

Spezifikation Wellenanlage

Diese Spezifikation legt die verbindlichen technischen und qualitativen Anforderungen an die Planung, Auslegung, Fertigung, Lieferung, Montage, Ausrichtung, Prüfung und Inbetriebnahme der Wellenanlage fest.

Als Wellenanlage wird das vollständige Leistungsübertragungssystem zwischen dem Abtriebsflansch des Antriebsmotors und dem Anschlussflansch des Schiffsantriebsorgans beziehungsweise des Schiffsantriebsaggregats verstanden. Hierzu gehören insbesondere Wellen und Zwischenwellen, Kardanwellen, Kupplungen, Schaltkupplungen, Lagerungen, Lagergehäuse, Befestigungs- und Verbindungselemente, Schutzeinrichtungen sowie die zugehörigen Mess-, Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen.

Die Wellenanlage ist als vollständig funktionsfähiges Gesamtsystem auszuführen. Sämtliche für einen sicheren, zuverlässigen und dauerhaften Betrieb erforderlichen Nebenleistungen und Komponenten sind Bestandteil des Leistungsumfangs, auch wenn diese nicht ausdrücklich einzeln aufgeführt werden.

Alle Arbeiten sind nach den anerkannten Regeln der Technik, den geltenden gesetzlichen und behördlichen Vorschriften, den Anforderungen der zuständigen Klassifikationsgesellschaft sowie den Vorgaben der Komponentenhersteller auszuführen. Anforderungen aus schiffsbezogenen Zeichnungen, Berechnungen und Bestandsunterlagen sind zu berücksichtigen.

Abweichungen von dieser Spezifikation, den freigegebenen Unterlagen oder dem vorhandenen Anlagenkonzept bedürfen vor Ausführung der schriftlichen Zustimmung des Auftraggebers.

Revisionen

00: Initiale Revision

01: Neues Template und allgemeine Ergänzungen

A) Grundsätzliche Anforderungen / Anordnung:

Als Wellenanlage wird das Leistungsübertragungssystem zwischen Motorabtriebsflansch und Anschlussflansch des Schiffsantriebsorgans oder Schiffsantriebsaggregats (Propeller oder Ruderpropeller) verstanden. Die Lagerung der Wellen gehört zu der Wellenanlage, die Fundamente der Lagerstellen sind in der Regel durch die vorliegende schiffbauliche Konstruktion vorgegeben, die Lagerung hat sich den räumlichen Gegebenheiten anzupassen. Vorhandene bzw. zusätzlich gelieferte Mess-, Steuerungs- und Überwachungsaufnehmer sind vom Auftragnehmer an das vorhandene Schiffsautomationssystem anzupassen.

Als Antriebsaggregat wird für diese Klasse ein elastisch gelagerter Diesel- oder Gasmotor eingesetzt. Aktuell ein Dieselmotor mit einer Leistung von 331 kW bei 1800 rpm.

Angetrieben wird je ein Ruderpropeller pro Seite, der gleichzeitig als Manövrierorgan dient. Die Leistungsaufnahme / Steuerung erfolgt in einer Kombination „Steigung / Drehzahl“ von der Brücke aus (Kombinatorbetrieb). Die Anlage wird bei Minimaldrehzahl ein- und ausgekuppelt. Die Minimaldrehzahl beträgt ca. 600 bis max. 700 rpm, je nach Empfehlung der Hersteller aufgrund der Drehschwingungssituation (Hörbarer Lastwechsel im Getriebe bei gekuppelter Anlage muss vermieden werden). Kriterium ist der ruhige Leerlaufbetrieb der Anlage im gekuppelten Zustand, d.h. ohne hörbaren Lastwechsel in den in den Schiffsantriebsaggregaten integrierten Getriebestufen, integriert im Schiffsantriebsaggregat der Abtriebsaggregate.

Antriebsmotoren und Ruderpropeller sind in eigenen, durch Schotte getrennte Räume, untergebracht. Dazwischen befindet sich der sog. Wellenraum. Alle Schottdurchführungen sind grundsätzlich beizubehalten, oder, bei Einsatz anderer Fabrikate nach der Wahl des Auftragnehmers, entsprechend an die vorgegebenen Örtlichkeiten zu adaptieren.

Aus dieser Konstellation resultieren die folgenden Randbedingungen. Die Masse / Angaben dienen der Orientierung. Bei Auftragsannahme sind diese durch den Auftragnehmer auf eigene Verantwortung nachzumessen und zu bestätigen:

