaffelung zu achten. Des weiteren sollte man in Erfahrung bringen, ob sich die Drehzahlen stufenlos oder in Stufen ändern lassen oder ob sie unveränderlich sind. Als Faustregel für die Bestimmung der Parameter gilt, dass aus preislichen Gründen der Durchmesser so klein wie möglich und die Drehzahl so groß wie nötig gewählt werden soll, denn mit der Drehzahl steigt ebenso der kavitationsrelevante NPSHR-Wert.

Sollte man soweit mit den Werten der vier Parameter zufrieden sein und der Punkt befindet sich zwischen zwei Kennlinien berechneter Drehzahlverhältnisse, so kann man nun durch simple Interpolation das gesuchte Drehzahlverhältnis  $i$  finden.

Im Diagramm in Abb. 3-16 werden die vier eingegebenen Größen, welche nach den Gleichungen (12) und (16) in weiterer Folge die dazugehörige Druckziffer und Lieferzahl bestimmen, im linken oberen Eck zusammenfassend angezeigt. Im unteren Teil des Diagramms sind jeweils die spezifische Drehzahl  $n_s$  und der  $\sigma_{2,75\text{cm}^2}$ -Wert an der Stelle des

---

Wirkungsgradmaximums, welches in den Kennlinien mit einem Punkt markiert ist, für die dargestellten Drehzahlverhältnisse angeführt.

Im nächsten Unterkapitel wird anhand eines Q-H-Diagrammes veranschaulicht, welche Möglichkeiten theoretisch mit einer CR-Pumpe eines Durchmessers realisierbar sind.

### 3.5.3 Q – H – Übersichtsdiagramm für D = 0,6 m

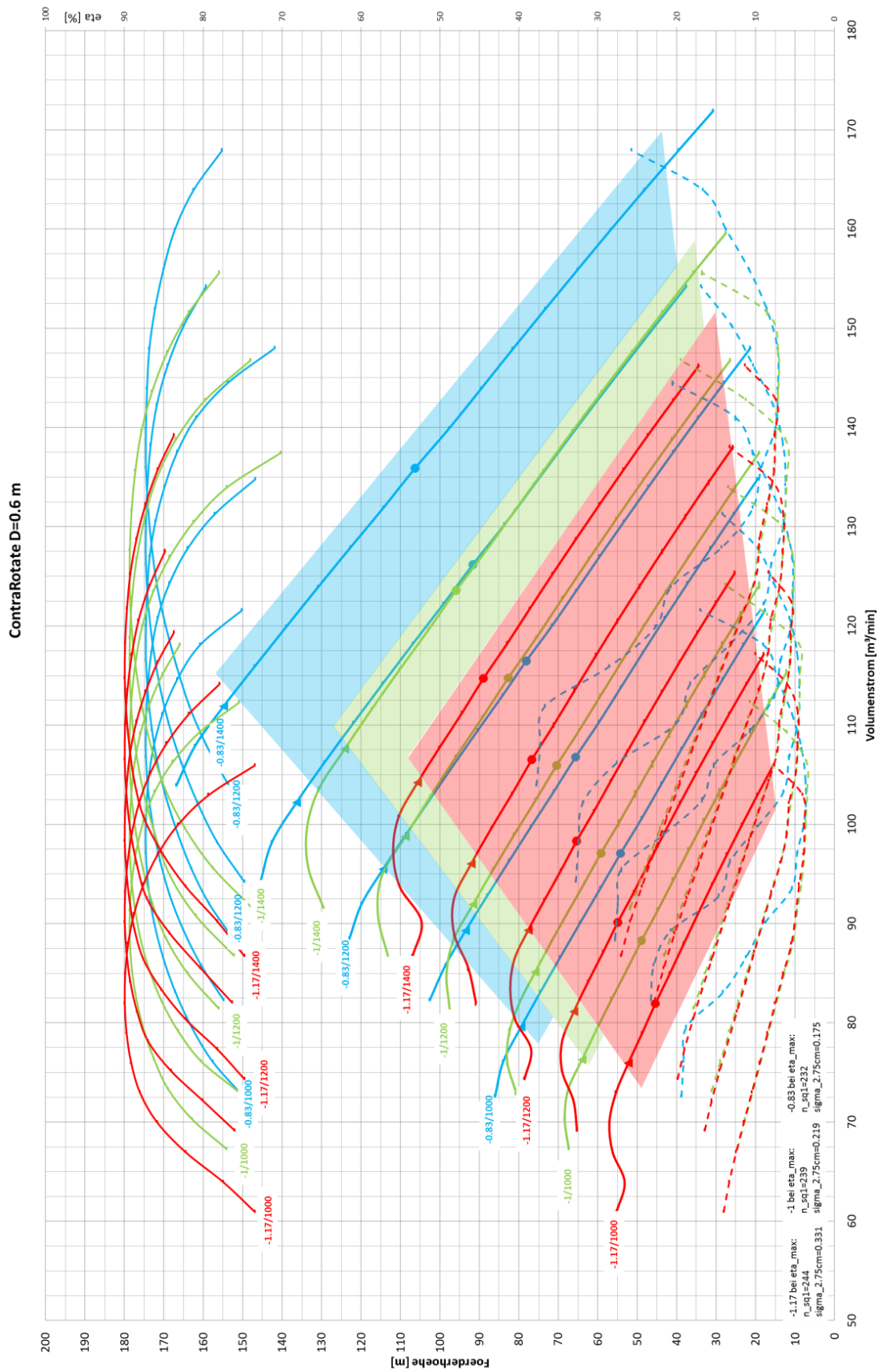


Abb. 3-17 Q-H Übersichtsdiagramm für D = 0,6 m

Wie schon zuvor erwähnt, ist in Abb. 3-17 ein Q-H-Übersichtsdiagramm für einen Durchmesser, welcher in diesem Fall 0,6 m ist, dargestellt. Als Parameter dienen einerseits die Drehzahlverhältnisse im Bereich von -0,83 bis und -1,17 und andererseits die zwischen 1000 U/min und 1400 U/min variable Drehzahl des ersten Laufrades. Somit ergibt sich für jedes der drei abgebildeten Verhältnisse ein Einsatzbereich. Neben den dazugehörigen Wirkungsgradverläufen sind strichliert die NPSHR-Verläufe, welchen das 2,75cm<sup>2</sup>-Kriterium zu Grunde liegt, dargestellt.

Die in Abb. 3-17 beispielhaft gewählten Werte für die Drehzahl führen für jedes Verhältnis zu einem vierseitigem Polygon, das den Einsatz der Pumpe bezüglich Förderhöhe und Förderstrom eingrenzt. Die rechte untere Begrenzung des Viereckes zeigt die Einsatzgrenze hinsichtlich der Kavitation auf. Der linke obere Rand des Polygons entspricht in etwa der Stabilitätsgrenze der CR-Pumpe, wohingegen der rechte obere und der linke untere Rand nicht fix sind, da sie sich entsprechend der Drehzahl von LR1 parallel zur Kennlinie ändern.

Wie bereits in Abb. 3-16 sind auch in diesem Diagramm links unten die spezifische Drehzahl und die Thoma-Zahl der dargestellten Drehzahlverhältnisse an der Stelle des Wirkungsgradmaximums zusammengefasst.

Weiters lässt sich in obigem dimensionsbehafteten Diagramm erkennen, dass ausgehend von einem Drehzahlverhältnis von -1 bei gleichbleibender Drehzahl des ersten Laufrades und gleichzeitigem Erhöhen der Drehzahl des zweiten gegenläufigen Rotors zwar die Werte der Fördermenge und Förderhöhe steigen, aber dafür wie erwartet der Wirkungsgrad sinkt.

In den folgenden drei Q-H-Diagrammen, welche durch das Auslegungs-Tool erzeugt wurden, unterliegt das Drehzahlverhältnis jeweils keiner Änderung und Durchmesser sowie die Drehzahl des ersten Laufrades variieren.

### 3.5.4 Q – H – Übersichtsdiagramme für $n_1/n_2 = \text{const.}$

In Abb. 3-18 erkennt man ein Q-H-Diagramm für ein konstantes Drehzahlverhältnis  $\frac{n_1}{n_2} = -0,83$ . Die Variation erfolgt hier über den Durchmesser und die Drehzahl des ersten Laufrades. Als beispielhafte Stufung der Durchmesser sind von links nach rechts 0,4 m; 0,45 m; 0,5 m; 0,55 m und 0,6 m dagesetellt. Für jeden angeführten Durchmesser der Rotoren erkennt man drei Kennlinien, welche durch die Drehzahlen 1400 U/min, 1500 U/min und 1600 U/min bestimmt sind. Jeder Kennlinie ist sowohl eine Wirkungsgradkurve als auch ein strichliertes NPSH<sub>2,75cm<sup>2</sup></sub>-Kavitationsbecken zugeordnet. Der Betriebspunkt mit dem größten Wirkungsgrad ist mit einem Punkt in jeder Kennlinie eingezeichnet.

Weiters lässt sich im direkten Vergleich von Abb. 3-18 mit den Diagrammen in Abb. 3-19 und Abb. 3-20, welche ein konstantes Drehzahlverhältnis von -1 und -1,17 repräsentieren, nochmals erkennen, dass bei kleinerem Drehzahlverhältnis ein besserer kavitationsrelevanter NPSHR-Wert einem schlechteren Wirkungsgrad gegenüber steht.

Um einen direkten Vergleich einer CR-Axialpumpe mit der entsprechenden AmuZang-Halbaxialpumpe zu erhalten, sei auf das nächste Unterkapitel verwiesen, wo je eine ausgelegte Pumpe beider Varianten in dimensionsbehafteten Diagrammen gegenüber gestellt werden.



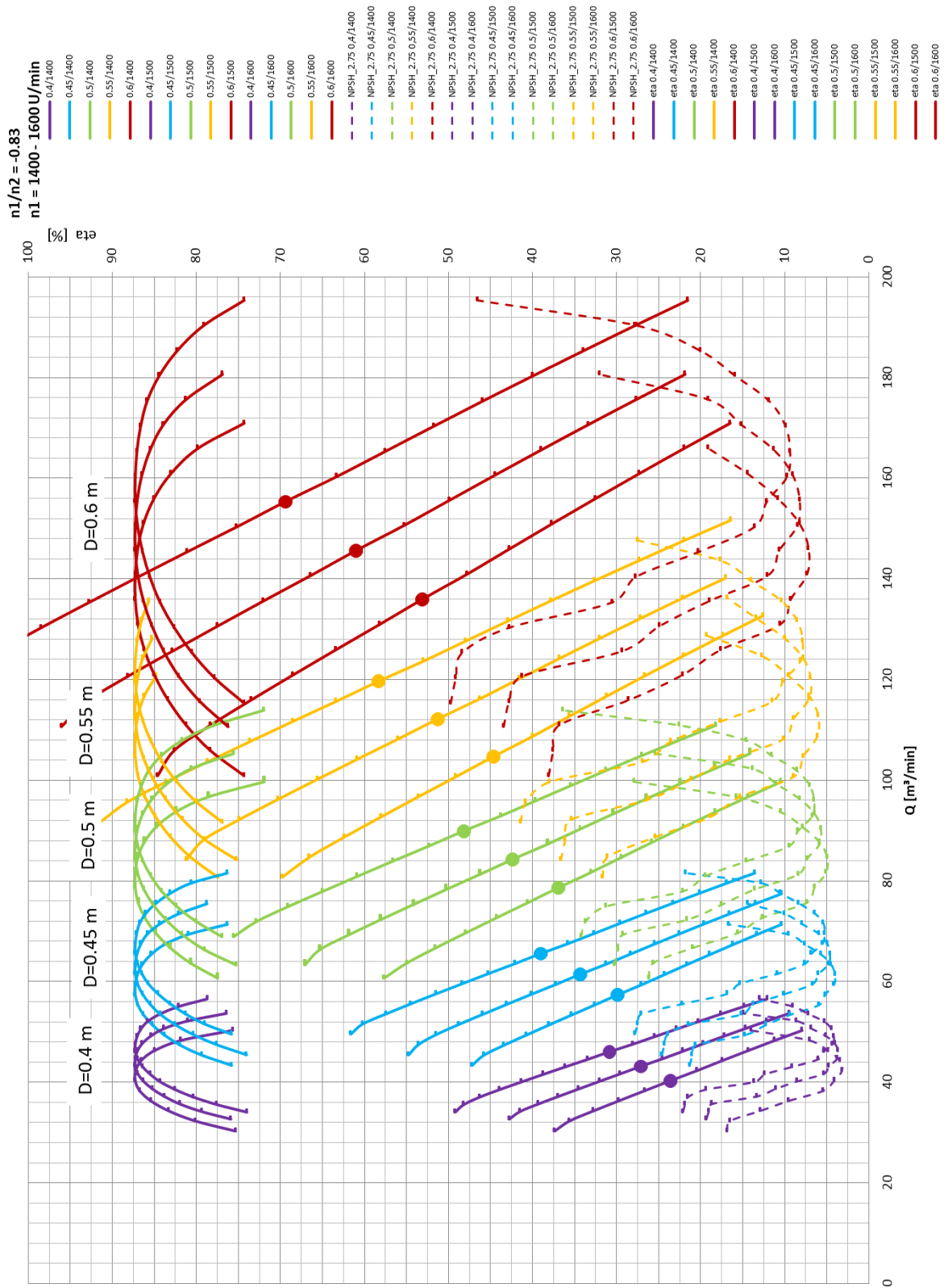


Abb. 3-18 Q-H Übersichtsdiagramm für  $\frac{n_1}{n_2} = -0,83$

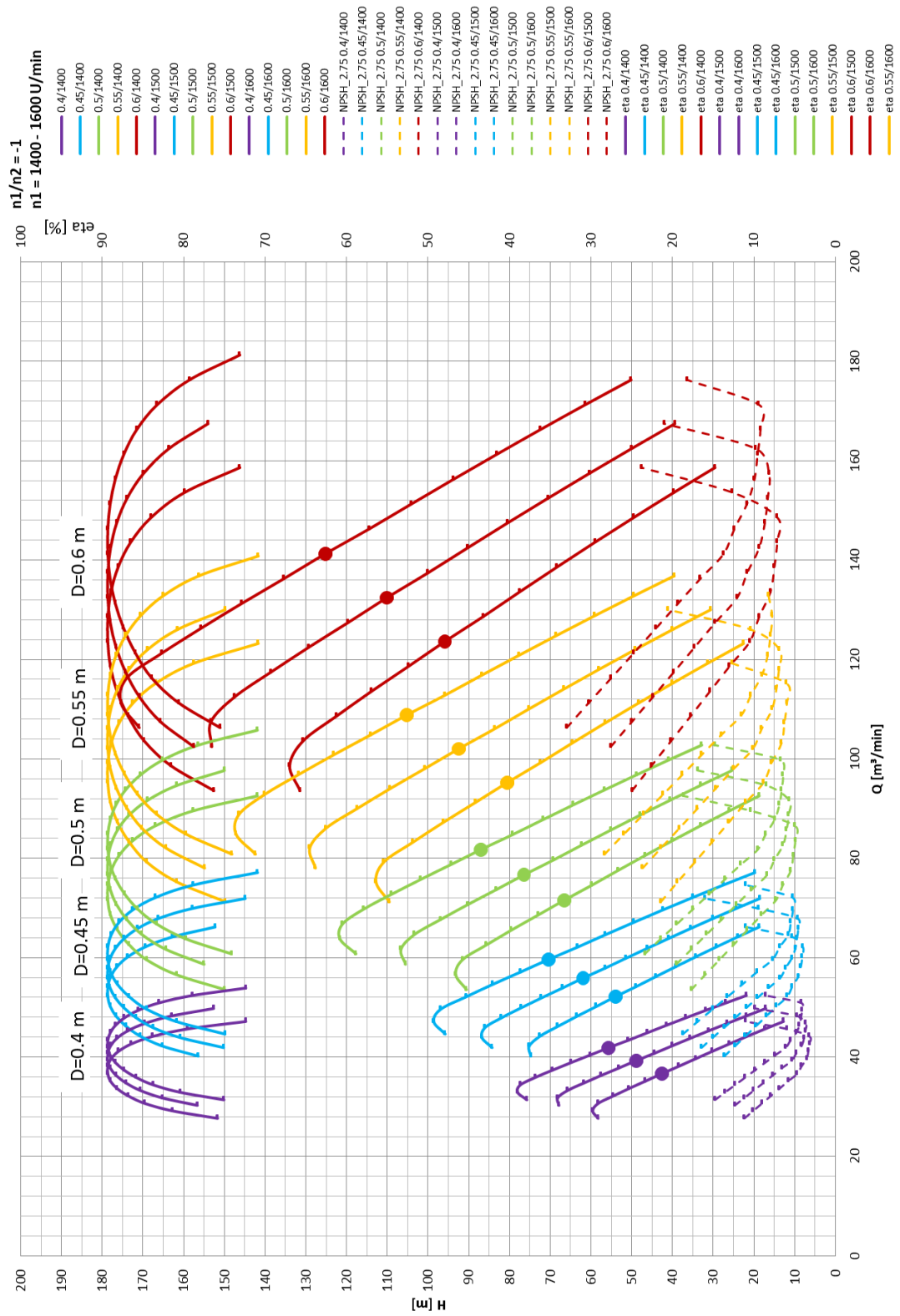


Abb. 3-19 Q-H Übersichtsdiagramm für  $\frac{n_1}{n_2} = -1$

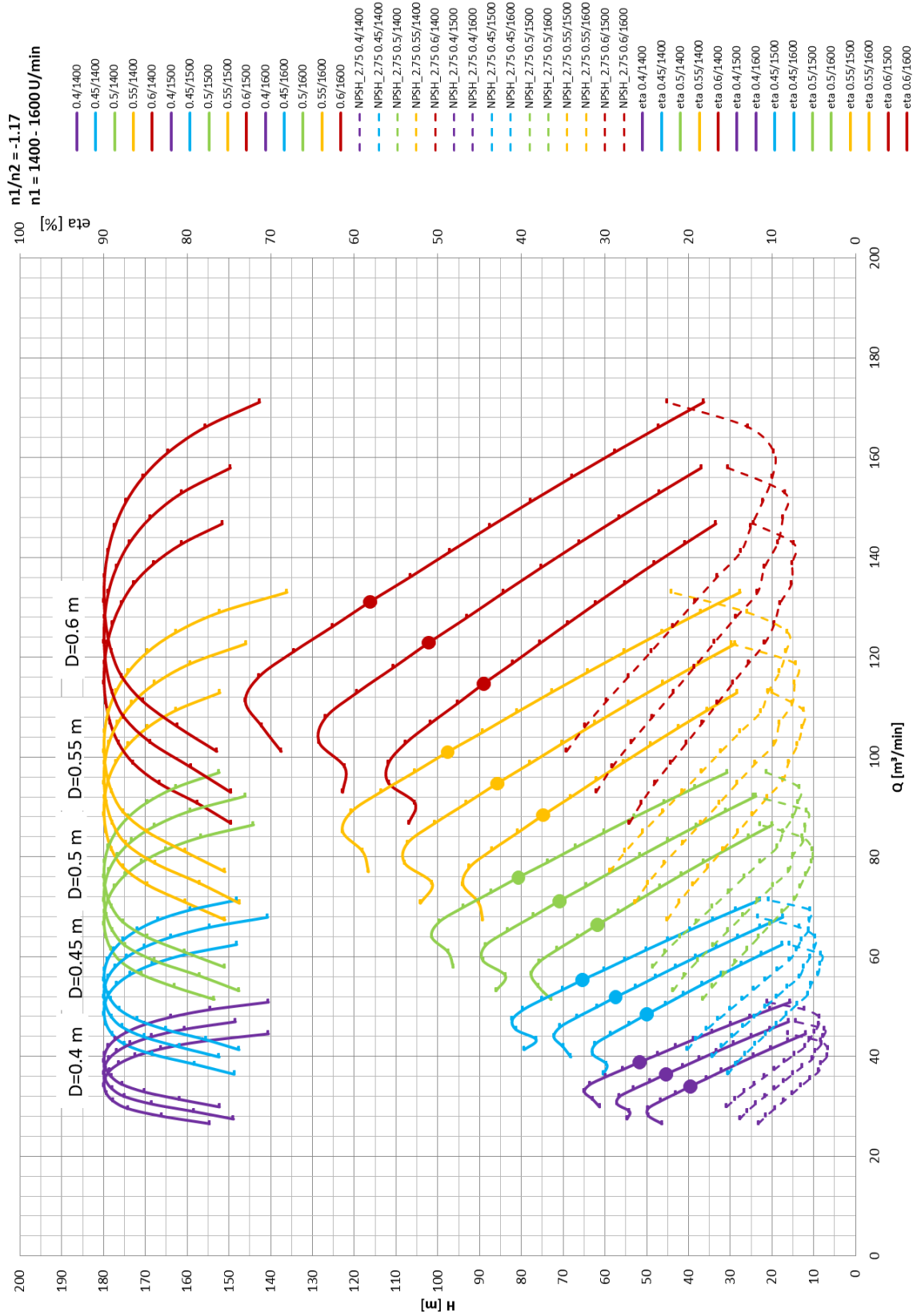


Abb. 3-20 Q-H Übersichtsdiagramm für  $\frac{n_1}{n_2} = -1,17$

### 3.5.5 Q – H – Vergleichsdiagramme ContraRotate und AmuZang

Als Grundlage für die Dimensionierung der AmuZang-Pumpe gelten die aus der Kavitationssystematik von ASTRÖ ausgelesenen Werte der Druckziffer und Förderziffer an der Stelle des Wirkungsgradmaximums, welche als Design Point angenommen wurde. Entsprechend Gleichung (12) und (16) lassen sich die Drehzahl und Durchmesser folgend berechnen.

$$n = \frac{240 \cdot Q}{D^3 \cdot \pi^2 \cdot \varphi_{DP}} \quad (41)$$

$$D = \left( \frac{7200 \cdot g \cdot H}{\psi_{DP}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\pi \cdot n} \quad (42)$$

mit Gleichung (29) in Gleichung (30) eingesetzt folgt daraus:

$$D = \left( \frac{8 \cdot \psi_{DP}}{g \cdot H} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left( \frac{Q}{\pi \cdot \varphi_{DP}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (43)$$

Der NPSHR-Verlauf ergibt sich durch Umformung von Gleichung (23) als das Produkt von dem ebenfalls in der entsprechend Abb. 3-14 dargestellten Kavitationssystematik gegebenen  $\sigma$ -Wert und der vorgegebenen Förderhöhe.

Die ausgelegten Dimensionen der ContraRotate bzw AmuZang-Pumpe sind in der Hauptübersichtsmaske des CR-Auslegungs-Tools in Abb. 3-13 übersichtlich angeführt. Die entsprechenden Kennlinien aller relevanten Drehzahlverhältnisse von -0,75 bis -1,6 im direkten Vergleich mit AmuZang sind in den Abbildungen 3-21 bis 3-28 in Q-H-Diagrammen angezeigt. Der Auslegungspunkt wurde entsprechend bereits oben erwähnten Projekt Kuwait mit einer Förderhöhe von 65 m und einem Förderstrom von 102 m<sup>3</sup>/min gewählt.

Am unteren Rand jedes Diagrammes werden jeweils automatisch die dimensionierten Daten der zu vergleichenden Pumpenvarianten ausgelesen. Weiters erkennt man den in der Hauptübersichtsmaske definierten Betriebsbereich in Form von kleinen Symbolen. Die positive und die negative Schwankung des Wasserspiegels wird ebenso wie die Dimensionierungen automatisch angezeigt.

In jedem der folgenden durch das Auslegungs-Tool erstellten Diagramme, dargestellt in Abb. 3-21 bis Abb. 3.28, werden der Wirkungsgrad, welcher jedoch im Falle von AmuZang gemessen und bei ContraRotate nur berechnet ist, die Kennlinie und das NPSHR-Becken gegenüber gestellt. Bei entsprechend dem Stand der Technik entwickelten AmuZang-Halbxialpumpe gilt hierbei das  $1\text{cm}^2$ -Kriterium, wohingegen bei CR das  $2,75\text{cm}^2$ -Kriterium gilt. Da jedoch die CR-Pumpe hinsichtlich Kavitation noch Potenzial hat ausoptimiert zu werden um das bessere Kriterium zu erreichen, erfolgt hierbei der Vergleich beider Kavitationsbecken trotz unterschiedlicher Kriterien.