- 1) Vertikaler Abstand zwischen Kuppelflansch motorseitig und Kupplungsflansch Ruderaggregat ca. 900 mm
- 2) Horizontaler Abstand: Angestrebt wird horizontale Flucht d.h. 0 mm Abweichung
- 3) Horizontaler Abstand Kuppelstelle Motorseitig bis Kuppelstelle Eingang Ruderpropeller ca. 5830 mm. Dieser Abstand wird in den bisher realisierten Varianten durch ein in W-Anordnung ausgebildetes Wellenleitungssystem: Zwei identische Kardanwellen, Länge ca. 1650 mm, Neigung ca. $6,2^\circ$, eine im Wellenraum zweifach gelagerte Welle, Länge ca. 2600 mm Neigung ca. $2 \times 6,2^\circ$ (SCHOTTEL-Konzept) bzw. $2 \times 7,2^\circ$ (AQUAMASTER Konzept)
Notiz: Die Neigung der Kardanwellen variiert mit der Variation ihrer Länge und Horizontal-/Vertikalabweichung deren Anschlussstellen antriebs- bzw. abtriebsseitig)
- 4) Einsatz von mindestens einer elastischen Kupplung, zur Beherrschung der Drehschwingungen.
- 5) Einsatz einer Schaltkupplung zum Kuppeln bei Leerlaufdrehzahl und automatisches Auskuppeln bei Unterschreitung derselben.
- 6) Einsatz einer geeigneten Wälzlagerung zum Abfangen der Kardanwellenkräfte sowohl auf der Seite des Motors als auch auf der Seite der Ruderpropellers. In den vorhandenen Varianten sind diese Lagerungen
 - a) Schottel Konzept:
Motor-seitig: Integration in der Desch Schaltkupplung am Motorausgang
Ruderpropeller-seitig: Integration mit der CENTAX -SEC Kupplung am Ruderpropeller Eingang
 - b) AQUAMASTER / RR KONZEPT:
Motor-seitig integriert in der CENTAMAX elastischen Kupplung innerhalb der Motorglocke und

Ruderpropeller-seitig: Integriert in der Ruderpropeller-internen Schalteinheit.

- 7) Nach den vorhandenen Konzeptvarianten doppelte Wälzlagerung der Zwischenwelle, realisiert als Fest- Los Lagerung. Einsatz von Wälzlagern mit geringer Masse und Mindesttragfähigkeit zur Meidung von Leerlaufschäden, sowie für hohe Schwing- und Verlagerungsanforderungen (wenn käfiggeführt, dann mit Massivmessingkäfig, Explorerausführung). Bei Neuauswahl ist Abstimmung mit dem Auftraggeber erforderlich.

B) Auslegungsdaten

Alle einzusetzenden Komponenten sind für ein Nennmoment von 2 kNm auszulegen, zuzüglich einer Sicherheit von 30% für Drehschwingungen und 3-fache Sicherheit gegen seltene Stoß Momente, d.h. Mindestauslegungsdaten:

$$T_{k_{\text{Nenn,auslegung}}} > 2,6 \text{ kNm}$$

$$T_{k_{\text{max,auslegung}}} > 6,0 \text{ kNm}$$

Die Längen / Querschnitte / Lagerabstände sind so auszuwählen, dass die 1. te biegekritische Drehzahl höher als 1,5 mal Betriebsdrehzahl ist d.h. $n_{\text{biege,1ter Grad}} > 2700 \text{ 1/min}$.

Die rechnerische Lebensdauer unter Vollast für Wälzlager und Gelenke soll mindestens $L_h > 10000h$ betragen.

Bemerkung (reales Lastprofil):

Die Anlagen werden ganztägig mehrmals auf volle Leistung / Drehzahl gefahren, es erfolgt ein Vollastbetrieb über ansatzweise 5 min, bevor die Anlage wieder auf 0 und Warteposition abgebremst wird. Es kann mit ca. 200 Lastspielen pro Einsatztag gerechnet werden, sowie 4300 h / Jahr (Ansatz: 12h / Tag, Frequenz der Lastspiele 0 – 100% ca. 1 Mal pro 5min. Die Lagerbelastung der Lager der Zwischenwelle ist sehr gering, ordentliche Ausrichtung der Kardangelenke und Minimierung der dynamischen Reaktionskräften vorausgesetzt). Die o.a. rechnerische Lebensdauer der Lager soll deswegen auch und insbesondere in Hinblick auf die minimal erforderliche Traglast überprüft werden.

Für die Überprüfung der Minimalquerschnitte von Rohr- und Vollwellen kann in erster Näherung die gängige Berechnungsformel gem. IACS UR68.4 herangezogen / erfüllt werden:

$$d_a \geq d \geq F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a} \right)^4 \right]}} \cdot C_w$$

Für die Lagerstellen ergibt sich beispielsweise

Mit C_w = Werkstofffaktor = $560 / (R_m + 160)$

R_m = Zugfestigkeit ansatzweise $> 500 \text{ N/mm}^2$

$F=100$ für Wellen mit Schub / Biegung, im Maschinenraum, geringe Drehschwingungen