Da der Vergleich der grün gezeichneten CR-Pumpe mit dem entsprechend am Stand der Technik ausoptimierten blau eingezeichneten AmuZang-Pumpe erfolgt, ist eindeutig zu erkennen, dass den Wirkungsgrad betreffend AmuZang optimaler ist, aber die Kennlinie der ContraRotate-Pumpe sehr viel steiler ist. Dies hat den Vorteil, dass eine Schwankung des Wasserspiegels weniger Auswirkung auf die Änderung des Förderstroms hat und somit ein geringeres Risiko in den instabilen Bereich der Pumpe zu gelangen. Aufgrund der steileren Kennlinie bringt das verhältnismäßig schmale Kavitationsbecken der CR-Pumpe keinen erheblichen Nachteil. Es wird jedoch beobachtet, dass mit einem Erhöhen des Drehzahlverhältnisses  $|\frac{n_1}{n_2}|$  die Kennlinie flacher wird und sich der AmuZang Kennlinie annähert.

Ebenso lässt sich mit steigendem Drehzahlverhältnis  $|\frac{n_1}{n_2}|$  eine Verlagerung des Kavitationsbecken der CR-Pumpe in Richtung höheren Förderstrom beobachten, das auf die Erhöhung der Drehzahl des ersten Rotors und der damit einhergehenden Erhöhung des NPSHR-Wertes zurückzuführen ist.

Wie bereits oben erwähnt, kann man die Kurven der CR-Pumpe mittels Shift-Funktion des Auslege-Tools nach rechts verschieben, um so im Betriebspunkt einen besseren NPSHR-Wert im „Austausch“ für einen geringeren Wirkungsgrad zu erhalten. Bei den folgend dargestellten Q-H-Diagrammen ist der Shift-Wert Null gesetzt, sprich der Design Point liegt an der Stelle des Wirkungsgradmaximums.

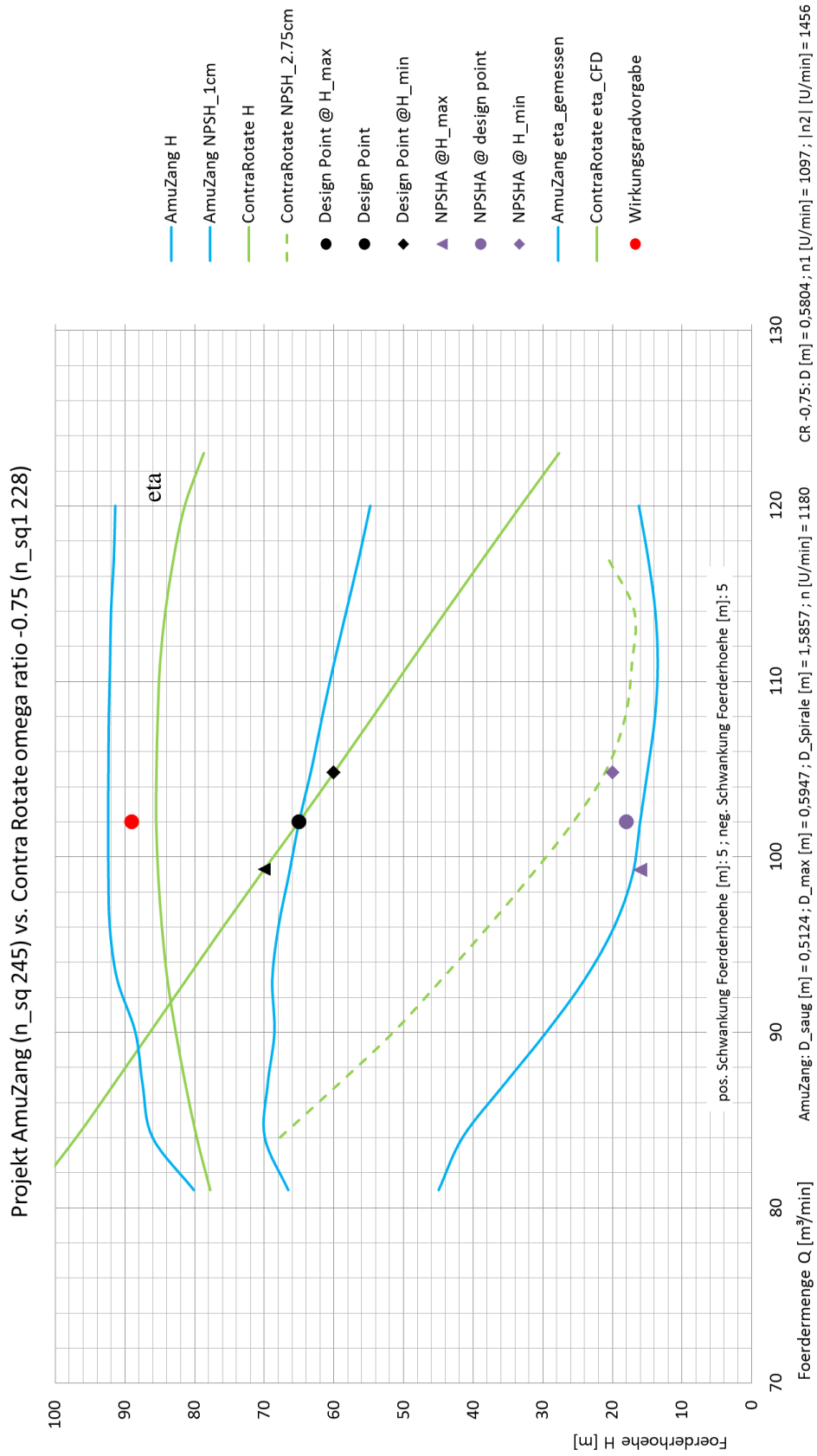


Abb. 3-21 Vergleich Amuzang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -0,75$ ; H = 65m; Q = 102  $\frac{m^3}{min}$

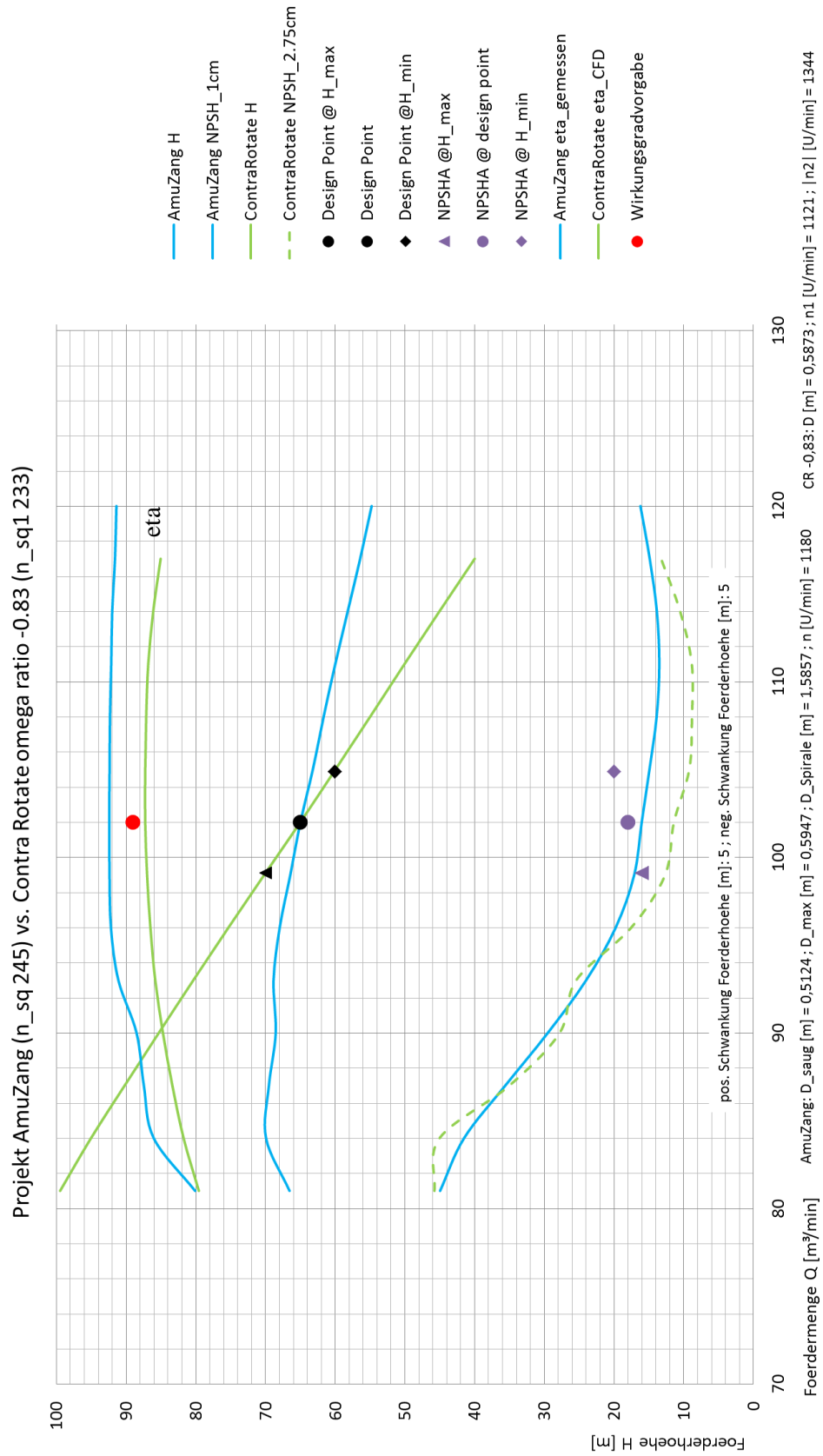


Abb. 3-22 Vergleich Amuzang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -0,83$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

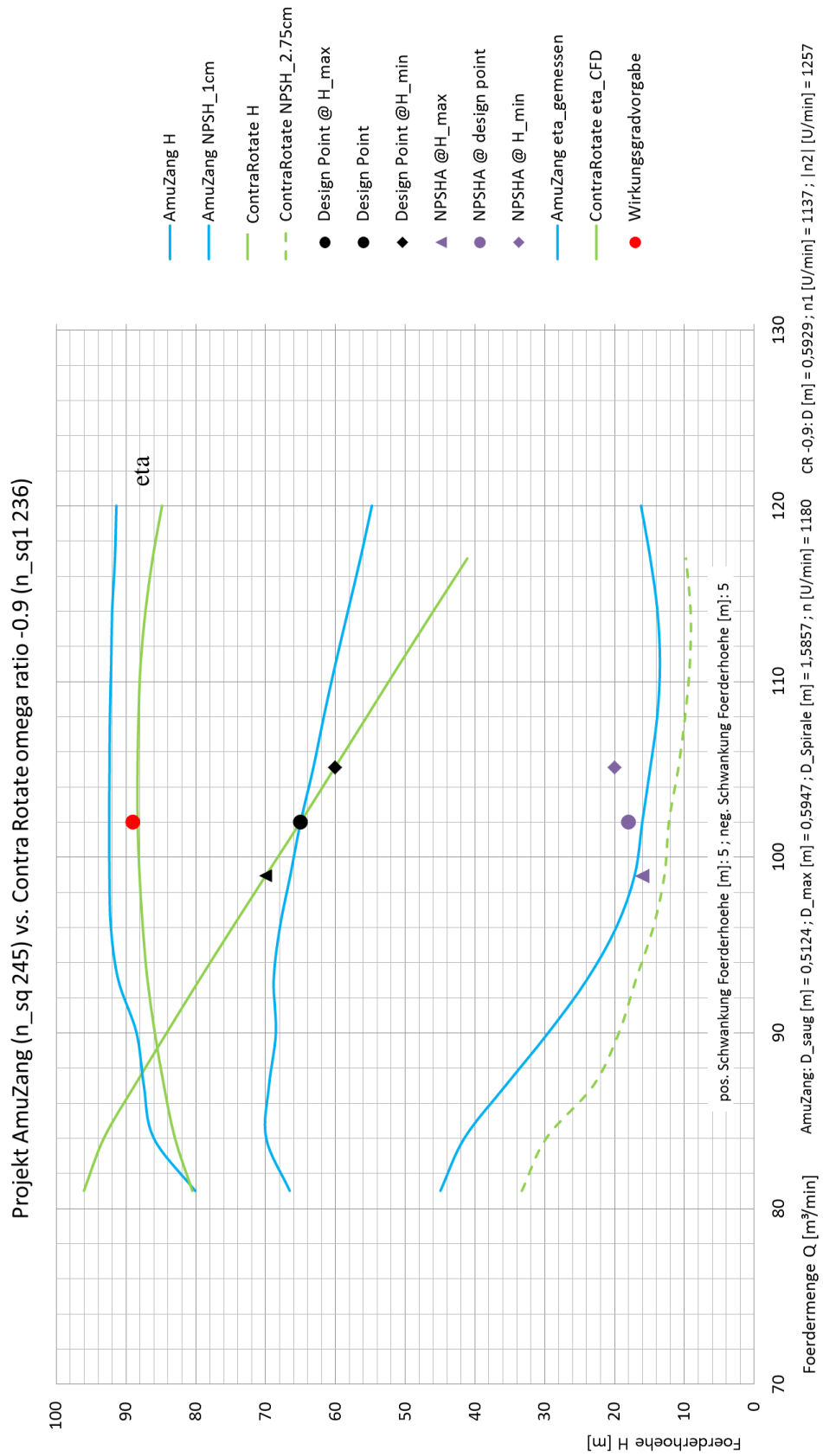


Abb. 3-23 Vergleich Amuzang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -0,9$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$



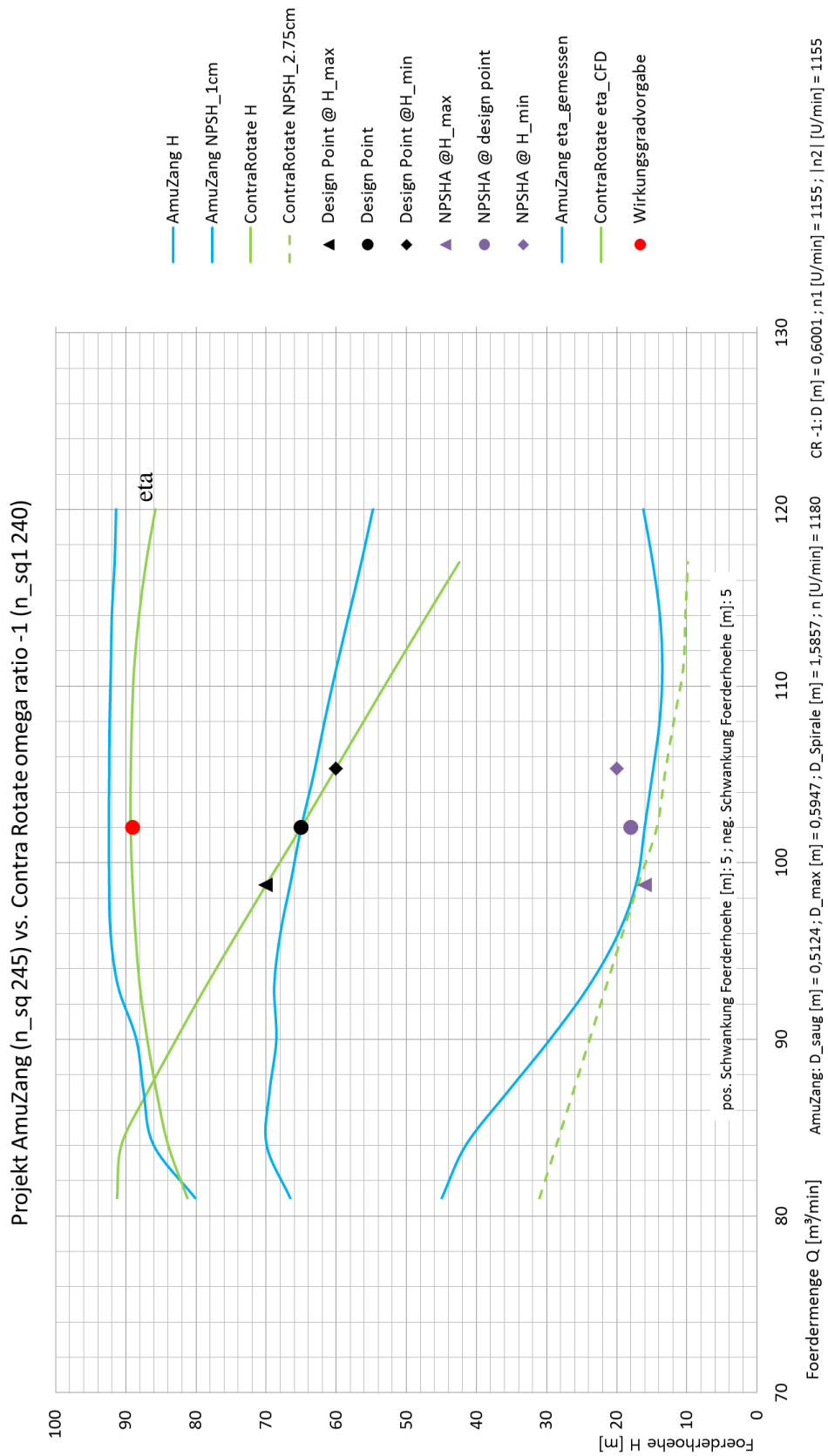


Abb. 3-24 Vergleich AmuZang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -1$ ; H = 65m; Q = 102  $\frac{m^3}{min}$

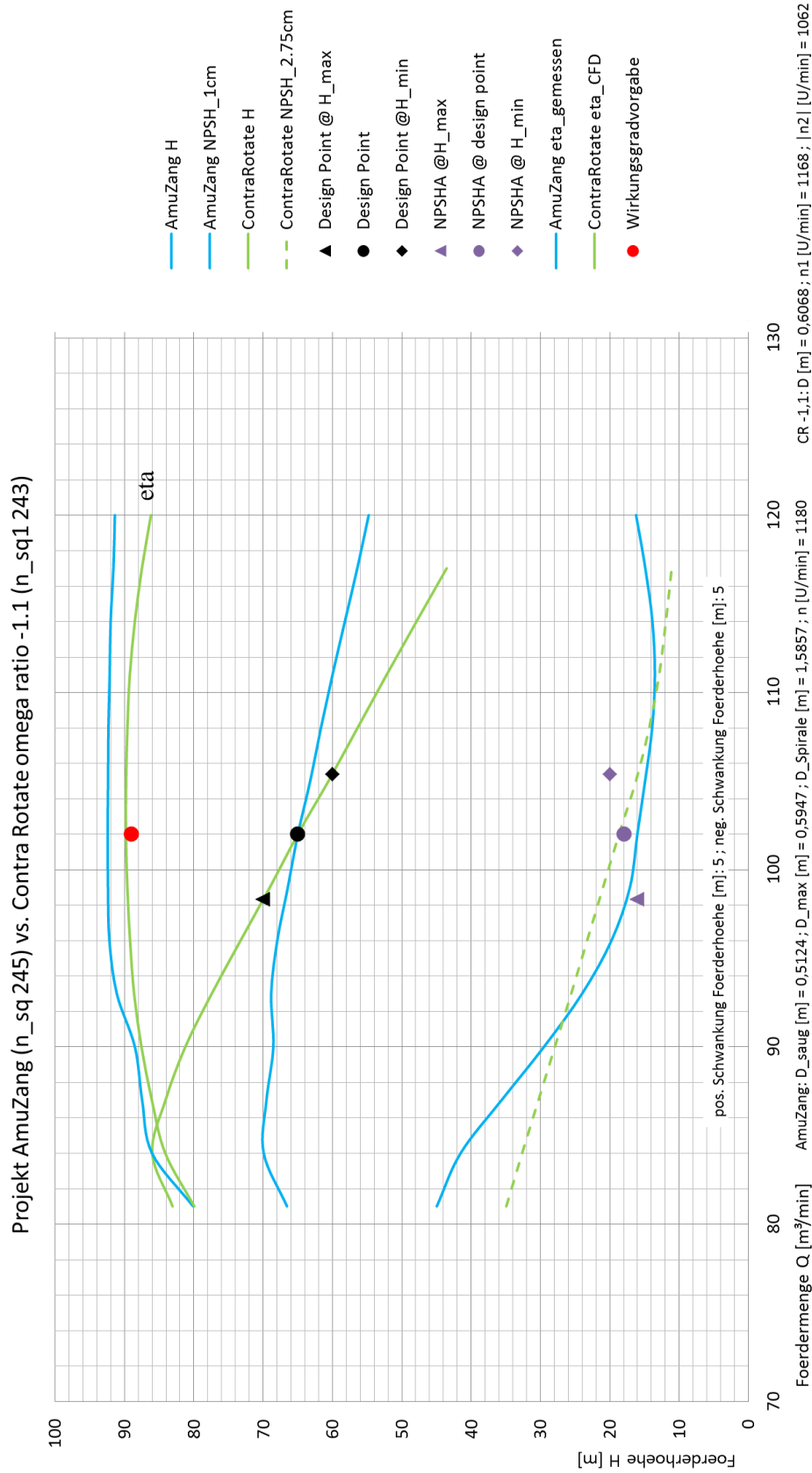


Abb. 3-25 Vergleich AmuZang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -1,1$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

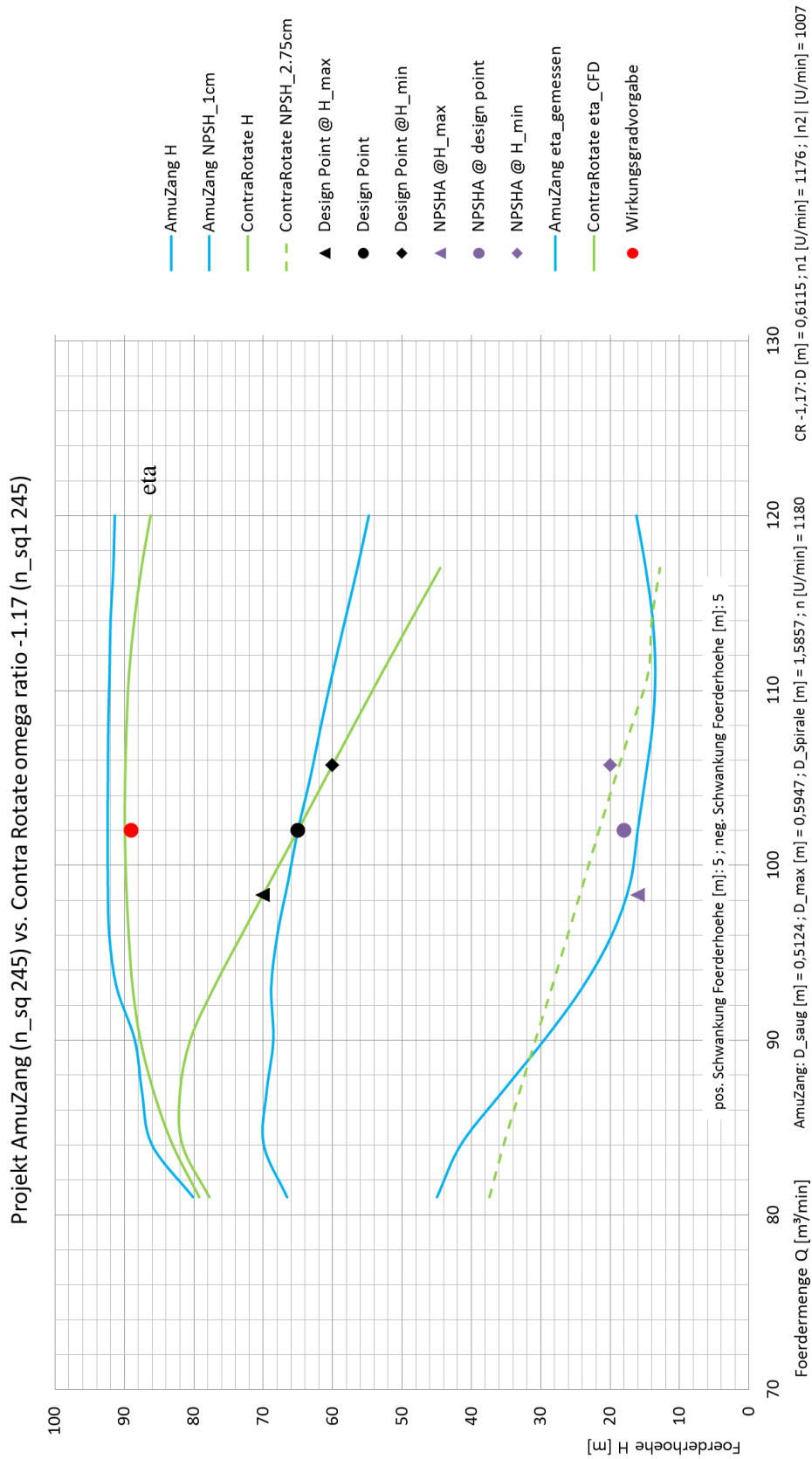


Abb. 3-26 Vergleich Amuzang mit  $CR \frac{n_1}{n_2} = -1,17$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

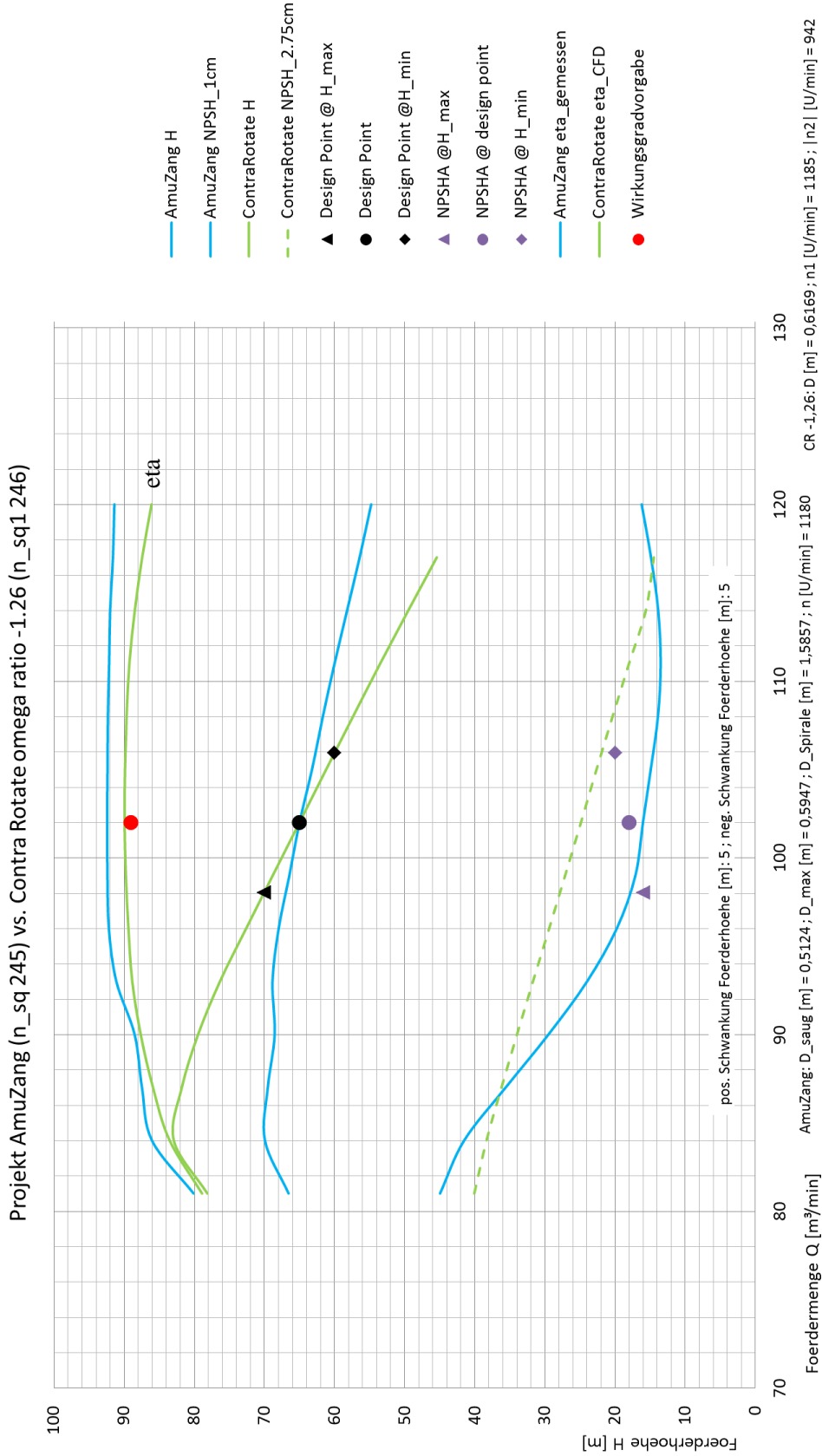


Abb. 3-27 Vergleich AmuZang mit CR  $\frac{n_1}{n_2} = -1,26$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

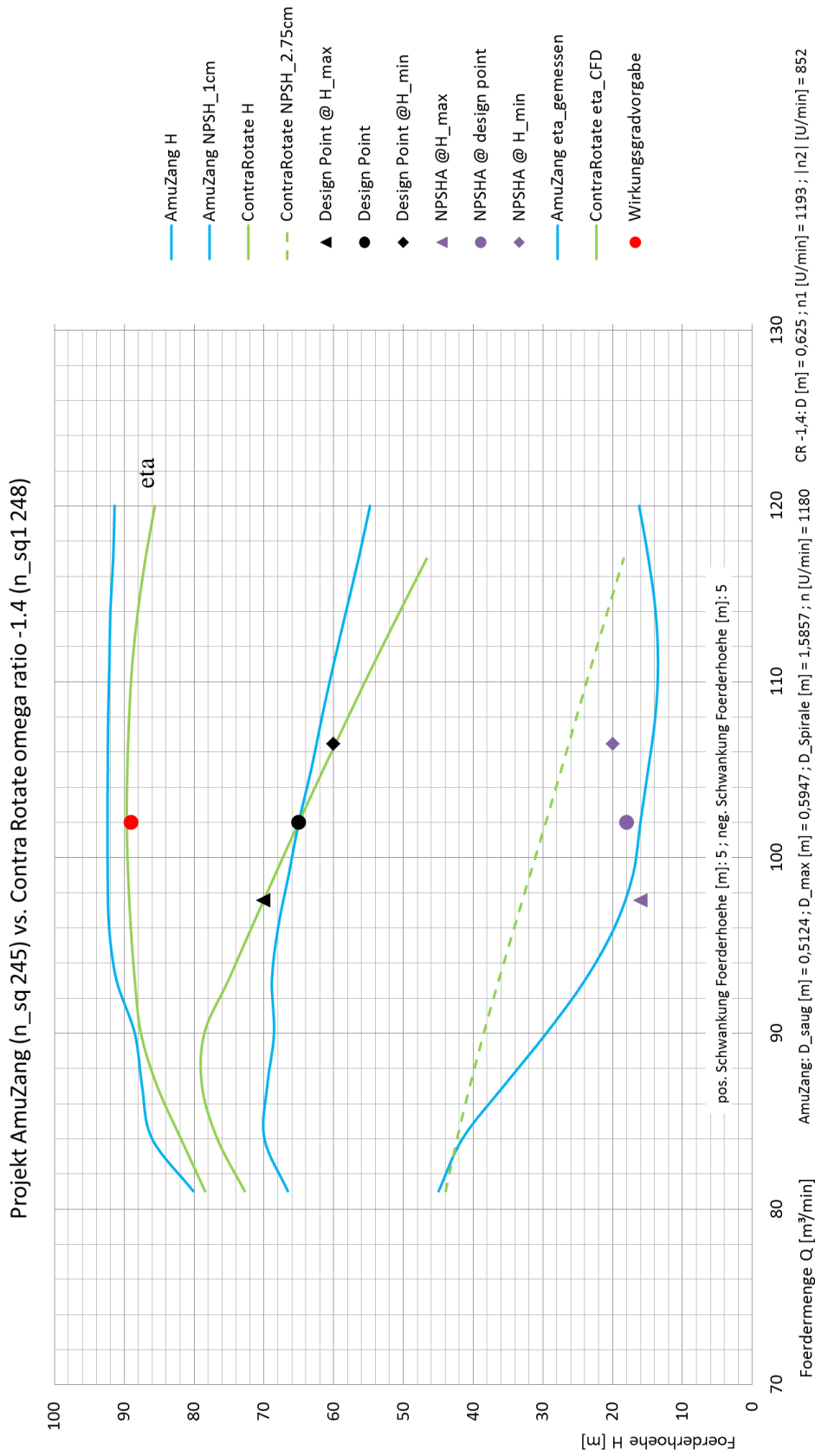


Abb. 3-28 Vergleich AmuZang mit  $CR \frac{n_1}{n_2} = -1,4$ ;  $H = 65\text{m}$ ;  $Q = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass einige Aspekte für eine Weiterentwicklung am Projekt ContraRotate sprechen. Das wohl größte Plus ist die Tatsache, dass eine Axialpumpe eine Halbaxialpumpe mit gleichen hydraulischen Daten ersetzen kann, welches sich natürlich auf die Verringerung der Baugröße auswirkt, da keine Spirale benötigt wird. Vor allem bei eingeschränktem Bauraum, wie etwa in einem Rohr, kann die kompaktere Bauart bei gleichbleibender Förderhöhe und Förderstrom eine entscheidende Bedeutung haben. Trotz der kleineren Baugröße ist jedoch mit höheren Investitionskosten bei der Herstellung einer CR-Pumpe zu rechnen, da der elektrische Antrieb der beiden gegenläufigen Rotoren nach aktuellem Stand relativ komplex ist und weiterer Entwicklungsarbeit bedarf. Seitens ASTRÖ gibt es hierzu schon konkrete Ideen bezüglich der Ausführung der Elektromotoren, welche jedoch hier aufgrund der Themenabgrenzung der Masterarbeit nicht näher erläutert werden.

Weiters hat die CR-Pumpe vor allem bei Drehzahlverhältnissen  $|\frac{n_1}{n_2}| < 1$  hervorragende Kavitationseigenschaften, da man Thomazahlen von unter 0,2 erreicht. Sollten diese daraus resultierenden niedrigen NPSHR bzw  $\psi_c$ -Werte angestrebt werden, muss jedoch im Vergleich zu einer bestehenden Halbaxialpumpe mit Wirkungsgradeinbußen kalkuliert werden, da man sich hier im Bereich von nur etwa 87 % befindet. Dem geringeren Wirkungsgrad stehen jedoch wieder erhöhte Flexibilität und eine steilere Kennlinie entgegen. Wie bereits angeführt ist der Einfluss von Wasserspiegelschwankungen bei einer steileren Kennlinie erheblich geringer, da die Änderung des Förderstroms geringer ausfällt und der instabile Bereich der Pumpe nicht so leicht erreicht wird, womit in weiterer Folge eine größere Variation der Förderhöhe möglich ist. Geht man nun davon aus, die Drehzahlen der Laufräder einzeln während des Betriebes steuern zu können, ist mit einem Prototypen einer ContraRotate-Axialpumpe ein sehr großer Betriebsbereich möglich, welcher mit einem vergleichbaren Prototypen einer Halbaxialpumpe nicht realisierbar wäre.

Ein Beispiel wäre das oben erwähnte ANDRITZ Hydro Projekt „Kuwait“, welches eine Pumpe zur Abwasserbeförderung darstellt und einen im Vergleich zu AmuZang oder Thotapally geringeren Wirkungsgrad hat. Durch Ersetzen der bestehenden Kuwait-Pumpe gäbe es zusätzlich zur Verkleinerung der Baugröße und Erhöhen des Wirkungsgrades den Vorteil des *Flushing*, wobei mittels gezieltem Ansteuern der beiden gegenläufigen Rotoren größere Unreinheiten in der Pumpe gelöst und weggeschwemmt werden könnten ohne das Pumpengehäuse zerlegen zu müssen.

## Literaturverzeichnis

Brenn, G.: Basic equations in fluid mechanics. Technische Universität Graz, 2009

Bohl, H.; Elmendorf, W.: Strömungsmaschinen 1. 9. Auflage, Vogel Buchverlag Würzburg, ISBN 380231980X, 2004

Sigloch, H.: Strömungsmaschinen, Grundlagen und Anwendungen. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, ISBN 3446173641, 1993

Pfleiderer, C.: Strömungsmaschinen. 6. Auflage, Springer Verlag Berlin, ISBN 3540530371, 1990

Ferziger, J. H.; Perić M.: Computational Methods for Fluid Dynamics. 3. Auflage, Springer Verlag Berlin, ISBN 3540420746, 2002

KSB Aktiengesellschaft: Auslegung von Kreiselpumpen, 5.Auflage, KSB Frankenthal, ISBN 3000047344, 2005

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	CRP Propellergondel-Antrieb von Mitsubishi Heavy Industries; Ltd. und Schematischer Aufbau des CR-Antriebes des japanischen Super Eco-Ship.....	10
Abb. 1-2	Versuchsaufbau der Kanemoto-Oba CR-Pumpe .....	11
Abb. 1-3	Geschwindigkeitsdreiecke an der CR-Pumpe .....	12
Abb. 2-1	A: Entstehung der Dampfblase, B: Zusammenbrechen der Dampfblase, C: Werkstoffzerstörung.....	18
Abb. 2-2	Darstellung der saugseitigen und druckseitigen Kavitation.....	19
Abb. 2-3	Ermittlung des NPSHA-Wert bei Saugbetrieb.....	20
Abb. 2-4	Experimentelle Ermittlung von $NPSH_{\text{erf}}$ ( $NPSHR$ ) für Kavitationskriterium $NPSH_{3\%}$ .....	21
Abb. 3-1	Strukturierte Hexahedra-Gitter von Einlauf und LR1 .....	23
Abb. 3-2	Strukturiertes Hexahedra-Gitter des Spaltes .....	24
Abb. 3-3	Modellviertel der CR-Pumpe in ANSYS CFX-Pre.....	26
Abb. 3-4	$y+$ Konturen-Darstellung von LR1 und LR2 .....	27
Abb. 3-5	Modell Drehzahlen $n_1$ und $ n_2 $ über Drehzahlverhältnis $ n_1 n_2 $ .....	28
Abb. 3-6	Konvergenz Monitor des Wirkungsgrades bei $n_1 n_2 = -1$ und $c_1 = 4,5 \text{ ms}$ ...	29
Abb. 3-7	Konvergenz Monitor des Wirkungsgrades bei $n_1 n_2 = -1,17$ und $c_1 = 3,38 \text{ ms}$ 30	
Abb. 3-8	Das aus vier Modellvierteln zusammengesetzte CR-Modell in ANSYS CFX-Post dargestellt mit Einlaufnabe.....	31
Abb. 3-9	$LR1$ , $LR2$ und $outlet$ in ANSYS CFX-Post dargestellt ohne Einlaufnabe und mit Stromlinien zur Veranschaulichung des Dralls in der Abströmung.....	32
Abb. 3-10	$\varphi_1 - \eta$ – Übersichtsdiagramm der CR–Pumpe.....	36
Abb. 3-11	$Q - \eta$ – Übersichtsdiagramm der CR–Pumpe .....	36
Abb. 3-12	$\varphi_1 - \psi_{c_{1\text{cm}^2}}$ – Detaildiagramm der CR–Pumpe.....	37
Abb. 3-13	Hauptübersichtsmaske CR-Auslegungstool mit Vorgabe H und Q.....	38
Abb. 3-14	$n_s - \psi_c$ Kavitationssystematik einiger bisheriger ANDRITZ AG Projekte .....	41
Abb. 3-15	Übersichtsmaske CR-Auslegungstool mit Vorgabe $n_1$ und D .....	42
Abb. 3-16	$\varphi_1 - \psi_{\text{ges}} / \psi_{c_{\text{max}}} / \eta$ – Übersichtsdiagramm der CR–Pumpe .....	43
Abb. 3-17	Q-H Übersichtsdiagramm für $D = 0,6 \text{ m}$ .....	46
Abb. 3-18	Q-H Übersichtsdiagramm für $n_1 n_2 = -0,83$ .....	49
Abb. 3-19	Q-H Übersichtsdiagramm für $n_1 n_2 = -1$ .....	50
Abb. 3-20	Q-H Übersichtsdiagramm für $n_1 n_2 = -1,17$ .....	51
Abb. 3-21	Vergleich AmuZang mit CR $n_1 n_2 = -0,75$ ; $H = 65 \text{ m}$ ; $Q = 102 \text{ m}^3 \text{ min}$ .....	54
Abb. 3-22	Vergleich AmuZang mit CR $n_1 n_2 = -0,83$ ; $H = 65 \text{ m}$ ; $Q = 102 \text{ m}^3 \text{ min}$ .....	55



---

Abb. 3-23	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -0,9$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	56
Abb. 3-24	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -1$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	57
Abb. 3-25	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -1,1$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	58
Abb. 3-26	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -1,17$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	59
Abb. 3-27	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -1,26$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	60
Abb. 3-28	Vergleich AmuZang mit CR $n_1n_2 = -1,4$ ; $H = 65\text{m}$ ; $Q = 102\text{m}^3\text{min}$ .....	61
Abb. 0-1	Kennlinie des Vergleichsprojekt <i>Kuwait</i> von ANDRITZ Hydro.....	68

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1	Post-Batch-File Teil A für Drehzahlverhältnis $n_1 n_2 = -2$ .....	33
Tab. 3-2	Post-Batch-File Teil B für Drehzahlverhältnis $n_1 n_2 = -2$ .....	33
Tab. 3-3	Post-Batch-File Teil C für Drehzahlverhältnis $n_1 n_2 = -2$ .....	35
Tab. 3-4	Post-Batch-File Teil D für Drehzahlverhältnis $n_1 n_2 = -2$ .....	35
Tab. 0-1	Rohdaten -0,4; -0,5 und -0,6 Teil A .....	69
Tab. 0-2	Rohdaten -0,4; -0,5 und -0,6 Teil B .....	70
Tab. 0-3	Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil A.....	71
Tab. 0-4	Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil B.....	72
Tab. 0-5	Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil C.....	73
Tab. 0-6	Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil D.....	74
Tab. 0-7	Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil E.....	75
Tab. 0-8	Rohdaten -0,9 und -1 Teil A.....	76
Tab. 0-9	Rohdaten -0,9 und -1 Teil B.....	77
Tab. 0-10	Rohdaten -0,9 und -1 Teil C.....	78
Tab. 0-11	Rohdaten -0,9 und -1 Teil D.....	79
Tab. 0-12	Rohdaten -0,9 und -1 Teil E.....	80
Tab. 0-13	Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil A.....	81
Tab. 0-14	Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil B.....	82
Tab. 0-15	Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil C.....	83
Tab. 0-16	Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil D.....	84
Tab. 0-17	Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil E.....	85
Tab. 0-18	Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil A.....	86
Tab. 0-19	Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil B.....	87
Tab. 0-20	Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil C.....	88
Tab. 0-21	Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil D.....	89
Tab. 0-22	Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil E.....	90
Tab. 0-23	Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil A.....	91
Tab. 0-24	Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil B.....	92
Tab. 0-25	Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil C.....	93
Tab. 0-26	Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil D.....	94
Tab. 0-27	Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil E.....	95
Tab. 0-28	Rohdaten -2 Teil A.....	96
Tab. 0-29	Rohdaten -2 Teil B.....	96
Tab. 0-30	Rohdaten -2 Teil C.....	96

---

Tab. 0-31	Rohdaten -2 Teil D .....	97
Tab. 0-32	Rohdaten -2 Teil E .....	97

Anhang

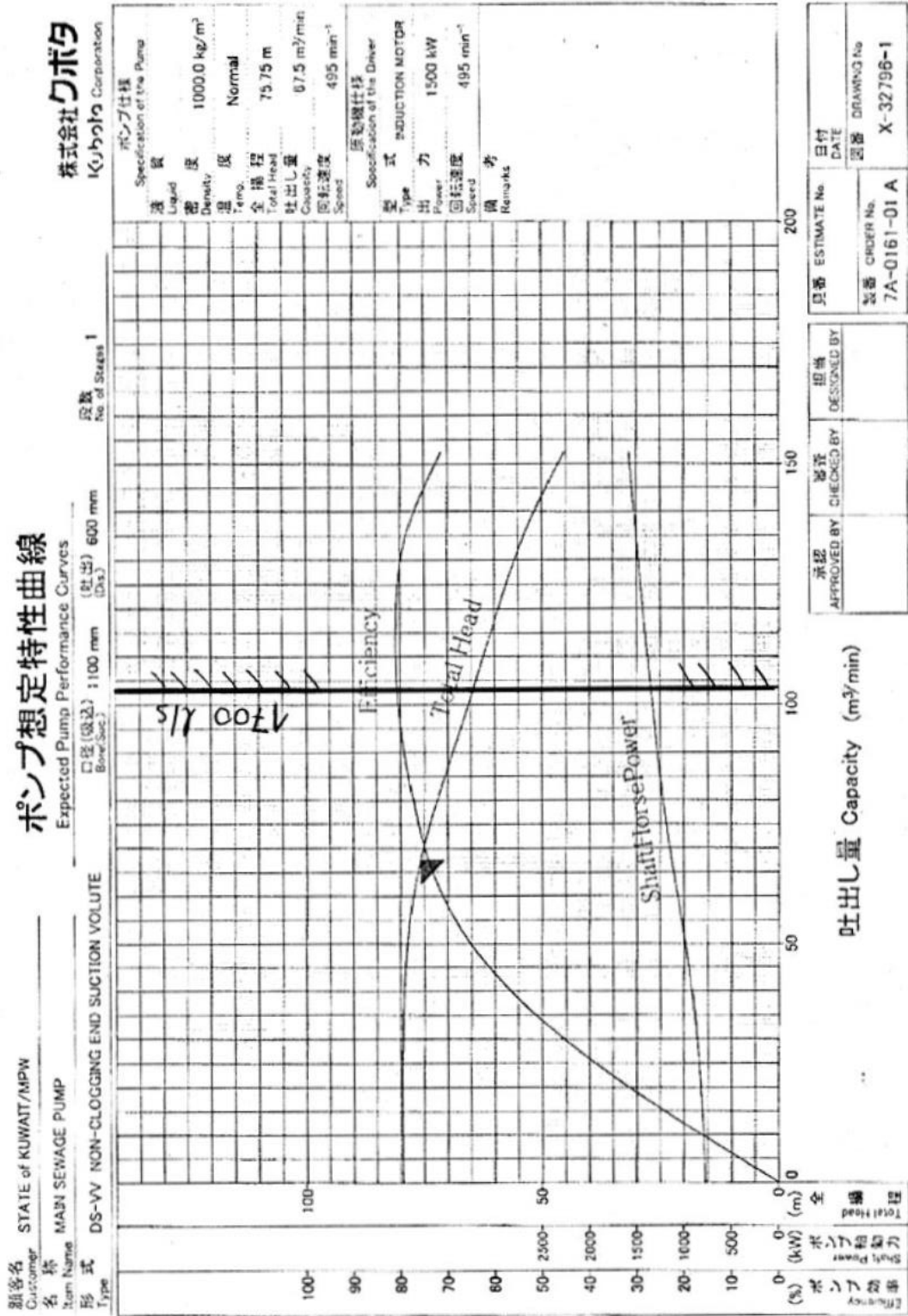


Abb. 0-1 Kennlinie des Vergleichsprojekt Kuwait von ANDRITZ Hydro

Tab. 0-1 Rohdaten -0,4; -0,5 und -0,6 Teil A

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	Q_cfd_modell	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-0,40	0,265103511	35,52027165	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	2,419915338	37,05895711	2,828224438	58,14032062
-0,40	0,280695486	35,56553017	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	1,84925706	36,4223066	2,258830444	53,7503614
-0,40	0,29628987	31,83009238	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	1,283293584	32,91035293	1,706537261	47,79054372
-0,40	0,311884052	28,55347406	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	0,710476371	29,95929654	1,163577377	42,81907006
-0,40	0,327478837	25,45305736	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	0,11924637	27,19634811	0,6222224912	38,46033922
-0,40	0,343072417	22,33915699	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-0,486399333	24,61106552	0,084633025	34,55568052
-0,40	0,358667202	19,40328597	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-1,11812839	21,95681835	0,455805726	30,78394757
-0,40	0,374261184	16,09519479	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-1,76744436	19,52236307	0,991962467	27,40101052
-0,40	0,389855366	13,04681579	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-2,45234847	16,92201052	1,53160276	23,9476567
-0,40	0,405448345	9,883243775	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-3,18733735	14,22181414	2,078061326	20,48557993
-0,40	0,421043129	6,585385002	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-3,97375126	11,3736235	2,626821849	16,96373559
-0,40	0,436637914	2,991984587	0,330652	0,165579	86,767714	-216,91929	-4,82669026	8,419373987	3,197153957	13,44881102
-0,50	0,265107924	39,33394748	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	5,145119083	35,67992649	5,632449508	55,19458415
-0,50	0,280700502	36,28035755	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	4,464440405	33,16018312	4,93150332	49,35349963
-0,50	0,296292477	33,47374494	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	3,797460229	30,79167354	4,256819221	44,37125547
-0,50	0,311886058	30,42863834	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	3,147962121	28,19878437	3,609083345	39,6054038
-0,50	0,32748004	27,30150531	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	2,492419004	25,81537117	2,964193276	35,42243668
-0,50	0,343073821	24,13261734	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	1,825731793	23,47765711	2,320141332	31,5721849
-0,50	0,358667603	21,01884512	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	1,149737462	21,15161723	1,680535247	27,99181945
-0,50	0,374261785	17,96096346	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	0,45870401	18,7511152	1,045585096	24,63260916
-0,50	0,389855968	14,92710926	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	-0,24910034	16,24621191	0,410001847	21,38899037
-0,50	0,405450351	11,83230043	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	-0,95782517	13,64062306	0,21251533	18,16588937
-0,50	0,421043129	9,278103259	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	-1,60206945	11,26228745	0,741094067	15,31208628
-0,50	0,436637914	5,792301951	0,330652	0,165579	101,229	-202,458	-2,36248827	8,496804034	1,369023335	12,12150905
-0,60	0,265104514	44,27450151	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	8,065908431	38,53473794	8,692505138	54,67427488
-0,60	0,280695687	41,81823843	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	7,376644523	35,8890819	7,963964302	50,15533152
-0,60	0,296289468	37,68300367	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	6,6495505	32,32540965	7,20570657	43,42797681
-0,60	0,311884052	34,10020294	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	5,922955607	29,29423954	6,461483613	38,20039802
-0,60	0,327478435	30,7388267	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	5,190936357	26,47814287	5,721924659	33,8361356
-0,60	0,343072818	27,47715617	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	4,463719133	23,75890153	4,996508109	29,95116581
-0,60	0,35866666	24,24400015	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	3,729855056	21,04923199	4,271767208	26,34029398
-0,60	0,374260983	21,05184107	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	2,99025602	18,44915939	3,552315965	23,0203155
-0,60	0,389855165	17,92603289	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	2,244517107	15,97876533	2,839227376	19,94397716
-0,60	0,405448345	14,68192984	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	1,490600638	13,46083599	2,129870912	16,93246671
-0,60	0,421043129	11,32263645	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	0,722294061	10,86642402	1,424643019	13,94733656
-0,60	0,436637914	7,859829713	0,330652	0,165579	113,88263	-189,80438	-0,06212132	8,194469917	0,719594623	10,97370748

Tab. 0-2 Rohdaten -0,4; -0,5 und -0,6 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-0,40	-	0	0,432815792	-340317,1667	0,582599956	84,515304	694,958548
-0,40	-	0,823332501	0,574511209	-339328,7881	0,634994525	71,470212	680,272348
-0,40	-	0,799052367	0,579386055	-301277,3427	0,643070091	56,99524	638,446888
-0,40	-	0,813628836	0,607295701	-266694,8639	0,649198621	40,9067	602,138504
-0,40	3,10324279	0,859479145	0,690314799	-234211,3164	0,651263752	22,968712	567,887552
-0,40	2,850784019	0,989753339	0,808734559	-202125,7373	0,644888995	3,272892	534,528976
-0,40	2,978457268	1,169473682	0,976469734	-171228,0877	0,621108809	18,427968	497,831044
-0,40	3,366528237	1,463632693	1,247653806	-137709,3867	0,566872472	41,848128	462,388864
-0,40	4,130912832	1,938455628	1,670631478	-105879,6567	0,512056318	67,306292	420,951964
-0,40	5,758338586	2,785909067	2,454134061	-72843,22389	0,43801635	94,972944	374,498252
-0,40	9,461881205	4,668110692	4,133525644	-38575,84762	0,336150976	124,67036	322,04316
-0,40	22,7789108	11,60073162	10,26205488	-1459,318059	0,179742333	157,358788	264,77156
-0,50	-	-	-	-375909,1667	0,646652403	144,271064	706,8844
-0,50	-	-	-	-344319,7881	0,668331134	133,746288	669,25306
-0,50	-	-	-	-315141,3427	0,688362539	121,861088	635,113824
-0,50	-	0,625018743	0,428574769	-283682,8639	0,704130498	108,755716	596,732416
-0,50	-	0,60751687	0,441274928	-251476,3164	0,711224334	93,788712	560,392728
-0,50	2,433446163	0,638803655	0,505579141	-218894,7373	0,712037798	76,90618	523,264704
-0,50	2,178415169	0,754387537	0,630823468	-186820,0877	0,708364581	58,237	485,01202
-0,50	2,298580891	0,949093256	0,80309146	-155241,3867	0,699463649	37,808904	445,364016
-0,50	2,644729988	1,220000596	1,058042571	-123830,6567	0,684761438	15,443624	402,831752
-0,50	3,650599075	1,693184338	1,46623702	-91752,92389	0,643815425	8,325056	355,81444
-0,50	5,5378393	2,483755069	2,161840631	-64891,74762	0,577960445	30,148044	311,45132
-0,50	10,39119056	4,61047304	4,021351909	-28848,01806	0,429360516	57,755256	255,68624
-0,60	-	0,570555379	0,370315993	-423567,1667	0,698702088	197,910472	746,892504
-0,60	-	0,540260461	0,341181428	-398351,7881	0,719524176	191,986964	725,455524
-0,60	-	0,51795426	0,325066777	-356491,3427	0,744227975	183,35784	663,046152
-0,60	-	-	0,302975987	-320039,8639	0,763519173	173,074112	613,930208
-0,60	-	0,437016899	0,279638712	-285119,3164	0,777055965	160,927972	570,980676
-0,60	-	0,398277723	0,27154995	-251665,7373	0,786237054	147,217556	529,490276
-0,60	1,7423451	0,419095722	0,338735731	-218393,0877	0,791975424	131,584644	486,82122
-0,60	1,478541909	0,52232786	0,456849118	-185478,3867	0,792237724	114,180736	443,959928
-0,60	1,547071923	0,684470274	0,619019947	-153161,6567	0,78680911	95,062704	400,657252
-0,60	1,987616954	0,984519433	0,864007598	-119623,9239	0,770206159	74,164404	353,76406
-0,60	3,176803944	1,520704398	1,284923052	-84888,44762	0,73657634	51,515668	302,6048
-0,60	5,599292604	2,594150846	2,274694992	-49069,61806	0,672165112	26,984604	246,906664

Tab. 0-3 Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil A

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$ [-]	$Q_{cfd,modell}$	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-0,75	0,249508526	48,04048002	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	13,46859085	36,7390626	14,51671328	54,4707647
-0,75	0,2651001	47,47576921	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	12,72627233	36,44563703	13,64967082	50,95087805
-0,75	0,280694483	44,13924823	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	11,90562724	33,09736898	12,71935106	44,60209396
-0,75	0,296289669	40,51247152	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	11,06830611	30,00141275	11,80794508	38,90855866
-0,75	0,311884052	37,2292717	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	10,23803785	27,39739984	10,92844218	34,36486558
-0,75	0,327478435	33,98859792	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	9,40766014	24,81267432	10,06580977	30,41395983
-0,75	0,343072618	30,71463394	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	8,57646309	22,26753037	9,214296164	26,8721428
-0,75	0,358667001	27,29194848	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	7,741171218	19,68129371	8,367824694	23,54415075
-0,75	0,374260983	23,96167353	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	6,905365262	17,21819739	7,529120002	20,51117245
-0,75	0,389855165	20,74877226	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	6,067402685	14,86908052	6,696795564	17,70961778
-0,75	0,405448345	17,4771657	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	5,226742806	12,46188297	5,868790921	14,96906874
-0,75	0,421043129	14,13689909	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	4,38351217	9,987021285	5,045793183	12,26521139
-0,75	0,436637914	10,71867127	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	3,534294838	7,436551922	4,228717286	9,580150566
-0,75	0,452232698	7,209495099	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	2,679816739	4,7947989	3,418593237	6,910649511
-0,75	0,467827482	3,583994465	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	1,814771434	2,044144635	2,610499928	4,231825807
-0,75	0,483422267	-0,16534553	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	0,934465946	-0,820315494	1,80530026	1,55087353
-0,75	0,499013039	-4,03100951	0,330652	0,331158	130,48714	-173,19986	0,03984997	-3,792334811	1,00165142	1,129095556
-0,83	0,265101304	45,82363991	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	15,10977193	30,52930383	16,20534283	45,7270082
-0,83	0,280695888	44,56763392	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	14,24373062	30,05741843	15,21074455	41,40326674
-0,83	0,296289669	41,67730685	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	13,37645205	28,55581231	14,24125883	36,61084286
-0,83	0,311884052	38,5063663	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	12,49966473	26,19352762	13,29161682	32,40863261
-0,83	0,327478837	35,28529075	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	11,62327743	23,77274597	12,36494716	28,72053943
-0,83	0,343072217	31,99849773	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	10,74607485	21,33821363	11,45372889	25,3758904
-0,83	0,358667001	28,61528648	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	9,864460481	18,86702829	10,55105108	22,23844209
-0,83	0,374260983	25,34646885	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	8,982544813	16,51454374	9,656984466	19,38743956
-0,83	0,389855567	22,14319284	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	8,098263612	14,22607607	8,768810192	16,72120331
-0,83	0,405448345	18,8815291	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	7,213375487	11,87713893	7,88794104	14,11385133
-0,83	0,421043129	15,55435301	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	6,325955197	9,461143959	7,011632678	11,54219341
-0,83	0,436637914	12,1546203	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	5,43620853	6,969192658	6,13987765	8,99234529
-0,83	0,452232698	8,652038836	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	4,541487378	4,374210938	5,272845433	6,446968979
-0,83	0,467827482	5,048827291	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	3,641853087	1,677665994	4,413100579	3,900792358
-0,83	0,483422267	1,339722172	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	2,73490498	-1,12442047	3,557277	1,3589404
-0,83	0,499013039	-2,47529241	0,330652	0,331158	138,09295	-165,59405	1,817425306	-4,027554231	2,704211452	1,181386341

Tab. 0-4 Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-0,75	2,147029806	0,500726322	0,361397429	-460960,51	0,696365216	271,487684	767,477228
-0,75	2,252587738	0,470382478	0,342906301	-454156,1667	0,734912784	271,224248	762,742948
-0,75	2,432271458	0,435668601	0,307760644	-420257,7881	0,770030278	267,605648	706,977776
-0,75	-1,55453418	0,391101507	0,273978475	-383468,3427	0,79880253	262,23296	650,995952
-0,75	-1,56397073	0,323070744	0,211937545	-349960,8639	0,821959657	255,474684	605,235584
-0,75	-1,58267707	0,256767064	0,178993248	-316795,3164	0,839644056	247,074468	562,434964
-0,75	-1,60733729	0,222874888	0,16508907	-283241,7373	0,851140618	236,943428	520,600992
-0,75	-1,62704909	0,180841069	0,135626703	-248170,0877	0,855225917	224,95748	476,860212
-0,75	-1,62907216	0,200364549	0,198844826	-213931,3867	0,854544351	211,21036	433,492588
-0,75	0,652476851	0,299782274	0,262943975	-180769,6567	0,850136068	195,689164	389,878348
-0,75	0,697005569	0,470914564	0,454674476	-146962,9239	0,83872173	178,35308	342,72592
-0,75	1,229653322	0,729906725	0,694844464	-112413,0476	0,816642329	159,240112	291,62064
-0,75	2,228440206	1,254933972	1,180583901	-77030,71806	0,776216515	138,396956	236,2166
-0,75	4,397226559	2,652092099	2,41678967	-40687,4352	0,697969374	115,879292	176,4808
-0,75	12,23573148	7,483495372	6,760117166	-3135,499048	0,523797697	91,538936	111,797
-0,75	-374,63521	69,84108592	57,4224974	35698,5904	-0,049266081	65,414276	42,33696
-0,75	-20,6909173	2,812485952	2,533128017	75740,74458	-1,891829276	37,464932	31,817
-0,83	1,968624395	0,459335139	0,339727682	-438058,1667	0,739898279	304,272528	715,985276
-0,83	2,08722018	0,433612944	0,313589998	-424441,7881	0,787219151	302,398184	686,420268
-0,83	2,11112757	0,395290496	0,282615567	-394833,3427	0,819578847	298,852948	640,686652
-0,83	1,953903922	0,335910172	0,240808037	-362430,8639	0,842585474	293,605128	596,998604
-0,83	1,712235248	0,268621059	0,199102698	-329470,3164	0,858826162	286,792744	555,514336
-0,83	1,414502783	0,198872243	0,174174041	-295798,7373	0,868825102	278,307624	514,19314
-0,83	1,102591665	0,168984341	0,158689679	-261113,0877	0,872696822	268,027776	471,102296
-0,83	0,775350429	0,159782017	0,151803163	-227475,3867	0,872679342	255,981596	428,56278
-0,83	0,447695788	0,177931068	0,170348493	-194407,6567	0,868700711	242,123568	385,026576
-0,83	0,356010437	0,261648777	0,244963589	-160697,9239	0,858181405	226,512328	337,9874
-0,83	0,660376386	0,463092169	0,420713206	-126277,0476	0,838336682	209,092472	287,03468
-0,83	1,270794995	0,82866033	0,758628198	-91075,11806	0,803227679	189,877636	231,907
-0,83	2,585752667	1,827906865	1,693603203	-54796,3352	0,73824026	168,888336	172,20152
-0,83	7,520283139	4,65959142	4,185384234	-17462,39905	0,607275957	146,225196	107,78492
-0,83	42,27392459	23,79329702	21,613983	20978,1704	0,272510767	121,797112	38,80132
-0,83	0	5,057811135	4,22891324	60524,94458	-0,63704288	95,575196	34,81956



Tab. 0-5 Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil C

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2 [-]$	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-0.75	0.632677849	0.215843187	0.191402603	2.149825314	0.379724694	0.337040754	0.134076304	0.101011826
-0.75	0.506310619	0.187952628	0.168951604	2.260558628	0.397237655	0.376789645	0.142454618	0.107323969
-0.75	0.421704064	0.171245287	0.158490552	2.437954365	0.358083931	0.340266153	0.15083444	0.113637248
-0.75	0.329681612	0.152093741	0.145399093	2.371531497	0.370503262	0.210126448	0.159214695	0.119950853
-0.75	0.243407579	0.125581167	0.122705668	2.184574384	0.325889708	0.289447009	0.167594517	0.126264133
-0.75	0.165635611	0.128150573	0.121300624	1.930414367	0.292091975	0.158003429	0.17597434	0.132577412
-0.75	0.141902655	0.118138978	0.114861592	1.616539493	0.2533339902	0.218797514	0.184354055	0.138890611
-0.75	0.141087288	0.123149103	0.118187006	1.299928612	0.213500861	0.118442968	0.192733878	0.145203891
-0.75	0.177166817	0.14052873	0.139821489	0.974970056	0.177041579	0.166179092	0.201113486	0.151517008
-0.75	0.343548289	0.254549038	0.234476356	0.62895582	0.194185342	0.168382112	0.209493201	0.157830206
-0.75	0.653191013	0.431892534	0.390764046	0.335777051	0.107970084	0.100930636	0.217872377	0.164142999
-0.75	1.19686016	0.700427914	0.647813729	0.303719826	0.25519187	0.248119197	0.226252415	0.170456441
-0.75	2.192136843	1.190211631	1.081306352	1.075000205	0.751403033	0.676252954	0.234632454	0.176769883
-0.75	4.353373613	2.199139679	1.953644089	2.932090656	2.102398175	1.89300967	0.243012492	0.183083325
-0.75	11.11088477	5.344702489	4.574837943	9.510284254	6.333065432	5.783362513	0.251392531	0.189396767
-0.75	77.73711247	40.09731974	32.95333569	146.1967113	55.89087607	39.00528438	0.259772569	0.19571021
-0.75	3.297748652	1.754983944	1.45018434	5.964115803	2.272784736	1.590094023	0.268150452	0.202022028
-0.83	0.734084197	0.251101553	0.222904317	1.9455097	0.290938288	0.155140489	0.134609191	0.112253916
-0.83	0.60559133	0.2243985	0.202003336	2.08336427	0.299024427	0.154180634	0.142527577	0.118857252
-0.83	0.507579055	0.204769411	0.189286924	2.113681632	0.315199011	0.189615258	0.150445555	0.125460249
-0.83	0.403961422	0.183457456	0.174924471	1.956172668	0.219491826	0.186781742	0.158363838	0.1320635
-0.83	0.307427566	0.155810164	0.151803368	1.719256587	0.211475648	0.191464899	0.166282326	0.138666922
-0.83	0.21870175	0.157720566	0.143710292	1.424637442	0.122928047	0.113757264	0.1742001	0.145269748
-0.83	0.172746427	0.148829367	0.137895855	1.110015485	0.118790535	0.108717557	0.182118587	0.15187317
-0.83	0.179407476	0.150404991	0.147633979	0.776036741	0.074809078	0.010932392	0.190036667	0.158476251
-0.83	0.188433664	0.171390854	0.163599856	0.445524381	0.059955679	0.05396248	0.197955053	0.165079588
-0.83	0.339553226	0.25881487	0.241757606	0.176603663	0.103308817	0.088224467	0.206872521	0.171682159
-0.83	0.659903352	0.462995974	0.420593244	0.234571639	0.063197044	0.059131743	0.213791009	0.178285681
-0.83	1.270205945	0.784584219	0.725945287	0.830864705	0.539650742	0.479545292	0.221709496	0.184889002
-0.83	2.520154709	1.427975464	1.31022556	2.276689355	1.599877878	1.428283456	0.229627983	0.191492424
-0.83	5.800449686	3.057246492	2.761542654	6.63799979	4.269682425	3.806837191	0.237546471	0.198095845
-0.83	28.27939641	14.03989847	12.32476514	38.27913147	22.43794731	19.93018433	0.245464958	0.204699266
-0.83	5.654749482	2.849998687	2.333729051	10.36738582	4.320954374	3.42123185	0.253381408	0.211300989

Tab. 0-6 Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2.75	psi_c_LR1_3.25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2.75	psi_c_LR2_3.25
-0,75	0,566076607	0,876438616	1,369077388	0,467071872	0,414183896	4,652094637	0,821701745	0,729336228
-0,75	0,534877416	0,869438723	1,078034068	0,400187808	0,35973092	4,813170263	0,845796452	0,802258651
-0,75	0,500386206	0,789563212	0,836891255	0,339844207	0,314531844	4,838233403	0,710634154	0,675273948
-0,75	0,465194113	0,715706793	0,602128089	0,277782897	0,265555841	4,331347811	0,676684453	0,383773411
-0,75	0,430298448	0,653586061	0,407374526	0,210176562	0,205364038	3,656171912	0,545419193	0,484427553
-0,75	0,395398182	0,591925444	0,251392091	0,194499481	0,184103028	2,929870583	0,443320201	0,239808409
-0,75	0,36046348	0,531209076	0,193057653	0,160727322	0,15626846	2,199291624	0,344667314	0,297672617
-0,75	0,325356675	0,46951241	0,169428202	0,147886683	0,141927824	1,56105181	0,256387853	0,142235203
-0,75	0,290228264	0,410753351	0,185669169	0,147272797	0,146531615	1,021759511	0,185537921	0,174154136
-0,75	0,255009211	0,35471336	0,309796376	0,229540859	0,211440219	0,567164034	0,175107597	0,151839406
-0,75	0,219676792	0,29728781	0,493290409	0,326165609	0,29510534	0,253579114	0,081539099	0,076222902
-0,75	0,184236326	0,23824808	0,727239406	0,425595902	0,393626329	0,184547062	0,155060374	0,150762857
-0,75	0,148544243	0,17740467	1,005490673	0,545927001	0,495974261	0,493081754	0,344654004	0,31018412
-0,75	0,112631053	0,114383618	1,339884401	0,676852762	0,601293956	0,90244093	0,647077593	0,582631851
-0,75	0,07627373	0,048764644	1,712263899	0,82365548	0,705014049	1,465600332	0,975969019	0,891256012
-0,75	0,03927503	-0,019569258	-0,214162321	-0,11046635	-0,090784988	-0,4027655	-0,153976902	-0,10745784
-0,75	0,00167487	-0,090469066	-0,536117514	-0,285309079	-0,235757575	-0,969590856	-0,369488349	-0,258502799
-0,83	0,567026533	0,796738753	1,357142732	0,46422556	0,412095745	3,596773178	0,537873973	0,286816946
-0,83	0,534526479	0,78442372	1,07182129	0,39715742	0,357520766	3,687295493	0,529236023	0,272880535
-0,83	0,501979995	0,745235542	0,83213795	0,335704156	0,310321775	3,465223165	0,516745236	0,310860053
-0,83	0,469076674	0,683585798	0,609936759	0,277000327	0,264116471	2,953602878	0,331408213	0,28201963
-0,83	0,436188364	0,62040943	0,422885312	0,214326356	0,208814764	2,364941986	0,290897615	0,263371612
-0,83	0,40326946	0,556874203	0,271334124	0,195677317	0,178295355	1,767488153	0,152511692	0,141133885
-0,83	0,370184994	0,492382423	0,190719057	0,164313654	0,152242613	1,225502087	0,131149566	0,120028589
-0,83	0,337089221	0,430988438	0,174549669	0,146332483	0,143636501	0,755024032	0,072783477	0,010636376
-0,83	0,303904676	0,371265135	0,15938901	0,144973133	0,138383018	0,376852462	0,050714273	0,04564485
-0,83	0,270697355	0,309963729	0,243812793	0,185839425	0,173591627	0,126808491	0,074179861	0,063348695
-0,83	0,237395009	0,246912281	0,388878414	0,272841681	0,247853921	0,138232132	0,037241766	0,0348461
-0,83	0,204005361	0,181878562	0,583531892	0,360437546	0,333498854	0,381698775	0,247915245	0,220302836
-0,83	0,170429035	0,114156005	0,825064422	0,467499772	0,428950052	0,745357172	0,523778287	0,467600604
-0,83	0,136668332	0,043782902	1,121395701	0,591054704	0,533886548	1,283318506	0,825453848	0,735972397
-0,83	0,102633163	-0,029344572	1,613453932	0,801032988	0,703177695	2,183979258	1,280175637	1,137097618
-0,83	0,068202775	-0,105109129	-0,461012535	-0,232350721	-0,19026101	-0,845217783	-0,352272746	-0,278921422

Tab. 0-7 Rohdaten -0,75 und -0,83 Teil E

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	NPSH_LR1_1	NPSH_LR1_2.75	NPSH_LR1_3.25	NPSH_LR2_1	NPSH_LR2_2.75	NPSH_LR2_3.25	NPSH_all_1	NPSH_all_2.75	NPSH_all_3.25	eta_IEC [%]
-0,75	32,57428931	11,11298339	9,85462631	110,6867135	19,55064819	17,35300684	103,1443425	24,05513287	17,36170597	69,63652163
-0,75	25,64953152	9,521619122	8,559033368	114,519166	20,12393058	19,08804107	106,94333356	22,33176998	16,27974043	73,49127839
-0,75	19,91205034	8,085871272	7,483617344	115,1154902	16,90803071	16,06670969	107,3586337	19,23008452	13,58432344	77,00302779
-0,75	14,32635929	6,609254188	6,318337355	103,0552238	16,10026966	9,131073407	-52,9780215	15,84448865	11,09954516	79,88025304
-0,75	9,692611826	5,000705007	4,886201198	86,99084701	12,97709153	11,52592497	-68,2254941	12,02768852	7,890280445	82,19596569
-0,75	5,981340992	4,627702147	4,380340618	69,71004915	10,54786283	5,705731866	-53,7929746	8,727152489	6,083729531	83,96440556
-0,75	4,593396912	3,824165343	3,718076188	52,32747416	8,200626864	7,082487822	-49,3687764	6,845520591	5,070650349	85,11406175
-0,75	4,031184286	3,518649602	3,376871202	37,14191302	6,100204533	3,384184633	-44,4053401	4,935505151	3,701516983	85,52259174
-0,75	4,417603616	3,504043477	3,486408626	24,31059793	4,414480843	4,143627873	-39,0352953	4,8010699	4,764654808	85,45443515
-0,75	7,370946936	5,461437328	5,030771022	13,49446386	4,16631343	3,612696247	13,5380936	6,220114124	5,455764659	85,01360675
-0,75	11,7367978	7,760418079	7,021404932	6,033376563	1,940049716	1,813562094	12,18168182	8,230251864	7,94642115	83,87217301
-0,75	17,30311741	10,12615076	9,365502656	4,390905458	3,689332328	3,587082054	17,38348493	10,31861771	9,822946062	81,66423287
-0,75	23,92351546	12,98917376	11,80065438	11,73183331	8,20031018	7,380172484	23,88591802	13,45122472	12,65429075	77,62165145
-0,75	31,87970418	16,10427421	14,30651287	21,47166567	15,39583731	13,86248772	31,70178333	19,12024499	17,42383328	69,79693744
-0,75	40,7396836	19,59713317	16,77431224	34,87084779	23,22111041	21,20554428	43,85279391	26,82080599	24,2282225	52,37976974
-0,75	-5,095537663	-2,628312224	-2,160036021	-9,58294983	-3,663553418	-2,56731133	61,94425675	-11,54791124	-9,494553167	-4,926608053
-0,75	-12,75577785	-6,788323696	-5,609330873	-23,06935557	-8,791190671	-6,150525177	83,40528446	-11,33715761	-10,21106312	-189,1829276
-0,83	36,16429912	12,37039527	10,98127224	95,84458436	14,33293255	7,642920358	90,2095354	21,04840799	15,56755898	73,98982785
-0,83	28,56123003	10,58320499	9,526991984	98,25676696	14,10275382	7,271551527	93,02246489	19,32510296	13,97596424	78,72191512
-0,83	22,17429679	8,945636463	8,269262493	92,33912109	13,76990706	8,283606182	87,98611155	16,47484331	11,77865571	81,95788467
-0,83	16,25321706	7,381333184	7,038012168	78,70578049	8,831160828	7,515084453	75,23774013	12,93468014	9,27264247	84,25854735
-0,83	11,26878593	5,711236005	5,564366516	63,01950957	7,751659499	7,018163626	60,41671855	9,478372158	7,025396589	85,88261617
-0,83	7,230343709	5,214287962	4,751104214	47,0989298	4,064037119	3,760848365	45,26196408	6,363613002	5,57330765	86,8825102
-0,83	5,082163325	4,378528501	4,056866867	32,65642072	3,494792411	3,198447522	31,55097637	4,835535332	4,540950623	87,2696822
-0,83	4,651291479	3,899377385	3,82753654	20,11941287	1,939489012	0,283431571	19,6523955	4,049909924	3,847674144	87,26793423
-0,83	4,247299641	3,863154276	3,687544967	10,04213103	1,351402549	1,216315689	9,913414174	3,939961947	3,772059521	86,87007106
-0,83	6,496972328	4,952133917	4,625762192	3,37911414	1,976899008	1,688076789	6,722021422	4,940328995	4,62528713	85,81814053
-0,83	10,36259116	7,27051616	6,604657814	3,683295518	0,992395518	0,928557303	10,27172742	7,203090978	6,543921718	83,83366824
-0,83	15,54959651	9,604716525	8,886870947	6,606291941	6,606291941	5,87049354	15,44603065	10,07205167	9,220837693	80,32276785
-0,83	21,9858058	12,45764442	11,43039537	19,86181636	13,95731944	12,46033134	22,3720325	15,81512119	14,65312069	73,82402598
-0,83	29,88225821	15,75005974	14,22667812	34,19707686	21,99618299	19,61173669	37,98861075	23,52547233	21,13128215	60,72759572
-0,83	42,99432127	21,34543102	18,73784378	58,19732686	34,11332764	30,30067317	56,63531409	31,87640757	28,95673226	27,25107666
-0,83	-12,28477655	-6,191538131	-5,069957566	-22,52284008	-9,387145999	-7,432525338	0	-12,51956615	-10,46779684	-63,70428798

Tab. 0-8 Rohdaten -0,9 und -1 Teil A

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2 [-]$	$Q_{cfd,modell}$	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-0,90	0,265101304	44,62928415	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	17,15995919	26,69267705	18,43797037	41,20615809
-0,90	0,280693882	44,45954128	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	16,27990885	27,8078633	17,39967681	38,49279273
-0,90	0,296289268	42,51949243	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	15,36682684	27,28697733	16,36048117	34,72749542
-0,90	0,311884052	39,43937054	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	14,450888025	25,13582014	15,34631129	30,81449207
-0,90	0,327478636	36,29228727	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	13,53850517	22,85720738	14,36445842	27,3531818
-0,90	0,343072417	33,05610481	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	12,62418625	20,51912652	13,4016242	24,17915037
-0,90	0,358667001	29,73690659	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	11,70576633	18,14691034	12,45120434	21,20295598
-0,90	0,374260983	26,52002904	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	10,78724536	15,88399703	11,51245501	18,4967028
-0,90	0,389855366	23,32890639	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	9,86615879	13,64343109	10,58030491	15,9412302
-0,90	0,405448345	20,07885456	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	8,944051715	11,34332853	9,6546399	13,44225465
-0,90	0,421043129	16,76614332	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	8,020795068	8,978227319	8,735418829	10,97894604
-0,90	0,436637914	13,37182952	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	7,094935986	6,528184618	7,820726953	8,531559878
-0,90	0,452232698	9,886925964	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	6,167466232	3,982113136	6,910955102	6,096409807
-0,90	0,467827482	6,295206592	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	5,23482773	1,327927687	6,00472038	3,654933167
-0,90	0,483422267	2,604881565	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	4,297675861	-1,427296478	5,105537517	1,222000494
-0,90	0,499013039	-1,18406909	0,330652	0,331158	144,22263	-159,46437	3,353869501	-4,28012949	4,211652687	1,208737617
-1,00	0,265100702	42,24959012	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	19,82657112	22,16652515	21,37741267	36,07328775
-1,00	0,280697894	43,93317247	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	18,94242929	24,82494102	20,29577962	34,51618055
-1,00	0,296288465	43,49536261	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	18,00338775	25,64598157	19,19394744	32,45263645
-1,00	0,311884052	40,63788039	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	17,04162721	23,76555272	18,09882344	28,87932277
-1,00	0,327478034	37,6402738	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	16,08130756	21,66867924	17,03885657	25,70476323
-1,00	0,343072618	34,47804252	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	15,12056224	19,45100864	16,00709598	22,74557498
-1,00	0,35866666	31,20737303	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	14,1565501	17,17559313	14,99276279	19,94670604
-1,00	0,374260983	28,04683167	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	13,19211542	15,00666268	13,99468387	17,41044411
-1,00	0,389855165	24,88289647	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	12,22685965	12,83318179	13,00741122	14,99468451
-1,00	0,405448345	21,65555204	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	11,25892702	10,60285226	12,02698511	12,63204956
-1,00	0,421043129	18,359302	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	10,28964034	8,30211335	11,05261084	10,29973135
-1,00	0,436637914	14,9769507	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	9,319100836	5,909731911	10,08330637	7,983337853
-1,00	0,452232698	11,50734277	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	8,347835065	3,422981102	9,122297974	5,682390199
-1,00	0,467827482	7,928373167	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	7,372177598	0,823858905	8,162603036	3,373209131
-1,00	0,483422267	4,255562456	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	6,393186655	-1,873230611	7,207038947	1,073969426
-1,00	0,499013039	0,488573706	0,330652	0,331158	151,8435	-151,8435	5,409434769	-4,664535511	6,257119851	1,222352393

Tab. 0-9 Rohdaten -0,9 und -1 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-0,90	1,77794561	0,47005634	0,3522259543	-426264,1667	0,748259473	331,478776	669,999528
-0,90	1,851582582	0,43884107	0,329166447	-423354,7881	0,795447788	331,211096	662,693752
-0,90	1,928545739	0,406434704	0,301783345	-403062,3427	0,832279829	328,732576	631,087956
-0,90	1,786299584	0,35625323	0,260468381	-371553,8639	0,854390905	324,584608	589,452332
-0,90	1,556934856	0,300634072	0,215949849	-339319,3164	0,869950627	319,009032	549,403388
-0,90	1,263858703	0,244106292	0,181443505	-306142,7373	0,879601477	311,798476	508,776856
-0,90	0,955866682	0,20579196	0,19110907	-272083,0877	0,88360269	302,854152	466,432004
-0,90	0,629880722	0,18860827	0,175239013	-238953,3867	0,8837312	292,195316	424,589628
-0,90	0,33877637	0,181303853	0,177601538	-206004,6567	0,87962127	279,725752	381,176272
-0,90	0,224182316	0,205664061	0,197198574	-172408,9239	0,869331352	265,462	334,27828
-0,90	0,391622809	0,297378487	0,281632551	-138129,0476	0,850453131	249,425624	283,52264
-0,90	0,788610814	0,584339466	0,549309826	-102980,1181	0,817734526	231,579076	228,48116
-0,90	1,927658206	1,385946882	1,257512231	-66874,2352	0,760102145	211,948712	169,09728
-0,90	5,436398218	3,401478893	3,033550252	-29652,69905	0,651701074	190,506268	104,87348
-0,90	20,19015615	11,47538866	10,29575952	8604,190401	0,411673792	167,378192	36,23252
-0,90	0	11,47270217	9,596856154	47896,04458	-0,218447202	142,52636	36,99512
-1,00	1,668731587	0,497248387	0,393393804	-402976,1667	0,735406006	365,034556	615,977096
-1,00	1,780534141	0,486749832	0,359311575	-418200,7881	0,801525294	366,955036	624,065028
-1,00	1,748135789	0,450857642	0,328122505	-412606,3427	0,84217308	366,308508	619,345076
-1,00	1,611683151	0,404828753	0,304363831	-383275,8639	0,865037974	363,589616	580,160468
-1,00	1,396387333	0,348324112	0,277562916	-352503,3164	0,880605666	359,410352	542,20528
-1,00	1,11655424	0,287390759	0,249767024	-320049,7373	0,889694611	353,72566	502,632928
-1,00	0,815644879	0,235161783	0,218026337	-286465,0877	0,893183957	346,370236	460,818688
-1,00	0,511289493	0,232880157	0,204132927	-253886,3867	0,893065352	337,369336	419,712944
-1,00	0,295658649	0,203801478	0,199875648	-221203,6567	0,888608364	326,634552	376,537804
-1,00	0,242775792	0,222982076	0,21393352	-187829,9239	0,878199505	314,094452	329,8962
-1,00	0,276865863	0,249293397	0,23668884	-153711,0476	0,859826142	299,75016	279,33184
-1,00	0,507974604	0,347007135	0,31977633	-118679,1181	0,828956011	283,607824	224,52976
-1,00	1,468022615	0,979645039	0,854617526	-82722,8352	0,777276943	265,726076	165,524
-1,00	3,872593805	2,403211779	2,124107671	-45625,99905	0,687283483	245,970128	101,64756
-1,00	11,4432998	6,472725242	5,724140368	-7540,409599	0,513894234	224,414792	33,44156
-1,00	142,8013952	75,40542328	66,66599664	31536,64458	0,065321949	201,119568	39,28948

Tab. 0-10 Rohdaten -0,9 und -1 Teil C

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-0,90	0,93319104	0,30682281	0,271813268	1,630985513	0,242004626	0,22491404	0,128888096	0,116568865
-0,90	0,788672896	0,273614238	0,243486495	1,810021038	0,28142482	0,251422432	0,136468963	0,123425146
-0,90	0,663641789	0,249226656	0,225329986	1,909415071	0,251329407	0,226161647	0,144051195	0,130282662
-0,90	0,561669918	0,229905196	0,21364792	1,777575049	0,175324232	0,084338953	0,151633135	0,137139914
-0,90	0,450532471	0,20731726	0,198213781	1,553703587	0,112262742	0,102169031	0,159214977	0,143997077
-0,90	0,349279749	0,178031856	0,173655064	1,269037081	0,095541369	0,009919047	0,166796429	0,150853888
-0,90	0,254185224	0,184869826	0,169307301	0,95730745	0,014938133	-0,00390684	0,174378271	0,157711051
-0,90	0,205210814	0,174675822	0,160716969	0,629279644	0,064751698	0,043500262	0,18195982	0,16456795
-0,90	0,213407943	0,179309073	0,175575043	0,313869167	0,013787164	-0,045385387	0,189541565	0,171425025
-0,90	0,223632388	0,205000399	0,196482919	0,055848997	-0,00763731	-0,013284406	0,197122627	0,178281482
-0,90	0,391341488	0,297341201	0,281582386	0,091594774	0,062821297	0,049667707	0,204704566	0,185138734
-0,90	0,768245252	0,549964329	0,502252312	0,697927225	0,394333565	0,343498981	0,212286506	0,191995985
-0,90	1,58294386	0,994413126	0,910686321	1,868067634	1,282000989	1,134450774	0,2219868445	0,198853237
-0,90	3,455411194	1,999821097	1,842414237	5,093490022	3,256718531	2,886233882	0,227450385	0,205710488
-0,90	11,18595349	6,0521107	5,484662371	19,26874002	11,10592941	9,891362467	0,235032325	0,212567774
-0,90	12,25064628	5,869922781	4,764539085	23,18535641	10,07021856	8,40143998	0,242612314	0,219423227
-1,00	1,233262158	0,391788382	0,347072206	1,081595301	0,096122659	0,054118679	0,122419058	0,122419058
-1,00	1,035866778	0,341694523	0,302889265	1,513714321	0,125700011	0,077356253	0,129621579	0,129621579
-1,00	0,886445747	0,307756281	0,274304705	1,654324054	0,117152718	0,091930911	0,136821044	0,136821044
-1,00	0,770741696	0,28913623	0,261476381	1,560416063	0,189022749	0,150283876	0,144022824	0,144022824
-1,00	0,662336614	0,269413204	0,249968929	1,350192078	0,127663952	0,031258245	0,151223864	0,151223864
-1,00	0,544998662	0,247209672	0,235784323	1,07686253	0,079308467	0,058293473	0,158425181	0,158425181
-1,00	0,434193807	0,218076303	0,21214889	0,772283226	0,031694195	0,01398125	0,16562622	0,16562622
-1,00	0,328309432	0,214553167	0,184246935	0,457290603	-0,048972211	-0,0566503369	0,172827445	0,172827445
-1,00	0,266911576	0,202735455	0,198789513	0,160725657	-0,041145375	-0,052578397	0,180028577	0,180028577
-1,00	0,242703932	0,222889979	0,213832173	0,008627228	-0,044798647	-0,069221904	0,187229246	0,187229246
-1,00	0,276851975	0,249278218	0,236673072	0,054230831	-0,07991632	-0,084583068	0,194430656	0,194430656
-1,00	0,399620354	0,312189356	0,310503959	0,517687973	0,267555048	0,199028441	0,201632065	0,201632065
-1,00	0,798032271	0,600794166	0,553263859	1,467188367	0,963710492	0,841591677	0,208833475	0,208833475
-1,00	1,768149757	1,202019904	1,084222712	3,854817879	2,366471369	2,109003769	0,216034885	0,216034885
-1,00	4,707383248	2,844311677	2,642747124	11,41407211	6,420646651	5,722807352	0,223236295	0,223236295
-1,00	55,7403759	31,35630316	28,67779736	142,4975223	74,91744119	65,04038881	0,230435852	0,230435852

Tab. 0-11 Rohdaten -0,9 und -1 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2.75	psi_c_LR1_3.25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2.75	psi_c_LR2_3.25
-0,90	0,59038853	0,751196075	1,495216693	0,491610579	0,435516115	2,613266375	0,387754856	0,360371256
-0,90	0,560110391	0,782580096	1,250738576	0,433918655	0,386139746	2,870471582	0,446305281	0,398725169
-0,90	0,528695798	0,767921113	1,002422563	0,376453724	0,340358105	2,884147412	0,379629903	0,341614319
-0,90	0,497182648	0,70738238	0,785361818	0,321467746	0,298735811	2,485516008	0,245149247	0,117927971
-0,90	0,465792376	0,643256742	0,577127036	0,265571082	0,253909627	1,99027685	0,143807312	0,130877381
-0,90	0,434335227	0,577457528	0,405804992	0,206843414	0,20175831	1,474410079	0,111003185	0,011524284
-0,90	0,402736982	0,510697664	0,26455908	0,192414769	0,176217103	0,996377266	0,01554779	-0,004066287
-0,90	0,371135261	0,447013846	0,189731503	0,161499804	0,148593885	0,581812286	0,059867396	0,040218983
-0,90	0,33944527	0,383958936	0,172946026	0,145312265	0,142286203	0,25435991	0,011173132	-0,036780366
-0,90	0,307720169	0,319228523	0,155514213	0,142557507	0,136634442	0,038837455	-0,005310994	-0,009237991
-0,90	0,275955517	0,252668892	0,226810175	0,172330335	0,163196984	0,053085675	0,036409401	0,028785962
-0,90	0,244101328	0,183718802	0,355231953	0,254300176	0,232238428	0,322717323	0,182337453	0,158831849
-0,90	0,212191724	0,112066233	0,535498729	0,34172424	0,312952015	0,641950489	0,440552123	0,389847357
-0,90	0,180104289	0,037371076	0,769944263	0,445605659	0,410531827	1,13494551	0,725671015	0,643118603
-0,90	0,147861572	-0,040167553	1,12080198	0,606404958	0,549548186	1,930675108	1,112783786	0,991087496
-0,90	0,115389906	-0,120453129	-0,297731923	-0,142658873	-0,11579433	-0,56348217	-0,244740193	-0,204183259
-1,00	0,615380447	0,688008334	1,660570361	0,527537613	0,467327903	1,456353045	0,129427824	0,072870049
-1,00	0,587938305	0,770520692	1,444186627	0,476384291	0,422282706	2,110392984	0,175248669	0,107848682
-1,00	0,558792175	0,796004287	1,219541883	0,423400615	0,377379076	2,275962719	0,161174721	0,126475418
-1,00	0,52894089	0,73763922	0,988993622	0,371011311	0,335518988	2,002281105	0,242548566	0,192839956
-1,00	0,499134327	0,672556109	0,784575417	0,319135274	0,296102423	1,599379365	0,151225217	0,03702717
-1,00	0,469314553	0,603723676	0,589627412	0,267453132	0,255092186	1,165044449	0,085802864	0,063066998
-1,00	0,439393382	0,533098947	0,424164288	0,21303892	0,207248425	0,75444412	0,030962085	0,013658295
-1,00	0,409459096	0,465779319	0,287584675	0,187939171	0,161392241	0,400566528	-0,042897511	-0,049494475
-1,00	0,379499325	0,398318454	0,207036917	0,157257037	0,154196264	0,124671043	-0,031915482	-0,040783803
-1,00	0,34945647	0,329093111	0,163681557	0,150318862	0,144210202	0,005818274	-0,030212581	-0,04668383
-1,00	0,319371587	0,25768239	0,158416641	0,142638744	0,135425991	0,031031262	-0,045728678	-0,048399024
-1,00	0,289247818	0,183427252	0,187300965	0,146322296	0,145532355	0,242638935	0,125402318	0,093284085
-1,00	0,259101508	0,106243063	0,290409296	0,218633026	0,201336429	0,533919687	0,350700711	0,306260856
-1,00	0,228818888	0,025571071	0,454751324	0,309148103	0,278851784	0,991422546	0,60863396	0,542415739
-1,00	0,198432802	-0,058141647	0,701396702	0,423800384	0,393767411	1,700688495	0,95667171	0,852694159
-1,00	0,167898946	-0,144778637	2,186282226	1,2298756	1,12481765	5,589122699	2,938456504	2,551052872

Tab. 0-12 Rohdaten -0,9 und -1 Teil E

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	NPSH_LR1_1	NPSH_LR1_2.75	NPSH_LR1_3.25	NPSH_LR2_1	NPSH_LR2_2.75	NPSH_LR2_3.25	NPSH_all_1	NPSH_all_2.75	NPSH_all_3.25	eta_IEC [%]
-0,90	43,4592749	14,28892508	12,66850939	75,95598841	11,27030279	10,47438377	79,34843982	20,97827797	15,72109123	74,82594734
-0,90	36,35338735	12,61207837	11,22335876	83,43179565	12,97210231	11,58916084	82,32051222	19,51067268	14,63458924	79,54477884
-0,90	29,13594929	10,94182934	9,892690814	83,82929101	11,03414669	9,929203341	82,00078598	17,28139733	12,83167466	83,22798294
-0,90	22,82696236	9,343632411	8,682916541	72,2428555	7,125394306	3,4276397	70,45053119	14,05040316	10,27270897	85,43909045
-0,90	16,77450675	7,718965886	7,380019462	57,84846381	4,179836629	3,804021263	56,50472708	10,9106981	7,837313961	86,99506271
-0,90	11,79493969	6,012014737	5,864213466	42,85451953	3,22636709	0,334959481	41,77824575	8,069203162	5,997815509	87,96014766
-0,90	7,68951522	5,592638427	5,121844592	28,9802395	0,451904867	-0,1181888	28,42451822	6,119616285	5,682992558	88,36026899
-0,90	5,514647867	4,694078412	4,318960947	16,91068860	1,740077953	1,168986292	16,70445504	5,001896799	4,647343703	88,37312002
-0,90	5,026768975	4,223578908	4,135624792	7,393107159	0,324753083	-1,06904106	7,903311784	4,22962061	4,143249659	87,96212699
-0,90	4,520103997	4,143510391	3,971353314	1,128831447	-0,154366895	-0,268507158	4,501324123	4,129498779	3,959521479	86,9331352
-0,90	6,592359364	5,008873602	4,743407833	1,542963594	1,058258774	0,836679429	6,566004143	4,985890333	4,721891709	85,04531306
-0,90	10,32500719	7,391370966	6,750134442	9,379952036	5,299735838	4,61653286	10,54516937	7,813687729	7,345277355	81,77345262
-0,90	15,56455769	9,93239828	9,096118111	18,65863519	12,80488368	11,33112246	19,05861396	13,70275421	12,43293033	76,01021447
-0,90	22,37884284	12,9517674	11,93232769	32,98779981	21,09201716	18,69258703	34,2232499	21,41301235	19,09682554	65,17010741
-0,90	32,57671051	17,62548526	15,97291268	56,11610723	32,34365742	28,8064895	52,59296554	29,89202837	26,81923417	41,16737916
-0,90	-8,653737979	-4,146456648	-3,365624302	-16,3779114	-7,113504939	-5,9346959	0	-13,58447207	-11,36334078	-21,84472018
-1,00	53,50091396	16,99641588	15,05655557	46,92135955	4,169956929	2,34775611	70,50322557	21,00854053	16,62072698	73,54060058
-1,00	46,52937708	15,34833787	13,60527157	67,99347749	5,646231084	3,474711561	78,22451352	21,38446433	15,78569739	80,15252937
-1,00	39,29168368	13,64128881	12,15854862	73,32786884	5,19279105	4,074835139	76,03580001	19,61021664	14,27180734	84,21730797
-1,00	31,86378845	11,95338945	10,80988371	64,51028613	7,814525825	6,212994125	65,49538712	16,45138243	12,36870095	86,50379735
-1,00	25,2777617	10,28202673	9,539945213	51,52943819	4,872233983	1,192956045	52,56040154	13,11101496	10,44754416	88,06056665
-1,00	18,99684962	8,616910991	8,218661131	37,53586377	2,764430662	2,031917526	38,49660457	9,90867082	8,611478056	88,96946109
-1,00	13,66589312	6,863772339	6,677211886	24,30697964	0,997548731	0,440048359	25,454134	7,33878148	6,804029224	89,3183957
-1,00	9,265517017	6,055098706	5,199799179	12,90561115	-1,382089014	-1,594632624	14,34005036	6,531550551	5,725281843	89,30653521
-1,00	6,670397437	5,066569532	4,967956354	4,016701056	-1,028265647	-1,313988725	7,356843563	5,0711171089	4,973485069	88,8608364
-1,00	5,273557261	4,843032666	4,646221423	0,187455467	-0,973400917	-1,504078121	5,257443788	4,828799947	4,632848477	87,81995047
-1,00	5,10393012	4,59559157	4,363208233	0,99977494	-1,473304685	-1,559338946	5,083064	4,576852756	4,345441901	85,98261418
-1,00	6,034536726	4,714269722	4,688819093	7,817437357	4,040261583	3,005463616	7,607910594	5,197108753	4,789274336	82,8956011
-1,00	9,356521773	7,044005487	6,486736859	17,20203606	11,2990145	9,86723362	16,89303942	11,27311126	9,834376809	77,72769433
-1,00	14,65135838	9,960256093	8,98415728	31,94204449	19,60921012	17,47576522	30,70336881	19,05355978	16,84071826	68,72834831
-1,00	22,59787689	13,65416872	12,68655451	54,7934559	30,82242829	27,47243834	48,697677	27,54508652	24,35943684	51,38942341
-1,00	70,43850716	39,62461948	36,23982081	180,0725701	94,67235613	82,19083239	69,76900694	36,84110713	32,57125307	6,532194925



Tab. 0-13 Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil A

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	Q_cfd_modell	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-1,10	0,265098696	42,34268883	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	22,43827828	20,38292192	24,51629729	32,3291535
-1,10	0,280697091	41,18787661	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	21,58512112	19,89964267	23,1986792	29,54358364
-1,10	0,296291876	43,37282878	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	20,64760641	23,06071765	22,06544856	29,38787676
-1,10	0,31188325	41,76633476	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	19,56296003	22,42137897	20,80419579	27,14426663
-1,10	0,327478034	38,92507384	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	18,55590577	20,50527039	19,66678823	24,2902419
-1,10	0,343072618	35,81567409	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	17,55140216	18,37621279	18,56331223	21,45070242
-1,10	0,35866668	32,61996106	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	16,5467951	16,20132322	17,48723494	18,83582032
-1,10	0,374261184	29,50839398	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	15,54095603	14,11311425	16,4308652	16,44327816
-1,10	0,389855366	26,37370938	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	14,53424051	12,01191371	15,38944115	14,15285693
-1,10	0,405448345	23,17345948	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	13,52616707	9,851927718	14,35851349	11,91401411
-1,10	0,421043129	19,89571552	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	12,51568647	7,613868187	13,33435409	9,701514551
-1,10	0,436637914	16,52409979	0,330652	0,331158	158,79057	-144,89643	11,50277725	5,276916032	12,31551831	7,505109439
-1,10	0,452232698	13,12834236	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	10,58125704	2,816438743	11,39698773	5,307197249
-1,10	0,467827482	9,560394613	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	9,563655191	0,271836886	10,38736417	3,124479045
-1,10	0,483422267	5,90096758	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	8,543204496	-2,368357173	9,381716042	0,93531019
-1,10	0,499013039	2,150727344	0,330652	0,331158	159,07414	-144,61286	7,520047955	-5,101783034	8,379938117	1,215796057
-1,17	0,265103912	41,27857064	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	24,16435511	17,69936944	26,58683944	29,99423249
-1,17	0,280698897	39,4478242	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	23,29432455	16,64408547	25,11919809	25,64212357
-1,17	0,296290672	42,43097556	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	22,38656262	20,45291471	23,96934905	26,90096386
-1,17	0,311884052	42,42510475	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	21,39720526	21,29210388	22,78902166	25,84727504
-1,17	0,327478034	39,81764026	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	20,35794799	19,61691845	21,59501212	23,20408857
-1,17	0,343072417	36,75701385	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	19,32154642	17,55004967	20,43819106	20,55208177
-1,17	0,35866668	33,62940284	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	18,28790229	15,46383972	19,31511817	18,07072521
-1,17	0,374261184	30,56047094	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	17,25424865	13,44706217	18,21648896	15,78355161
-1,17	0,389855165	27,4561523	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	16,21898102	11,40890329	17,13543736	13,58802785
-1,17	0,405448345	24,27288415	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	15,18245091	9,297242255	16,06729485	11,43298882
-1,17	0,421043129	21,00812513	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	14,14393513	7,102518644	15,00821513	9,302723527
-1,17	0,436637914	17,64530234	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	13,102684	4,80438529	13,95513045	7,188139046
-1,17	0,452232698	14,18594944	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	12,06161453	2,40195063	12,90966842	5,08277372
-1,17	0,467827482	10,62165178	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	11,01692427	-0,109441506	11,86742035	2,977468666
-1,17	0,483422267	6,970080557	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	9,970278787	-2,71356507	10,83049245	0,886176573
-1,17	0,499013039	3,226123767	0,330652	0,331158	163,6	-140,08729	8,920620723	-5,410423532	9,797257166	1,203207783

Tab. 0-14 Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-1,10	1,647369339	0,485078335	0,429910837	-403886,1667	0,744873833	399,60144	579,641116
-1,10	1,763373445	0,526955833	0,42887043	-391350,7881	0,78092737	400,373888	560,865008
-1,10	1,753390939	0,494563715	0,382926886	-411408,3427	0,842954824	401,97318	588,90496
-1,10	1,62617438	0,444610522	0,352851967	-394312,8639	0,871067239	399,652404	571,44792
-1,10	1,403772781	0,386602224	0,328750282	-365069,3164	0,886760529	396,69348	535,580296
-1,10	1,13645396	0,326241043	0,305404875	-333132,7373	0,895078247	392,266276	496,745644
-1,10	0,861370804	0,294482388	0,281552998	-300281,0877	0,898051136	386,324072	456,018236
-1,10	0,607101983	0,258213379	0,251130262	-268181,3867	0,897617123	378,769208	415,403052
-1,10	0,406146241	0,249825559	0,217678222	-235784,6567	0,892744001	369,543708	372,43812
-1,10	0,32228002	0,248123042	0,242028348	-202675,9239	0,882041493	358,578676	326,06196
-1,10	0,31360726	0,260465513	0,25130268	-168738,0476	0,863684189	345,810372	275,72276
-1,10	0,38262972	0,312623824	0,294287184	-133811,1181	0,83368196	331,217736	221,19992
-1,10	1,168965681	0,728031796	0,614130181	-98577,1352	0,785931333	316,895896	162,32464
-1,10	3,044374841	1,797925261	1,559436791	-61588,09905	0,707556657	298,782848	98,86
-1,10	7,960308205	4,334054594	3,793765358	-23633,4096	0,570956789	278,851836	31,1752
-1,10	31,51419948	16,07729442	14,19742849	15279,83458	0,224133694	257,109	41,03268
-1,17	1,763634034	0,52441316	0,472825906	-393479,1667	0,729547342	421,3701	555,161476
-1,17	1,826322927	0,548577447	0,476214222	-374331,7881	0,777123662	421,528888	502,52784
-1,17	1,768182603	0,52535519	0,424629342	-402196,3427	0,834100935	424,575652	556,482168
-1,17	1,644336075	0,472044854	0,386459725	-400755,8639	0,872293074	424,912704	562,82498
-1,17	1,44362975	0,412991567	0,362677243	-373799,3164	0,888804455	422,782004	530,532656
-1,17	1,205776884	0,369860281	0,341070651	-342339,7373	0,896725279	419,188272	492,274176
-1,17	0,952572709	0,340911155	0,320865061	-310154,0877	0,899522381	414,161204	452,51418
-1,17	0,714238696	0,309164998	0,29693197	-278471,3867	0,898836308	407,587004	412,424972
-1,17	0,535741337	0,27307115	0,266554955	-246371,6567	0,893654154	399,3736	369,8496
-1,17	0,417154066	0,292248768	0,26255555	-213428,9239	0,882641228	389,456684	323,63892
-1,17	0,360563308	0,273597369	0,268710339	-179618,0476	0,864142904	377,777856	273,46524
-1,17	0,347570311	0,319934374	0,307300803	-144777,1181	0,834558834	364,28074	219,13076
-1,17	1,020602862	0,608747543	0,500128271	-108921,1352	0,788439353	349,026108	160,48268
-1,17	2,648758324	1,519419297	1,308179252	-71967,79905	0,715509005	331,911976	97,25196
-1,17	0	3,511157666	3,050668985	-34090,5096	0,594885846	313,008204	29,90972
-1,17	0	10,34006274	9,050502568	4761,844577	0,293271583	292,278768	41,91968

Tab. 0-15 Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil C

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-1,10	1,470498409	0,453847825	0,403086126	0,642529833	0,099679466	0,070863938	0,116853671	0,128539038
-1,10	1,357946516	0,433938665	0,384475504	1,090216964	0,166302431	0,12364512	0,123729336	0,136102269
-1,10	1,129084089	0,374230149	0,331949018	1,382263555	0,147546015	0,124305141	0,130603409	0,14366375
-1,10	0,986629485	0,344995349	0,30800937	1,366095334	0,075435361	0,062175519	0,137721484	0,150927625
-1,10	0,865519133	0,326174781	0,295629647	1,172292256	0,073959572	0,053209237	0,144607833	0,158474308
-1,10	0,754506618	0,307752514	0,28591655	0,908747847	-0,029513159	-0,038275772	0,151494093	0,166020893
-1,10	0,631719747	0,286051054	0,272803016	0,618184594	-0,05935406	-0,082906737	0,158380176	0,173567284
-1,10	0,510958467	0,255438694	0,248283342	0,312118833	-0,040599991	-0,064511465	0,165266347	0,181113772
-1,10	0,396792473	0,245135502	0,217230511	0,032654004	-0,119212029	-0,140659549	0,17215243	0,188660163
-1,10	0,322145072	0,248114696	0,242019775	-0,071327508	-0,13188527	-0,140569145	0,179037982	0,196205971
-1,10	0,313591283	0,260447452	0,251299601	-0,062847072	-0,090614769	-0,103308574	0,185924331	0,203752653
-1,10	0,345508815	0,300074699	0,289244157	0,368672995	0,15417122	0,091068867	0,19281068	0,211299936
-1,10	0,437633689	0,382483555	0,365000619	1,172403774	0,727057926	0,61917818	0,199341045	0,219275149
-1,10	0,886650909	0,690703434	0,640631053	3,087618541	1,813984205	1,578554601	0,206215118	0,226836629
-1,10	2,212506124	1,56973565	1,427076417	7,971804021	4,336875507	3,863099296	0,213089191	0,23439811
-1,10	8,746661287	5,561115894	5,112038821	31,50687026	16,29634231	14,11812577	0,219961495	0,241957645
-1,17	1,667169406	0,507787417	0,453155858	0,492549909	0,008527563	-0,008462021	0,113623248	0,132694146
-1,17	1,591028383	0,498824304	0,442157733	0,816462588	0,121447939	0,063608696	0,120307241	0,140500003
-1,17	1,313432745	0,426708617	0,378078952	1,199180711	0,139363064	0,061956173	0,126989859	0,148304253
-1,17	1,14119505	0,385780777	0,342877268	1,232669973	0,087110634	-0,014935244	0,133673165	0,156109907
-1,17	1,02098674	0,366412007	0,328773266	1,055390486	-0,002090186	-0,013854656	0,140356728	0,163914662
-1,17	0,904659365	0,349477089	0,319207548	0,796892165	0,02574636	-0,014305921	0,147040464	0,171720218
-1,17	0,786436678	0,331083914	0,31047719	0,515714581	-0,03102267	-0,054889529	0,1537242	0,179525773
-1,17	0,6533719	0,306037222	0,293654472	0,218671042	-0,097201669	-0,110322328	0,160407935	0,187331329
-1,17	0,534281037	0,272864008	0,266324662	-0,047814767	-0,111103718	-0,127945781	0,167091499	0,195136684
-1,17	0,417005187	0,292223905	0,262528265	-0,076664432	-0,148907534	-0,181932952	0,173774719	0,202941637
-1,17	0,360537132	0,273594652	0,268707583	-0,097086726	-0,156200274	-0,163616339	0,180458626	0,210747394
-1,17	0,347473971	0,318182375	0,304791931	0,281043991	0,081433511	0,027975861	0,187142534	0,218555315
-1,17	0,420106293	0,374048382	0,353099006	1,049184754	0,607262168	0,500279614	0,193826441	0,226358907
-1,17	0,598032387	0,493565143	0,490953056	2,660119379	1,546398798	1,310387079	0,200510349	0,234164663
-1,17	1,366215167	1,056810474	0,97513188	6,600982202	3,51549083	3,11786993	0,207194256	0,24197042
-1,17	4,474290835	3,14090815	2,843631688	20,64005181	10,54104884	9,109662587	0,213876444	0,249774168

Tab. 0-16 Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2.75	psi_c_LR1_3.25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2.75	psi_c_LR2_3.25
-1,10	0,63456898	0,697495034	1,78941617	0,552277127	0,490506367	0,781879985	0,121297683	0,086232719
-1,10	0,610441146	0,680957421	1,60227654	0,512015558	0,453652683	1,286375454	0,19622458	0,145892104
-1,10	0,583927625	0,78912808	1,399677595	0,463917223	0,411503101	1,713533427	0,182906528	0,154095804
-1,10	0,555230892	0,764250032	1,179897672	0,412575557	0,368344495	1,633696063	0,09021219	0,074354913
-1,10	0,526648938	0,698937991	0,962709238	0,362801309	0,328826229	1,303930255	0,082264574	0,059184161
-1,10	0,498139375	0,626367417	0,77125776	0,314585067	0,292264312	0,928923368	-0,030168394	-0,03912555
-1,10	0,469626876	0,552234625	0,587568365	0,266058724	0,253736602	0,574979193	-0,055205759	-0,077112321
-1,10	0,441079411	0,481056408	0,429538195	0,214735018	0,208719858	0,262383283	-0,034130459	-0,054231684
-1,10	0,41250707	0,409435363	0,298020897	0,184115141	0,163156401	0,024525605	-0,089537172	-0,105645868
-1,10	0,38389619	0,335810571	0,212797053	0,163899534	0,159869262	-0,047116299	-0,087118504	-0,092854749
-1,10	0,35521699	0,259524582	0,178451056	0,14820923	0,143003589	-0,035763514	-0,051564894	-0,058788382
-1,10	0,326468861	0,179867762	0,16453126	0,142895539	0,137738036	0,17556204	0,073416318	0,043366984
-1,10	0,299244773	0,096377352	0,167575856	0,146458124	0,139763672	0,448929255	0,278400309	0,237091696
-1,10	0,270466336	0,009302144	0,255033104	0,198671472	0,18426883	0,888111581	0,521767945	0,454049814
-1,10	0,241607333	-0,081044189	0,42273975	0,299926698	0,272669043	1,523158921	0,828639365	0,738115757
-1,10	0,212671806	-0,174580874	0,815981433	0,518799936	0,476905258	2,939295382	1,520295837	1,317088671
-1,17	0,646096075	0,645429512	1,844165697	0,561697049	0,501265489	0,54484184	0,009432898	-0,009360398
-1,17	0,622833575	0,606947271	1,686149853	0,528647092	0,468592644	0,865275747	0,128708844	0,067411615
-1,17	0,598562229	0,745840964	1,497962048	0,48665858	0,431196743	1,3676583	0,158942726	0,070660638
-1,17	0,57210922	0,776443041	1,300900812	0,439769281	0,390861594	1,40517729	0,099301425	-0,017025373
-1,17	0,544322008	0,715355321	1,091300536	0,391646241	0,351415378	1,128073614	-0,002234134	-0,014808805
-1,17	0,516611151	0,639984381	0,892470916	0,344768595	0,314906874	0,78615566	0,02539948	-0,014113178
-1,17	0,488974021	0,563908142	0,709790246	0,298816344	0,280217959	0,465452833	-0,027999189	-0,049539974
-1,17	0,461336637	0,490363841	0,5359139	0,251020286	0,240863608	0,179360103	-0,079727527	-0,090489458
-1,17	0,4336561	0,416039843	0,393987845	0,20121452	0,196392296	-0,035259415	-0,081929755	-0,094349376
-1,17	0,405941806	0,339035498	0,272488479	0,190951216	0,171546853	-0,050095718	-0,097302357	-0,118882534
-1,17	0,37817442	0,259002173	0,20496288	0,155536678	0,152758413	-0,055193136	-0,088798781	-0,093014763
-1,17	0,350333898	0,175197883	0,167559188	0,15343417	0,146977018	0,135525267	0,039268936	0,013490543
-1,17	0,322498232	0,087590116	0,165819302	0,147639877	0,139370992	0,414121583	0,239691217	0,19746435
-1,17	0,294565756	-0,003990921	0,182822274	0,150885978	0,150087447	0,813215278	0,472743869	0,400593598
-1,17	0,266581002	-0,098953524	0,294710538	0,227967886	0,210348741	1,423918472	0,758337499	0,672565324
-1,17	0,238515699	-0,197297821	0,557466426	0,391335947	0,354297307	2,571611085	1,313343507	1,135002446

Tab. 0-17 Rohdaten -1,1 und -1,17 Teil E

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$	NPSH_LRI_1	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_3,25	NPSH_LRI_2,1	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_3,25	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_2,1	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_3,25	NPSH_LRI_1	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_3,25	NPSH_LRI_2,1	NPSH_LRI_2,75	NPSH_LRI_3,25	NPSH_all_1	NPSH_all_2,75	NPSH_all_3,25	eta_IEC [%]
-1,10	63,27352777	19,52844885	17,34424265	27,64717665	4,289070598	3,049177969	69,75404731	20,539521	18,20358079	74,48738332										
-1,10	56,6562943	18,10480488	16,04110105	45,48607212	6,938476134	5,158726222	72,62960785	21,70419184	17,66426237	78,092737										
-1,10	49,49242141	16,4040539	14,5506972	60,59032364	6,46755154	5,448808003	76,04952499	21,45062735	16,60862226	84,29548239										
-1,10	41,57241846	14,53665357	12,97821991	57,56151398	3,178528962	2,619814953	67,91934353	18,56975189	14,73733336	87,10672388										
-1,10	33,92001885	12,78291176	11,58583655	45,94257239	2,898503312	2,085289918	54,64195913	15,0485201	12,79662901	88,67605289										
-1,10	27,17443308	11,08406462	10,29761697	32,72961027	-1,062950736	-1,378546444	40,70286466	11,68454286	10,93828147	89,50782471										
-1,10	20,70233589	9,374291405	8,940134762	20,25877006	-1,945115209	-2,716969248	28,09788207	9,606004044	9,184247823	89,80511365										
-1,10	15,13431377	7,565956139	7,354018479	9,244791228	-1,202549798	-1,910794752	17,91460451	7,619462114	7,410450725	89,76171229										
-1,10	10,5004401	6,487097875	5,748639329	8,664133175	-3,154754527	-3,722317894	10,71158291	6,5888267	5,740982167	89,27440008										
-1,10	7,497674024	5,77467507	5,632820555	-1,660091845	-3,069526268	-3,271636671	7,468342992	5,749869264	5,608634117	88,20414934										
-1,10	6,287529963	5,221991949	5,038576813	-1,260088744	-1,816883327	-2,071345054	6,239440822	5,182147743	4,999846626	86,36841889										
-1,10	5,797081011	5,034769777	4,853050743	6,185738611	2,586744571	1,527988796	6,322611679	5,165827263	4,86283079	83,36819599										
-1,10	5,925460907	5,178740598	4,942025615	15,87408124	9,844199459	8,383532155	15,34658167	9,557850672	8,062511272	78,59313328										
-1,10	9,017938061	7,02499792	6,515722366	31,40351235	18,44964804	16,05514355	29,10542483	17,18887498	14,9088311	70,75566566										
-1,10	14,9480237	10,60536983	9,641542627	53,85870536	29,30058234	26,0996791	46,97352065	25,57511565	22,38688638	57,09567887										
-1,10	28,85299948	18,34469962	16,86330916	103,9331102	53,75746707	46,57208756	67,77845053	34,57787671	30,53479766	22,41336937										
-1,17	68,97283004	21,00778427	18,74761007	20,37738998	0,352795664	-0,350084113	72,80029206	21,64702568	19,51757754	72,95473419										
-1,17	63,06294897	19,77169734	17,52562736	32,36179761	4,813782864	2,521232159	72,04446575	21,64018668	18,78561489	77,71236623										
-1,17	56,02461965	18,20130349	16,12699971	51,15118648	5,944546993	2,642747448	75,02571283	22,29133321	18,01743721	83,41009349										
-1,17	48,65441902	16,44761742	14,61844253	52,55441773	3,713928911	-0,636758489	69,76113022	20,02655239	16,3955943	87,22930738										
-1,17	40,81525129	14,64778879	13,14313199	42,19058504	-0,083557876	-0,553857607	57,48193006	16,44434966	14,440952	88,88044549										
-1,17	33,37891216	12,89453856	11,77769348	29,40266204	0,949954764	-0,527840769	44,32075761	13,59495949	12,53673866	89,67252795										
-1,17	26,54655277	11,17589865	10,48030863	17,40819666	-1,047185337	-1,852822777	32,03445138	11,46463855	10,79050039	89,95223805										
-1,17	20,04348002	9,38829928	9,008433855	6,708168304	-2,981854148	-3,384356398	21,82747093	9,448227934	9,074380828	89,88363081										
-1,17	14,7353661	7,525535766	7,345181867	-1,318721878	-3,064218728	-3,528719521	14,70939575	7,497483078	7,318573445	89,36541538										
-1,17	10,19122173	7,141682426	6,415948402	-1,873607919	-3,639162641	-4,46273371	10,12553233	7,093720492	6,37298045	88,26412282										
-1,17	7,665726528	5,817158882	5,713250206	-2,064254198	-3,321124162	-3,478804245	7,574759089	5,747767773	5,645100426	86,4142904										
-1,17	6,266807466	5,738523882	5,497022815	5,068720904	1,468680185	0,504553862	6,132983225	5,645338764	5,422415582	83,45588341										
-1,17	6,201734759	5,521814104	5,212553148	15,48837918	8,964585779	7,385277305	14,47822059	8,635661863	7,09479436	78,84393526										
-1,17	6,837655451	5,643220106	5,613354575	30,41470689	17,68088551	14,98242494	28,13418856	16,13874268	13,89502448	71,55090055										
-1,17	11,02233918	8,526126613	7,867160738	53,25534843	28,36224721	25,15431984	0	21,47305178	21,26340858	59,48858456										
-1,17	20,84955657	14,63618361	13,25091773	96,17969501	49,11978281	42,44972723	0	33,35832216	29,19804144	29,32715828										

Tab. 0-18 Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil A

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$ [-]	$Q_{cfd,modell}$	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-1,26	0,265102106	40,75607448	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	26,43283388	14,92493182	29,38787282	27,09987546
-1,26	0,280694082	40,87935601	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	25,44205214	15,87877855	27,75812112	25,26802308
-1,26	0,296286259	44,66612491	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	24,61639176	20,50234784	26,46176165	26,75837021
-1,26	0,311882046	43,31162855	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	23,6074018	20,02686602	25,20271278	24,51127757
-1,26	0,327478235	40,84304062	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	22,52918578	18,48148664	23,93447735	22,00490783
-1,26	0,343072417	37,86164474	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	21,45311953	16,52006235	22,71126025	19,51113621
-1,26	0,35866668	34,83515221	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	20,38573503	14,56352563	21,52976436	17,19651083
-1,26	0,374261184	31,83197148	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	19,3194657	12,65169909	20,38013179	15,04672361
-1,26	0,389855165	28,76046368	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	18,25214473	10,683172	19,25058874	12,95636994
-1,26	0,405448345	25,59530197	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	17,18243659	8,626939808	18,13764345	10,89655826
-1,26	0,421043129	22,34168749	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	16,11114154	6,479497695	17,03589937	8,857702022
-1,26	0,436637914	18,98530604	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	15,03785751	4,22345289	15,94291493	6,834485959
-1,26	0,452232698	15,52748679	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	13,96407727	1,858663276	14,85823351	4,819005495
-1,26	0,467827482	11,96628711	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	12,88565994	-0,612607477	13,77593506	2,807018662
-1,26	0,483422267	8,316372235	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	11,80585688	-3,175583132	12,6989326	0,809941342
-1,26	0,499013039	4,574675028	0,330652	0,331158	169,15	-134,537	10,7240739	-5,829262107	11,62751556	1,183045675
-1,40	0,265101906	42,39314956	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	29,88692547	12,98785061	33,60233465	25,07551503
-1,40	0,280696088	40,20553421	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	28,99336177	11,38789084	31,8149182	20,34932688
-1,40	0,296288666	43,51322332	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	28,02017936	16,0367658	30,30556897	22,62010327
-1,40	0,311881645	45,19890306	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	26,91477735	18,63909833	28,87441944	22,92476457
-1,40	0,327477834	42,33129744	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	25,82950661	16,68861086	27,52744358	20,27863483
-1,40	0,343072217	39,56031053	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	24,69945384	14,96665363	26,20283049	18,0600094
-1,40	0,3586667001	36,71173854	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	23,5775693	13,24418371	24,93021478	16,01213998
-1,40	0,374261384	33,77991969	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	22,46307373	11,46171659	23,69717733	14,03172343
-1,40	0,389855165	30,7457263	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	21,34905013	9,588738615	22,49373565	12,08484081
-1,40	0,405448345	27,60162675	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	20,23302567	7,607855031	21,31111509	10,15643672
-1,40	0,421043129	24,356294	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	19,11437141	5,52120692	20,14453737	8,243348023
-1,40	0,436637914	20,99889012	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	17,99366377	3,317307338	18,98971553	6,344383471
-1,40	0,452232698	17,54229779	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	16,87404059	1,006737468	17,84737109	4,457412467
-1,40	0,467827482	13,97608818	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	15,74830496	-1,409576365	16,70799964	2,576563118
-1,40	0,483422267	10,3175235	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	14,61997712	-3,916208238	15,57342872	0,711956488
-1,40	0,499013039	6,562964054	0,330652	0,331158	177,15075	-126,53625	13,49007833	-6,512400206	14,44427173	1,146901545

Tab. 0-19 Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil B

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$ [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-1,26	1,929040096	0,578675229	0,522680343	-388369,1667	0,721502905	450,477904	522,279404
-1,26	1,804791323	0,548660813	0,491806852	-388332,7881	0,770928315	450,521464	515,616668
-1,26	1,725191365	0,52494129	0,442750509	-424057,3427	0,839271218	453,338316	576,359684
-1,26	1,693314107	0,502509259	0,423309513	-409426,8639	0,871216095	454,495752	555,749076
-1,26	1,510929545	0,444273047	0,401520725	-383828,3164	0,889063719	453,209028	523,871076
-1,26	1,291387559	0,418234709	0,380844039	-353143,7373	0,896719465	450,525316	486,620936
-1,26	1,060717271	0,391601707	0,361639542	-321947,0877	0,899522405	446,501188	448,38796
-1,26	0,855383481	0,364585588	0,344248089	-290907,3867	0,898526587	441,035896	409,391816
-1,26	0,701700086	0,335346092	0,322818488	-259128,6567	0,89298912	433,94978	367,2054
-1,26	0,582710187	0,301766576	0,295129322	-226362,9239	0,881556938	425,21498	321,17912
-1,26	0,462338454	0,338046033	0,310959286	-192661,0476	0,862826578	414,747536	271,12532
-1,26	0,415616479	0,316432193	0,3111391992	-157883,1181	0,833515032	402,51432	216,94504
-1,26	0,863735433	0,484613366	0,411416646	-122042,1352	0,78910902	388,527088	158,4316
-1,26	2,248775401	1,239178651	1,054257616	-85119,09905	0,721601671	372,64816	95,46704
-1,26	0	2,781252167	2,399246104	-47258,0096	0,615622906	354,965408	28,46444
-1,26	0	6,989160072	6,088236736	-8427,755423	0,357101843	335,498812	42,91764
-1,40	2,084385446	0,618647509	0,562403452	-404380,1667	0,722472786	491,816928	513,82108
-1,40	2,115901776	0,637725509	0,575268878	-381742,7881	0,770748894	493,047024	441,504988
-1,40	1,903233647	0,579376661	0,51409276	-412781,3427	0,822157216	495,745352	518,034672
-1,40	1,77397304	0,541665132	0,470109139	-427884,8639	0,872579442	497,192132	552,642024
-1,40	1,650241122	0,508015982	0,456620284	-398384,3164	0,885479396	497,701512	513,298304
-1,40	1,458722723	0,486043749	0,437192463	-369757,7373	0,893758978	496,312172	478,9087
-1,40	1,257029214	0,460720931	0,417313681	-340301,0877	0,896668957	493,672132	443,904968
-1,40	1,116425582	0,437104904	0,401598163	-309959,3867	0,895332729	489,657948	405,915132
-1,40	0,98737041	0,418768758	0,393706411	-278545,6567	0,889155351	484,156816	364,161
-1,40	0,846557159	0,396410319	0,38046414	-245985,9239	0,877145668	477,048876	318,29228
-1,40	0,722303818	0,366518796	0,357393007	-212365,0476	0,857981976	468,2794	268,27452
-1,40	0,598569212	0,390384919	0,335318502	-177577,1181	0,828878505	457,784488	214,1214
-1,40	0,693607595	0,424756737	0,415375342	-141748,1352	0,786481418	445,61252	155,80952
-1,40	1,795627303	0,928789381	0,771945352	-104776,099	0,724729326	431,550236	93,16992
-1,40	0	2,04451743	1,744179267	-66830,4096	0,633544946	415,654092	26,60292
-1,40	0	4,559420532	3,934479815	-27874,35542	0,420940999	397,950188	44,23716

Tab. 0-20 Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil C

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-1,26	1,887763414	0,567075592	0,509142951	0,343947117	-0,024322123	-0,045792068	0,109894394	0,138167468
-1,26	1,736436593	0,534089743	0,474730104	0,405597698	0,033542363	0,000688104	0,116357831	0,146293786
-1,26	1,437512124	0,45762946	0,405566654	0,922533556	0,045796672	0,027090337	0,122821351	0,154420208
-1,26	1,314814848	0,432011852	0,383185846	1,075866717	0,061871047	0,036952749	0,129286368	0,162548511
-1,26	1,205924327	0,413922613	0,368717512	0,923695817	0,046474506	0,002450694	0,135751551	0,170677024
-1,26	1,085929123	0,397911391	0,358664644	0,675722753	-0,04278117	-0,059668718	0,142215902	0,178804492
-1,26	0,969016068	0,381110106	0,350254319	0,402806933	-0,103297183	-0,115719177	0,148680337	0,186932064
-1,26	0,840966309	0,361628993	0,341014563	0,118978128	-0,152407285	-0,163453423	0,155144772	0,195059636
-1,26	0,701306932	0,335273812	0,322730422	-0,057153736	-0,17288846	-0,183268894	0,161609041	0,203186698
-1,26	0,582603862	0,301762973	0,295125623	-0,161386471	-0,186699488	-0,198271153	0,168072976	0,211313943
-1,26	0,462269327	0,338036613	0,310949058	-0,117819948	-0,197798893	-0,2227816	0,174537578	0,219441724
-1,26	0,415599342	0,31642446	0,311329453	0,213189989	0,008587412	-0,037328752	0,181002179	0,227569505
-1,26	0,413935929	0,383137383	0,369058048	0,889042564	0,474232771	0,373063197	0,18746678	0,235697286
-1,26	0,53179764	0,474005667	0,44758648	2,258547963	1,267712807	1,064831582	0,193931381	0,243825067
-1,26	0,808538988	0,672501178	0,668910706	5,371944411	2,801647356	2,44920568	0,200395982	0,251952848
-1,26	2,172738122	1,689746597	1,559530231	14,22087623	7,140433571	6,148873008	0,20685892	0,260078538
-1,40	2,084385446	0,614680121	0,557533746	0,157743771	-0,092638257	-0,112529955	0,104931098	0,146903537
-1,40	2,082011285	0,62568749	0,560624778	0,380575082	-0,034271615	-0,056681439	0,111103496	0,155544895
-1,40	1,766479255	0,546835316	0,485454319	0,693068484	-0,015111661	-0,032264682	0,11727526	0,164185364
-1,40	1,543046214	0,49201929	0,436161643	0,861699901	0,047297249	-0,00519851	0,123447182	0,172826055
-1,40	1,466413541	0,482369657	0,428001259	0,736386438	-0,063817222	-0,07777067	0,129620375	0,181468525
-1,40	1,365035592	0,468253966	0,41728065	0,510409665	-0,049733816	-0,07980379	0,135792853	0,190109995
-1,40	1,239260533	0,452034351	0,407381118	0,251715286	-0,109787847	-0,130212956	0,14196549	0,198751687
-1,40	1,115955243	0,435788852	0,399820737	-0,010441212	-0,161623045	-0,176861579	0,148137969	0,207393156
-1,40	0,987350714	0,418750032	0,393681279	-0,153095322	-0,188936361	-0,205320836	0,154310209	0,216034292
-1,40	0,846557159	0,39640642	0,38045999	-0,173723071	-0,212595914	-0,230366357	0,160482211	0,224675095
-1,40	0,722303818	0,366517199	0,357391352	-0,195532665	-0,243430709	-0,251318424	0,166654848	0,233316787
-1,40	0,598550928	0,390373339	0,33530405	0,09888571	-0,079166018	-0,126599275	0,172827485	0,241958478
-1,40	0,530606787	0,408564702	0,398442181	0,676938923	0,314211515	0,214000896	0,179000122	0,25060017
-1,40	0,576570395	0,464949655	0,455632229	1,798653769	0,924644807	0,780733626	0,185172759	0,259241862
-1,40	0,709885714	0,597310066	0,588762504	4,132094384	2,0789946	1,77005935	0,191345396	0,267883554
-1,40	1,045589197	0,944524036	0,89832282	9,557987998	4,66284786	3,993592983	0,197516445	0,276523023



Tab. 0-21 Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2,75	psi_c_LR1_3,25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2,75	psi_c_LR2_3,25
-1,26	0,661132055	0,590088797	1,925578948	0,578435207	0,519342064	0,350837039	-0,024809342	-0,046709371
-1,26	0,636350847	0,627801148	1,776660908	0,546461859	0,485727161	0,414993313	0,034319367	0,000704044
-1,26	0,615699616	0,810603755	1,608076325	0,511192873	0,453688093	1,031994336	0,051230555	0,03030467
-1,26	0,590462988	0,791804574	1,427226314	0,468947155	0,415946719	1,167849064	0,067160777	0,040112062
-1,26	0,563494893	0,730704726	1,23485889	0,42385414	0,377564403	0,94585868	0,047589601	0,002509495
-1,26	0,536580568	0,653155662	1,031735941	0,378053664	0,340765521	0,642000878	-0,04064618	-0,056690956
-1,26	0,509883388	0,575799838	0,847858547	0,333459342	0,306461501	0,352443383	-0,090381783	-0,101250636
-1,26	0,483214101	0,500211726	0,67309625	0,289442177	0,27294271	0,095228228	-0,121984402	-0,130825557
-1,26	0,456518511	0,422381837	0,508150142	0,242931344	0,233842705	-0,041412223	-0,125270821	-0,132792234
-1,26	0,429763213	0,341084341	0,377168775	0,195356705	0,191059786	-0,104479117	-0,120866375	-0,128357693
-1,26	0,402968224	0,256180668	0,263119923	0,192407677	0,176989663	-0,067062152	-0,112585513	-0,129671006
-1,26	0,376123487	0,166983157	0,203525668	0,154958137	0,15246303	0,104402559	0,004205393	-0,018280489
-1,26	0,349266338	0,07348619	0,169306035	0,156708966	0,150950305	0,363631811	0,193968352	0,152588472
-1,26	0,322293208	-0,024220734	0,173964689	0,155059448	0,146417052	0,738829141	0,414701472	0,348333804
-1,26	0,295285419	-0,125553406	0,197515239	0,164283025	0,163405921	1,312294026	0,684404902	0,598308124
-1,26	0,268228108	-0,230472226	0,348554988	0,271072523	0,250182954	2,281341361	1,145482611	0,986414486
-1,40	0,681528061	0,58049149	2,015883735	0,594479135	0,539210832	0,152559645	-0,089593773	-0,108831745
-1,40	0,661151635	0,508981349	1,910850482	0,574250125	0,514536178	0,34928825	-0,031454167	-0,052021694
-1,40	0,638959619	0,716762639	1,75441946	0,543102058	0,482140112	0,688336889	-0,015008493	-0,03204441
-1,40	0,613752527	0,833073792	1,592413887	0,50776078	0,450116044	0,889268822	0,04881046	-0,00536483
-1,40	0,589004499	0,745896829	1,419583797	0,466965239	0,414333089	0,712870024	-0,061779227	-0,075287073
-1,40	0,563235282	0,668934016	1,23753468	0,424516786	0,378304624	0,462734939	-0,045088438	-0,072349731
-1,40	0,537652329	0,591948288	1,044774419	0,381093333	0,343447855	0,212211787	-0,092558047	-0,109777696
-1,40	0,512237871	0,512280988	0,867869429	0,33890949	0,310937376	-0,008120047	-0,125692944	-0,13754383
-1,40	0,486834176	0,428568309	0,701605933	0,297561447	0,27974773	-0,108788685	-0,134257128	-0,145899845
-1,40	0,461384854	0,340032792	0,543459573	0,254478816	0,244241775	-0,11152403	-0,1364479012	-0,147887004
-1,40	0,435875564	0,246770134	0,41331933	0,209729811	0,204507785	-0,111888416	-0,13929681	-0,143810347
-1,40	0,410319449	0,148266926	0,300029505	0,195678454	0,168074434	0,049567429	-0,03968274	-0,063459124
-1,40	0,384788063	0,044996093	0,227831368	0,175429069	0,171082672	0,290663302	0,1349158	0,091887473
-1,40	0,359117292	-0,063000962	0,205453208	0,165678639	0,162358498	0,640926401	0,329484906	0,278204066
-1,40	0,333387409	-0,175034779	0,200570988	0,168763884	0,166348857	1,167481238	0,587398778	0,500112265
-1,40	0,307621704	-0,29107148	0,217327864	0,196321263	0,186718245	1,986647457	0,969182514	0,830076512

Tab. 0-22 Rohdaten -1,26 und -1,4 Teil E

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$ [-]	NPSH_LR1_1	NPSH_LR1_2.75	NPSH_LR1_3.25	NPSH_LR2_1	NPSH_LR2_2.75	NPSH_LR2_3.25	NPSH_all_1	NPSH_all_2.75	NPSH_all_3.25	eta_IEC [%]
-1,26	76,98690155	23,12651705	20,76390395	14,02687573	-0,991906542	-1,86749535	78,62010184	23,58453074	21,302399	72,1502905
-1,26	71,03298392	21,84818513	19,41994078	16,59191868	1,37212849	0,028148493	73,77070701	22,42890069	20,10474737	77,09283151
-1,26	64,29277482	20,46749193	18,13898131	41,26034221	2,048257576	1,211616188	77,05761299	23,47409325	19,77594954	83,92712184
-1,26	57,06217958	18,7490565	16,63003697	46,69197336	2,685166509	1,603727235	73,34019162	21,76449437	18,3342244	87,12160952
-1,26	49,37110468	16,94618493	15,09546702	37,81653779	1,902687974	0,100332546	61,71095677	18,14546212	16,3393273	88,90637188
-1,26	41,25001128	15,11502825	13,62420464	25,667947	-1,625081892	-2,26657083	48,89405696	15,83505398	14,41938172	89,67194645
-1,26	33,89837772	13,33209505	12,25268972	14,09109922	-3,613569524	-4,048119017	36,95024758	13,64150508	12,59776848	89,95224052
-1,26	26,91117641	11,57223723	10,91256921	3,807336103	-4,877079245	-5,230559008	27,22854256	11,60547803	10,95809536	89,85265874
-1,26	20,31643784	9,712679634	9,349305216	-1,655709192	-5,008474157	-5,309189056	20,18121984	9,644709105	9,284409399	89,29891198
-1,26	15,07964934	7,810589849	7,638794029	-4,17719748	-4,82237924	-5,131890902	14,91464318	7,723806645	7,553924127	88,15569382
-1,26	10,51984267	7,692684288	7,076253997	-2,681223361	-4,501300686	-5,184398671	10,32942125	7,552518831	6,947355195	86,28265782
-1,26	8,137194577	6,195407787	6,095650509	4,174136594	0,168136551	-0,730875366	7,89060604	6,007562017	5,911872267	83,35150324
-1,26	6,769053572	6,265407978	6,035169992	14,53842568	7,755081898	6,100665802	13,41164053	7,52482764	6,388266529	78,91090203
-1,26	6,955312009	6,199458328	5,853925217	29,53925438	16,58025054	13,92679344	26,9094921	14,82836752	12,61554933	72,16016708
-1,26	7,896890577	6,568227751	6,533160101	52,46705211	27,36330955	23,92105953	0	23,12999283	19,95302368	61,56229059
-1,26	13,93563664	10,83779695	10,0026075	91,21069948	45,79773637	39,43800642	0	31,97313605	27,85170456	35,71018431
-1,40	88,40218088	26,06958484	23,64591404	6,690170199	-3,928939346	-4,772578619	88,36366393	26,22641638	23,84205365	72,24727863
-1,40	83,79617685	25,18248575	22,56386092	15,31727378	-1,379353849	-2,28129784	85,07096123	25,64009478	23,12899255	77,07488941
-1,40	76,93623585	23,81655527	21,14320217	30,18551177	-0,658164709	-1,405237662	82,8158307	25,21054605	22,36983306	82,21572156
-1,40	69,83183305	22,26674067	19,73885658	38,99694306	2,140476179	-0,2352629	80,18163548	24,48266978	21,2484174	87,25794416
-1,40	62,25274873	20,47774124	18,1696732	31,26135882	-2,709193142	-3,301550236	69,85684779	21,50497563	19,32932904	88,5479396
-1,40	54,26938207	18,61625701	16,5897235	20,29223069	-1,977255027	-3,172739511	57,70752392	19,22804163	17,2954696	89,37589777
-1,40	45,81630161	16,71201625	15,06115598	9,306084683	-4,058931094	-4,814061212	46,14772782	16,91386634	15,32031074	89,66689571
-1,40	38,05851943	14,86213592	13,63547989	-0,356086921	-5,511989692	-6,03168442	37,71276651	14,76536855	13,5659537	89,53327291
-1,40	30,76739669	13,04890772	12,26772607	-4,770690318	-5,887553306	-6,398119243	30,5742037	12,87534961	12,10478956	88,91553512
-1,40	23,83223329	11,15961301	10,71068992	-4,890642887	-5,984989169	-6,485261755	23,36635472	10,94156967	10,50142919	87,71456679
-1,40	18,12521702	9,197243055	8,968242522	-4,906622252	-6,108557532	-6,306488843	17,59264415	8,927039546	8,704769142	85,79819759
-1,40	13,15713905	8,581051448	7,370537426	2,173671396	-1,740199959	-2,782861381	12,56928911	8,197650009	7,041316373	82,88785054
-1,40	9,991047324	7,693058905	7,502457156	17,46404665	5,916437929	4,029524554	12,16747099	7,451209165	7,286637938	78,64814175
-1,40	9,009701989	7,265475071	7,119877539	28,10642827	14,44884134	12,20003207	25,09584551	12,98084228	10,78877631	72,47293263
-1,40	8,795602861	7,400771737	7,294866013	51,19734131	25,75909912	21,913133173	0	21,094345663	17,99561057	63,35449461
-1,40	9,530439102	8,60924045	8,488121067	87,12008771	42,50138362	36,40119353	0	29,92331306	25,82184959	42,09409989

Tab. 0-23 Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil A

Drehzahlverhältnis $\omega_1/\omega_2$ [-]	$Q_{cfd,modell}$	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-1,60	0,265101505	42,45947389	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	33,82075864	9,172031641	38,86501236	21,36151271
-1,60	0,280694684	44,28467565	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	33,27839501	11,47370923	37,26440932	21,37832225
-1,60	0,296289669	43,54181961	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	32,37875296	11,56243714	35,41673323	18,72750896
-1,60	0,311880241	45,53196173	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	31,3091057	14,61634353	33,8455006	19,62738247
-1,60	0,327481444	43,82589336	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	30,09500056	13,8199549	32,25099717	17,86271723
-1,60	0,343072818	41,87819188	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	28,92629955	13,06157821	30,80923109	16,45587361
-1,60	0,358667001	39,22426245	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	27,74048831	11,60930472	29,41218189	14,6771303
-1,60	0,374261184	36,35143327	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	26,55699889	9,974445847	28,06328172	12,87791811
-1,60	0,389855366	33,33360295	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	25,38226879	8,194983241	26,75615928	11,08463338
-1,60	0,405448345	30,19114863	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	24,20887779	6,283869824	25,48067024	9,301128203
-1,60	0,421043129	26,93697256	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	23,03401004	4,253875875	24,22824243	7,530425152
-1,60	0,436637914	23,56254438	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	21,85575258	2,103657214	22,99215102	5,775638999
-1,60	0,452232698	20,09859052	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	20,67917669	-0,14183465	21,77406972	4,042676701
-1,60	0,467827482	16,50395721	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	19,49658344	-2,498476092	20,56206273	2,314463237
-1,60	0,483422267	12,80251159	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	18,31116281	-4,940927657	19,35766899	0,606127064
-1,60	0,499013039	8,99454394	0,330652	0,331158	186,88431	-116,80269	17,12267848	-7,469709443	18,15862722	1,092887534
-1,80	0,265102909	44,25146694	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	37,00712713	7,711427567	43,3587712	19,82351915
-1,80	0,280694082	42,44158341	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	37,07827579	5,504922454	41,87859491	16,64943142
-1,80	0,296290873	46,88023336	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	36,47158863	10,63091251	40,23472158	18,2180113
-1,80	0,311883049	47,93810573	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	35,3222628	12,85184109	38,44301728	18,29690613
-1,80	0,327477031	45,71809085	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	34,03186281	11,90581444	36,72384626	16,42785667
-1,80	0,343072618	44,09267628	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	32,78133252	11,45373433	35,0818556	15,2050018
-1,80	0,35866666	41,56154525	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	31,54996378	10,18353694	33,56695718	13,60487691
-1,80	0,374261184	38,71815754	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	30,31102346	8,648717775	32,10927998	11,94203056
-1,80	0,389855165	35,68490674	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	29,07546637	6,92769207	30,70026664	10,26558707
-1,80	0,405448345	32,5222526	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	27,84894172	5,06120182	29,33328678	8,596391174
-1,80	0,421043129	29,23924049	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	26,62358846	3,071345614	27,99844112	6,941703823
-1,80	0,436637914	25,87488405	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	25,40460505	0,98752799	26,69487368	5,325756706
-1,80	0,452232698	22,34406292	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	24,17406503	-1,223466907	25,40046863	3,707478739
-1,80	0,467827482	18,69137769	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	22,94101459	-3,534175442	24,12058754	2,106108734
-1,80	0,483422267	14,94863865	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	21,7062819	-5,927587943	22,85206187	0,526099352
-1,80	0,499013039	11,10603965	0,330652	0,331158	195,22736	-108,45964	20,46922167	-8,404458645	21,59237231	1,041515979

Tab. 0-24 Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-1,60	2,383261285	0,716797804	0,628954395	-405029,1667	0,704996243	539,215456	474,193404
-1,60	2,218981512	0,65572383	0,594868261	-421638,7881	0,75516052	547,418864	502,480392
-1,60	2,140041528	0,651769932	0,586990726	-413061,3427	0,804181901	549,182056	464,630628
-1,60	1,950181453	0,604406928	0,542374462	-431143,8639	0,851496293	552,43366	512,579884
-1,60	1,833258544	0,58751695	0,525791163	-413002,3164	0,874528936	552,740356	489,830172
-1,60	1,689619965	0,561492921	0,501792424	-392427,7373	0,886027697	553,169848	472,73588
-1,60	1,57981766	0,540178814	0,482770269	-364875,0877	0,889654669	552,090144	440,802332
-1,60	1,460330149	0,522751669	0,469878168	-335110,3867	0,887893697	549,673212	403,581972
-1,60	1,334296436	0,509868224	0,465119573	-303856,6567	0,880890716	545,906944	361,85632
-1,60	1,214895244	0,498384659	0,464545909	-271312,9239	0,868015743	540,676768	315,77844
-1,60	1,08134416	0,484953512	0,461956037	-237606,0476	0,848177037	533,875296	265,49564
-1,60	0,947257898	0,465494596	0,450790091	-202651,1181	0,81905994	525,402792	211,17028
-1,60	0,849472019	0,45301619	0,437380774	-166750,1352	0,778509816	515,338868	153,0884
-1,60	1,41482253	0,709293902	0,604360148	-129500,009	0,721436342	503,435388	90,6666
-1,60	3,115873172	1,456662094	1,222107477	-91135,0096	0,641286434	489,74616	24,53588
-1,60	0	3,032791276	2,586045223	-51660,85542	0,467212815	474,226956	45,6666
-1,80	2,459677519	0,779835305	0,661490523	-422555,1667	0,700377696	575,857396	473,904948
-1,80	2,579305711	0,757901632	0,686004666	-403612,7881	0,725149746	588,909892	421,433116
-1,80	2,266326531	0,674876833	0,612450548	-445712,3427	0,80201953	597,23158	486,760396
-1,80	2,106382039	0,644424199	0,580353177	-454675,8639	0,844874347	600,665556	514,59484
-1,80	2,026991351	0,640701519	0,572520555	-431509,3164	0,860143482	602,49368	485,129568
-1,80	1,931433068	0,619302274	0,552293737	-414086,7373	0,876823062	602,965	470,401316
-1,80	1,845674673	0,60433278	0,537423189	-387735,0877	0,881066977	603,151484	440,029252
-1,80	1,753275744	0,593898795	0,529033743	-358258,3867	0,878933159	602,044848	403,040752
-1,80	1,643521573	0,584714935	0,525203176	-326853,6567	0,871089054	599,610088	360,89684
-1,80	1,522121556	0,577343274	0,525819793	-294112,9239	0,857435506	595,826412	314,3024
-1,80	1,413947874	0,572603435	0,531885278	-260123,0476	0,836837985	590,58706	263,56556
-1,80	1,29054632	0,568027426	0,539042768	-225267,1181	0,808069165	583,946156	209,70016
-1,80	1,164460845	0,562347174	0,543296081	-188712,1352	0,767627571	575,475952	151,19472
-1,80	1,326007614	0,709340829	0,582406564	-150901,099	0,712685178	565,323584	88,85104
-1,80	2,546537161	1,131487403	0,964588556	-112143,0096	0,639427477	553,446356	22,93456
-1,80	5,129814329	2,26015027	1,892672613	-72340,45542	0,490681915	539,80356	46,86772

Tab. 0-25 Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil C

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-1,60	2,383261285	0,714873338	0,628203856	-0,002893555	-0,196126732	-0,2111952838	0,099465786	0,159145257
-1,60	2,218981512	0,654370313	0,592872677	0,029644526	-0,168498295	-0,185085565	0,105316329	0,168506127
-1,60	2,129775468	0,641940855	0,575130776	0,305776037	-0,009874535	-0,045396203	0,11116755	0,17786808
-1,60	1,88633766	0,582883919	0,517654241	0,602746143	-0,025805717	-0,052541026	0,117017115	0,187227384
-1,60	1,788908673	0,568651343	0,504103535	0,515361026	-0,086875578	-0,10778236	0,122870669	0,19659307
-1,60	1,681193131	0,549624673	0,48775274	0,320310014	-0,092724296	-0,122617495	0,128720535	0,205952856
-1,60	1,579578064	0,536128436	0,47734223	0,08934717	-0,144562021	-0,167613552	0,134571455	0,215314327
-1,60	1,460330149	0,52245053	0,469437674	-0,142634344	-0,189062019	-0,208584048	0,140422374	0,224675799
-1,60	1,334296436	0,509859448	0,465108228	-0,172446671	-0,223958368	-0,247506573	0,146273294	0,23403727
-1,60	1,214895244	0,498384026	0,464544554	-0,205484605	-0,254362252	-0,27670632	0,152123762	0,243398019
-1,60	1,08134416	0,48495332	0,461955636	-0,260866397	-0,281429819	-0,29083024	0,157974908	0,252759852
-1,60	0,947257898	0,46549449	0,450789864	0,001515984	-0,167148561	-0,210393076	0,163826053	0,262121685
-1,60	0,828747519	0,441715618	0,43320509	0,469091861	0,149436676	0,073618549	0,169677199	0,271483518
-1,60	0,723942724	0,548430465	0,51530763	1,389699437	0,650388236	0,501410575	0,175528344	0,280845351
-1,60	0,737126269	0,592935438	0,555558106	3,124444385	1,48748966	1,208640304	0,18137949	0,290207183
-1,60	0,884044684	0,812265824	0,779452632	6,4622601	3,101195989	2,642276306	0,18722913	0,299566608
-1,80	2,459677519	0,779835305	0,661490523	-0,09403711	-0,22384396	-0,241699497	0,098757063	0,252490824
-1,80	2,579305711	0,756706148	0,685410355	0,003683426	-0,176374135	-0,19833078	0,104566214	0,267337516
-1,80	2,266326531	0,669706533	0,605995303	0,189596949	-0,036810361	-0,079063926	0,110375514	0,282194525
-1,80	2,102587873	0,63302134	0,566304481	0,374006588	-0,044353754	-0,091848614	0,116184665	0,297043128
-1,80	2,023156219	0,629099357	0,55824119	0,336531774	-0,078420645	-0,1238883	0,121993966	0,311894788
-1,80	1,931433068	0,613116821	0,544122507	0,168005941	-0,122226234	-0,152251364	0,127803117	0,326749886
-1,80	1,845674673	0,603196302	0,535500643	-0,032416799	-0,170768393	-0,195429383	0,133612417	0,341601546
-1,80	1,753275744	0,59383595	0,528893805	-0,162753022	-0,212711334	-0,235549419	0,139421718	0,356454352
-1,80	1,643521573	0,584713064	0,525198668	-0,187143264	-0,263976531	-0,2805561904	0,145230869	0,371306394
-1,80	1,522121556	0,577343274	0,525819793	-0,228633241	-0,306776335	-0,317616764	0,151039721	0,386157671
-1,80	1,413947874	0,572603435	0,531885278	-0,278214932	-0,305340671	-0,317741008	0,156849171	0,401010477
-1,80	1,29054632	0,568027426	0,539042768	-0,082095697	-0,230382524	-0,274757213	0,162658621	0,415863283
-1,80	1,158699465	0,560609891	0,540849713	0,373973826	0,043373888	-0,028865506	0,168468071	0,430716089
-1,80	1,068129624	0,551694768	0,539492396	1,117325076	0,454577622	0,333664492	0,174277521	0,445568895
-1,80	0,97691042	0,675117983	0,602722843	2,517192308	1,120802568	0,908668366	0,180086971	0,460421701
-1,80	1,011354388	0,775683575	0,757565862	5,152493187	2,287957373	1,946047066	0,185894926	0,475270686

Tab. 0-26 Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2,75	psi_c_LR1_3,25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2,75	psi_c_LR2_3,25
-1,60	0,69298872	0,481114371	2,085953443	0,62569409	0,54983648	-0,002532589	-0,171660252	-0,185512077
-1,60	0,681875667	0,601847728	2,037035355	0,600714993	0,544259876	0,027213813	-0,154682219	-0,16990941
-1,60	0,663441965	0,606501906	1,912461087	0,576439594	0,516446657	0,274575786	-0,008866974	-0,040764143
-1,60	0,641524849	0,766693051	1,770141754	0,54697904	0,485767424	0,565617777	-0,024216119	-0,049304568
-1,60	0,616647785	0,724918881	1,619166782	0,51469445	0,456271307	0,466460623	-0,078632326	-0,097555353
-1,60	0,592701054	0,685138608	1,457106281	0,476364998	0,422739998	0,277615774	-0,08036504	-0,106273764
-1,60	0,568403733	0,608960322	1,28600468	0,436485979	0,388625517	0,0727415	-0,117694364	-0,136461639
-1,60	0,544153987	0,52320461	1,106649041	0,395916895	0,355743359	-0,108089366	-0,143272604	-0,158066542
-1,60	0,52008372	0,429863782	0,933132538	0,356567272	0,325270764	-0,120599588	-0,156623997	-0,173092298
-1,60	0,49604089	0,329617275	0,776754541	0,318646449	0,297010869	-0,131378488	-0,162628865	-0,176914752
-1,60	0,471967802	0,223134949	0,625282199	0,280421987	0,267123684	-0,150844773	-0,162735475	-0,168171225
-1,60	0,447825259	0,110346296	0,488734346	0,240170228	0,232583428	0,000782167	-0,086239706	-0,10855156
-1,60	0,423717171	-0,007439866	0,375603379	0,200193515	0,196336389	0,212600924	0,067727407	0,033365259
-1,60	0,399485787	-0,131056324	0,281914791	0,213567531	0,200668973	0,541171026	0,253271506	0,195257239
-1,60	0,37519647	-0,25917391	0,23964065	0,192764035	0,180612618	1,015760683	0,483584704	0,392930438
-1,60	0,350844378	-0,391819904	0,229924501	0,21125608	0,202721945	1,728566697	0,806566629	0,687209676
-1,80	0,696980629	0,469123227	2,072489389	0,657078166	0,557362532	-0,079234335	-0,188607746	-0,203652568
-1,80	0,698320621	0,334890909	2,095525672	0,614776741	0,556853338	0,002992555	-0,143293029	-0,161131439
-1,80	0,686894465	0,646729537	2,025112551	0,598427052	0,541496857	0,169417405	-0,032892491	-0,070648844
-1,80	0,665248423	0,781839304	1,922934675	0,578933561	0,517917247	0,342050026	-0,040563999	-0,084000715
-1,80	0,640945434	0,724287953	1,765514643	0,548985845	0,487151208	0,293675678	-0,068434062	-0,108111576
-1,80	0,617393339	0,696785746	1,630636796	0,51763163	0,459382308	0,14184114	-0,103191044	-0,12854014
-1,80	0,594202126	0,61951353	1,473939398	0,481707208	0,427646056	-0,025887767	-0,136374122	-0,156068169
-1,80	0,570868312	0,526143098	1,312016107	0,444380944	0,395783261	-0,121791787	-0,159176728	-0,176266986
-1,80	0,547598217	0,421444827	1,143173731	0,406705105	0,36530906	-0,130170037	-0,183612458	-0,195148639
-1,80	0,524498237	0,307897248	0,97641545	0,370356028	0,337304579	-0,14666439	-0,196791874	-0,203745827
-1,80	0,501420318	0,186844725	0,82909142	0,335755373	0,311879616	-0,163135868	-0,179041487	-0,186312628
-1,80	0,478462366	0,060076077	0,685359939	0,301657706	0,286265059	-0,043597894	-0,122347373	-0,145913079
-1,80	0,455286761	-0,074429376	0,549775204	0,265995995	0,256620263	0,177441643	0,020579873	-0,013695993
-1,80	0,432063876	-0,21500089	0,445685792	0,230199139	0,2251076	0,466212995	0,189676218	0,139224229
-1,80	0,408809308	-0,360603683	0,35130903	0,24278075	0,216746565	0,905213386	0,403054421	0,326768346
-1,80	0,385510903	-0,511128364	0,304760464	0,23374367	0,228284097	1,552646861	0,689450661	0,58641977

Tab. 0-27 Rohdaten -1,6 und -1,8 Teil E

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	NPSH_LR1_1	NPSH_LR1_2.75	NPSH_LR1_3.25	NPSH_LR2_1	NPSH_LR2_2.75	NPSH_LR2_3.25	NPSH_all_1	NPSH_all_2.75	NPSH_all_3.25	eta IEC [%]
-1,60	101,8032847	30,53649824	26,83432842	-0,12360096	-8,377740907	-9,0533768131	101,1920203	30,43485765	26,7050727	70,49962427
-1,60	99,41587665	29,3174134	26,56216674	1,328148296	-7,549141644	-8,292292476	98,26687652	29,03851712	26,34354797	75,51605198
-1,60	93,33612944	28,13267203	25,2047605	13,40045099	-0,43274555	-1,989461295	93,18130217	28,3792488	25,55864431	80,41819009
-1,60	86,39034852	26,69487332	23,70748952	27,60452194	-1,18184828	-2,406269889	88,79558726	27,51983314	24,69537324	85,14962933
-1,60	79,02213614	25,11924982	22,2679552	22,7652366	-3,837587586	-4,761110777	80,34419346	25,74845521	23,04326743	87,45289365
-1,60	71,11290335	23,24861167	20,63148654	13,54881519	-3,92215134	-5,186605834	70,7582291	23,51430827	21,01415942	88,60276972
-1,60	62,76242695	21,30234813	18,96655666	3,550090576	-5,743979034	-6,559900086	61,96718253	21,18811558	18,93630774	88,96546694
-1,60	54,00911884	19,32240651	17,3617693	-5,275214819	-6,992304502	-7,714310811	53,08509395	19,00277241	17,08074487	88,78936968
-1,60	45,54078506	17,40197974	15,87457876	-5,885766147	-7,643908535	-8,447630769	44,47690761	16,99574495	15,50411117	88,08907165
-1,60	37,90888239	15,55128438	14,49537723	-6,411821732	-7,936971321	-8,634182561	36,67908289	15,0468053	14,02517459	86,80157435
-1,60	30,51639619	13,68577017	13,03675714	-7,361858153	-7,942174339	-8,207461739	29,12813797	13,06317945	12,44366709	84,81770365
-1,60	23,85228775	11,72131534	11,35104767	0,038173019	-4,208859683	-5,297771804	22,31980626	10,96823709	10,62176153	81,90599405
-1,60	18,33102165	9,770283912	9,582040011	10,37581755	3,305381774	1,628364702	17,07319026	9,10498691	8,790737074	77,85098164
-1,60	13,75862526	10,42299205	9,793488266	26,41141785	12,36071269	9,52937294	23,35017049	11,70615621	9,974334028	72,14363418
-1,60	11,69546971	9,407694102	8,814653967	49,57338544	23,60096361	19,17665488	39,8910024	18,64893335	15,64604514	64,12864344
-1,60	11,22128085	10,31018354	9,893681907	84,36131122	39,3638374	33,53871707	0	27,2786061	23,26032442	46,72128146
-1,80	110,041621	34,88845201	29,59391584	-4,207053935	-10,01438279	-10,81320793	108,8443384	34,50885621	29,27192602	70,03776961
-1,80	111,2647636	32,64240075	29,5668795	0,158893731	-7,608336738	-8,555491198	109,4698185	32,16654534	29,11512425	72,51497457
-1,80	107,5260839	31,77429193	28,75150643	8,995445781	-1,746471198	-3,751195723	106,2459167	31,63838342	28,71182461	80,20195302
-1,80	102,1008117	30,73925871	27,49951521	18,16160774	-2,153800249	-4,460131321	100,9759649	30,89247538	27,82103197	84,48743469
-1,80	93,74238265	29,14914435	25,86595081	15,59310645	-3,63359886	-5,740330051	92,67017473	29,29165025	26,17454674	86,01434824
-1,80	86,58086134	27,48434999	24,39152362	7,531246772	-5,479067758	-6,825012188	85,16205303	27,30669467	24,35210897	87,6823062
-1,80	78,26080151	25,5768943	22,70644449	-1,374545946	-7,240968028	-8,286650063	76,70909145	25,1170042	22,3361382	88,10669769
-1,80	69,66326585	23,59500595	21,01464636	-6,466699314	-8,451703181	-9,35913352	67,88360648	22,99466711	20,48321181	87,89331592
-1,80	60,698352	21,59455643	19,39657755	-6,911553778	-9,749151268	-10,36168037	58,64891405	20,86549791	18,74182634	87,10890536
-1,80	51,84409605	19,66455311	17,90964182	-7,787343715	-10,44893012	-10,81815966	49,50282172	18,77650381	17,10084414	85,74355057
-1,80	44,02172787	17,82738463	16,55966912	-8,661919057	-9,506449395	-9,892520407	41,34276195	16,74248955	15,55192155	83,6837985
-1,80	36,3901109	16,01692301	15,19962964	-2,31488904	-6,4961933	-7,747451826	33,39273639	14,6976438	13,94766912	80,80691648
-1,80	29,19105639	14,12341633	13,62559917	9,421503479	1,092716139	-0,72720722	26,01878638	12,56512063	12,13944181	76,76275705
-1,80	23,6642886	12,22273393	11,95239179	24,75420816	10,07111478	7,39229832	24,78490914	13,25855734	10,88598105	71,26851777
-1,80	18,65322708	12,89077155	11,50845137	48,06352638	21,40071841	17,35020634	38,06726381	16,91419632	14,41928576	63,94247469
-1,80	16,18166814	12,41093562	12,12105224	82,43388046	36,60731328	31,13674907	56,97192135	25,10131852	21,02009709	49,06819151

Tab. 0-28 Rohdaten -2 Teil A

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	Q_cfd_modell	Hges	D1	D2	om LR1	om LR2	H LR1	H LR2	Hmoment LR1	Hmoment LR2
-2,00	0,265102307	43,01787338	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	38,90068439	4,18246189	47,42735912	16,99887121
-2,00	0,280695085	43,14912543	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	40,11688359	3,25135906	45,84492804	14,67669838
-2,00	0,296288666	46,9192124	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	39,87153537	7,730879436	44,4757741	16,05111706
-2,00	0,31188345	49,53017108	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	39,02516928	11,053310586	42,8092543	16,88806577
-2,00	0,327478837	48,4378236	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	37,73774918	10,97239694	40,96459773	15,72495935
-2,00	0,343072217	46,22853541	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	36,29443449	10,17565951	39,05850449	14,2498244
-2,00	0,35866668	43,69097554	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	35,02592259	8,925204247	37,41045479	12,71286063
-2,00	0,374260782	40,85668321	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	33,74525513	7,437062178	35,84902839	11,14848365
-2,00	0,389855165	37,81075887	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	32,46042477	5,759916573	34,34552961	9,573075936
-2,00	0,405448345	34,61144315	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	31,18060848	3,929815817	32,89004866	8,001764601
-2,00	0,421043129	31,28533801	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	29,90852758	1,973432097	31,47536618	6,447282821
-2,00	0,436637914	27,87738946	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	28,6489354	-0,064411723	30,10286351	4,939955697
-2,00	0,452232698	24,31242989	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	27,37659821	-2,237691027	28,74293183	3,42877868
-2,00	0,467827482	20,61359195	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	26,10016584	-4,509198371	27,39987622	1,935864764
-2,00	0,483422267	16,82980461	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	24,82207168	-6,862324843	26,07219173	0,464465827
-2,00	0,499013039	12,9474224	0,330652	0,331158	202,458	-101,229	23,5419976	-9,301485096	24,75629212	0,994279387

Tab. 0-29 Rohdaten -2 Teil B

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_1	sig_iso_2.75	sig_iso_3.25	p_in_ref	eta_ges (IEC)	M(Torque) LR1	M(Torque) LR2
-2,00	2,245931723	0,84133918	0,72862322	-410490,1667	0,667707441	607,395644	435,404396
-2,00	2,775338965	0,864099002	0,706257118	-410532,7881	0,712953831	621,66344	398,03604
-2,00	2,498351226	0,73004741	0,665906491	-446094,3427	0,775179619	636,601676	459,493656
-2,00	2,278092353	0,68254984	0,618450682	-470247,8639	0,829688351	644,99926	508,89884
-2,00	2,18903267	0,671385119	0,602204273	-458109,3164	0,854439973	648,068864	497,544568
-2,00	2,130420703	0,661805826	0,589675213	-434976,7373	0,867191607	647,336928	472,339516
-2,00	2,060561613	0,657471989	0,583879925	-408562,0877	0,871669705	648,206512	440,548456
-2,00	1,987137892	0,652192803	0,579202868	-379174,3867	0,869337151	648,158072	403,13392
-2,00	1,903826692	0,647199017	0,576999937	-347645,6567	0,860928037	646,848736	360,59028
-2,00	1,802352079	0,64336038	0,578551323	-314545,9239	0,846414976	644,212684	313,45884
-2,00	1,691847312	0,642587277	0,585826413	-280135,0476	0,824977654	640,216112	262,2784
-2,00	1,596005262	0,645782217	0,599976753	-244857,1181	0,795523593	634,977704	208,40288
-2,00	1,49011519	0,654889197	0,621522261	-207978,1352	0,755708338	627,945928	149,81684
-2,00	1,536943592	0,681877144	0,660067241	-169722,099	0,702678414	619,246492	87,5024
-2,00	2,207051596	1,022867464	0,896569443	-130580,0096	0,634209662	608,882392	21,694
-2,00	4,243105386	1,792758519	1,511760099	-90416,15542	0,502801361	596,797116	47,93796

Tab. 0-30 Rohdaten -2 Teil C

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	sig_iso_LR1_1	sig_iso_LR1_2.75	sig_iso_LR1_3.25	sig_iso_LR2_1	sig_iso_LR2_2.75	sig_iso_LR2_3.25	phi_LR1	phi_LR2
-2,00	2,245931723	0,84133918	0,72862322	-0,155730919	-0,257761505	-0,284532441	0,095230025	0,270524655
-2,00	2,775338965	0,864099002	0,706256244	-0,07684978	-0,214518408	-0,237279325	0,100831706	0,2864351
-2,00	2,498351226	0,726921278	0,663541406	0,070406683	-0,084989153	-0,112369375	0,106433531	0,302346774
-2,00	2,278092353	0,675857549	0,609669444	0,262650809	-0,063781466	-0,097023906	0,112035213	0,318261313
-2,00	2,18903267	0,664901386	0,593524833	0,218482956	-0,099530822	-0,134475877	0,117637038	0,334176672
-2,00	2,130420703	0,659610992	0,58611321	0,048644337	-0,140124746	-0,171814921	0,12323872	0,350088345
-2,00	2,060561613	0,657009726	0,583163959	-0,129082178	-0,188429988	-0,215427397	0,128840545	0,366002066
-2,00	1,987137892	0,652174943	0,579151593	-0,176126006	-0,232853059	-0,258785426	0,134442371	0,381914558
-2,00	1,903826692	0,647198718	0,576999163	-0,207795369	-0,288336476	-0,302274229	0,140044052	0,397828279
-2,00	1,802352079	0,64336038	0,578551323	-0,256422385	-0,318777043	-0,330664654	0,145645445	0,413740362
-2,00	1,691847312	0,642587277	0,585826413	-0,28968692	-0,331684119	-0,350882839	0,151247415	0,429654083
-2,00	1,596005262	0,645782217	0,599976753	-0,129081772	-0,282742297	-0,301194485	0,156849384	0,445567804
-2,00	1,49011519	0,653449133	0,619693735	0,250893079	-0,034412107	-0,104428654	0,162451354	0,461481524
-2,00	1,378189329	0,661680725	0,637666612	0,948156239	0,311633632	0,215895378	0,168053324	0,477395245
-2,00	1,316563719	0,673599556	0,65789082	2,129640926	0,860708049	0,702859635	0,173655293	0,493308966
-2,00	1,270175191	0,826691387	0,709872727	4,248237174	1,784861381	1,522007947	0,179255822	0,509218592



Tab. 0-31 Rohdaten -2 Teil D

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	psi_LR1	psi_LR2	psi_c_LR1_1	psi_c_LR1_2.75	psi_c_LR1_3.25	psi_c_LR2_1	psi_c_LR2_2.75	psi_c_LR2_3.25
-2,00	0,681246123	0,292085899	1,729107067	0,647733637	0,560955414	-0,119894755	-0,198446478	-0,219056995
-2,00	0,702544746	0,227061515	2,151939678	0,670004259	0,547616293	-0,059587709	-0,166333079	-0,183981416
-2,00	0,698248098	0,539892755	2,10698151	0,613048188	0,559596849	0,059377392	-0,0716755	-0,094766578
-2,00	0,683426158	0,771903355	2,020956839	0,599571362	0,540854119	0,233004579	-0,05658225	-0,08607251
-2,00	0,660880284	0,766266977	1,890852939	0,574331648	0,512677673	0,188722236	-0,085973202	-0,116158206
-2,00	0,635604313	0,710626118	1,766759987	0,547016045	0,486064262	0,040340797	-0,11620559	-0,142486283
-2,00	0,613389568	0,623299477	1,621501805	0,51701558	0,458904702	-0,101577639	-0,148279752	-0,169524614
-2,00	0,590961948	0,519373769	1,472452597	0,483256191	0,429146498	-0,130507901	-0,172542174	-0,191757842
-2,00	0,568461426	0,402248832	1,318747781	0,448303345	0,399677328	-0,143936254	-0,199725684	-0,209380124
-2,00	0,546048713	0,274442139	1,158981149	0,41370527	0,372030573	-0,164889376	-0,2049858	-0,212629988
-2,00	0,523771465	0,137816364	1,00263849	0,380816125	0,347177967	-0,171676991	-0,196565767	-0,207943493
-2,00	0,501712926	-0,004498249	0,86592146	0,350372704	0,325520698	-0,070034028	-0,153403393	-0,163414729
-2,00	0,47943119	-0,156271118	0,731719853	0,320875666	0,304300105	0,123200843	-0,016898037	-0,051279606
-2,00	0,457077737	-0,314903828	0,604900699	0,290418105	0,279878077	0,416154994	0,136779032	0,094758581
-2,00	0,434695183	-0,479300033	0,508612228	0,260223615	0,254155048	0,822718567	0,332506989	0,27152731
-2,00	0,412277955	-0,64957738	0,423052009	0,275342689	0,23643438	1,414942823	0,594476414	0,506928906

Tab. 0-32 Rohdaten -2 Teil E

Drehzahlverhältnis omega_1/omega_2 [-]	NPSH_LR1_1	NPSH_LR1_2.75	NPSH_LR1_3.25	NPSH_LR2_1	NPSH_LR2_2.75	NPSH_LR2_3.25	NPSH_all_1	NPSH_all_2.75	NPSH_all_3.25	eta_IEC [%]
-2,00	98,73589878	36,98704609	32,03181458	-6,8462599	-11,33173977	-12,50864666	96,61520647	36,19262233	31,34382143	66,7707441
-2,00	122,880591	38,2587487	31,2701208	-3,402592059	-9,497992544	-10,50575228	119,7534491	37,28511622	30,47437699	71,29538312
-2,00	120,3133786	35,00642902	31,95423749	3,390582497	-4,092832122	-5,411384519	117,2206718	34,25324948	31,24380808	77,51796186
-2,00	115,4011766	34,236872	30,88398547	13,305085	-3,230973589	-4,914933724	112,834304	33,80681036	30,6319681	82,96883515
-2,00	107,9719516	32,79562762	29,27504709	10,77646373	-4,909262993	-6,632894559	106,0319783	32,52043396	29,16946435	85,44399727
-2,00	100,8859651	31,23584531	27,75536153	2,303550131	-6,635600298	-8,13628694	98,48622889	30,59431406	27,25982148	86,71916073
-2,00	92,59139654	29,52275133	26,20448962	-5,80031144	-8,467107046	-9,6802364	90,02794701	28,72559259	25,51028352	87,16697045
-2,00	84,08035186	27,59501435	24,50522932	-7,452294407	-9,85254584	-10,94980364	81,18786334	26,64643475	23,66430811	86,93371507
-2,00	75,30346153	25,59912832	22,82247352	-8,219083504	-11,40478535	-11,95607557	71,98513198	24,47108597	21,81680547	86,09280374
-2,00	66,18042783	23,62350048	21,24378166	-9,415553886	-11,7051498	-12,14165006	62,38200654	22,26763123	20,02449621	84,64149763
-2,00	57,2529107	21,7454564	19,82464202	-9,803141951	-11,22434698	-11,87404071	52,93001503	20,10356015	18,32777735	82,49776541
-2,00	49,44606108	20,00706871	18,58796328	-3,999100343	-8,759678434	-9,331348242	44,49246026	18,00272236	16,72578562	79,55235933
-2,00	41,78284777	18,32272151	17,37621976	7,035044944	-0,964915903	-2,9281807	36,22832107	15,92194769	15,11071638	75,57083381
-2,00	34,54118913	16,58352637	15,98166709	23,76338524	7,810390062	5,410927885	31,68192805	14,0559372	13,60635678	70,26784142
-2,00	29,04290105	14,85935316	14,51282435	46,97907879	18,98689622	15,50481952	37,14424713	17,21465955	15,08908854	63,42096616
-2,00	24,1572203	15,72268621	13,50093435	80,79641455	33,94593903	28,94677957	54,93727773	23,21160181	19,57339657	50,28013612