$K=1,0$ für Wellen mit geringer Kerbwirkung

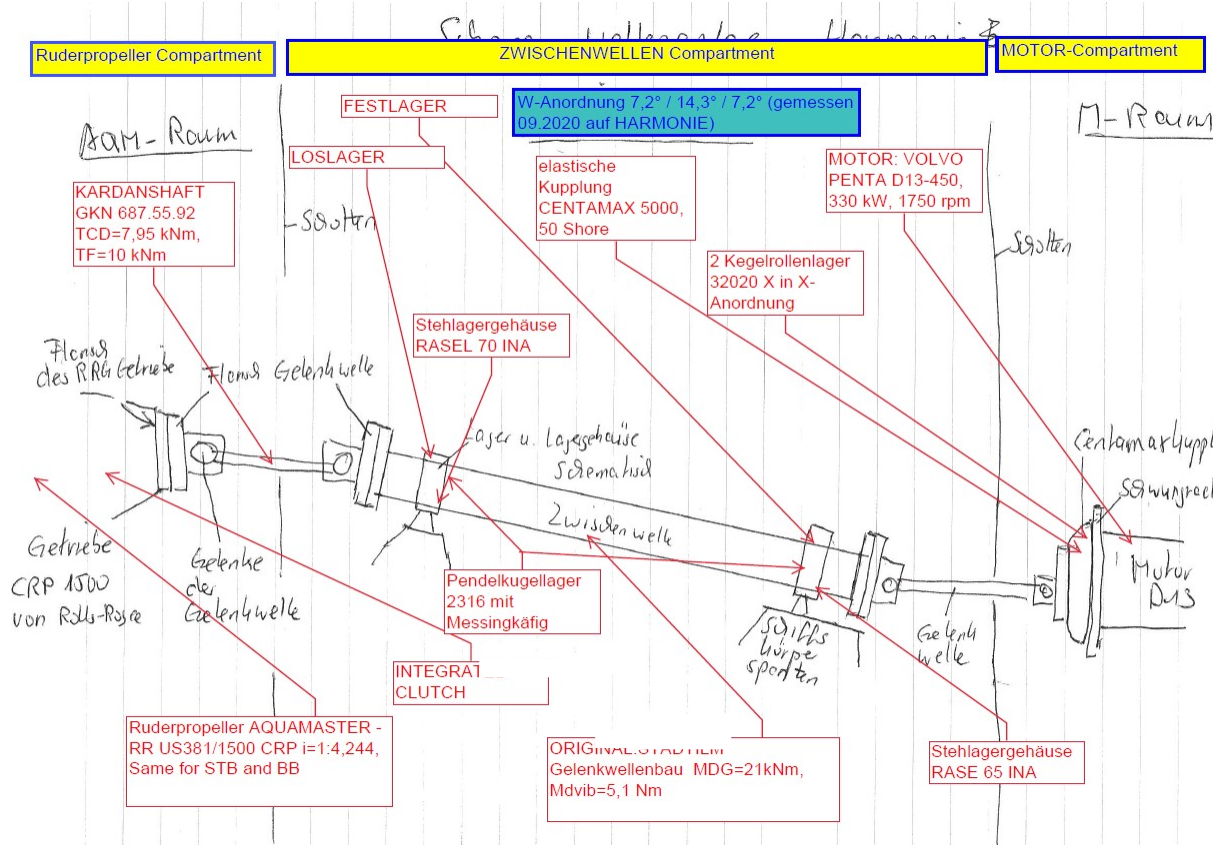
Und $P=330 \text{ kW}$, $n=1800 \text{ 1/min} \rightarrow d_{\text{auslegung min}} > 54 \text{ mm}$

Bei Rohrwellen mit vorgegebener Wandstärke, sollte das polare Widerstandsmoment demjenigen der Vollwelle mindestens entsprechen.

C) Vorhandene Anlagen (Detailbeschreibung)

C.1 Typ 2000 Schiff mit Aquamaster Ruderpropellergetriebe

Für Typ 2000 Schiffe der HADAG-Flotte mit Aquamaster Ruderpropellergetrieben gilt nachfolgender Aufbau eines Hauptantriebsstrangs, wobei je Schiff zwei separate, aber identische Hauptantriebsstränge (BB/STB) vorhanden sind. Darstellung hier am Beispiel der „HARMONIE“:



Systembeschreibung AQM-Antriebsstrang

Motoren STB und BB drehen gleichsinnig, Kardanwellensystem in W Anordnung dreht mit gleicher Drehzahl (Motordrehzahl = Eingangsdrehzahl Ruderpropellereinheit). Schaltkupplung und Untersetzung ist in der Aquamastereinheit integriert. Die Antriebsmotoren werden bei offener Schaltkupplung angelassen, gekuppelt wird bei einer Drehzahl von ca. 700 1/min. Betriebsdrehzahlbereich ist 700 1/min bis 1750 rpm Motordrehzahl. Die Antriebsmotoren und die Ruderpropeller gelten als vorgegeben, somit auch die Leistungsdaten und Betriebsdrehzahlbereiche für das Wellensystem. Wartung und Austausch an den Motoren und Ruderpropeller sind vom Hersteller oder von ihm autorisierte Betriebe nach den Wartungsplänen des Herstellers durchzuführen. Für das Kardanwellensystem einschließlich Lagerung der elastischen Kupplung am Ausgang des Antriebsmotors (geglockte Ausführung) sind generalüberholte oder vorzugsweise neue Teile einzusetzen. Bei Einbau kompletter Baugruppen (z.B. Welle mit Lagern) ist ein Funktionsnachweis vor Auslieferung an die Bauwerft erforderlich.

Typenspezifikation der zurzeit eingesetzten Komponenten (Referenz):

Antriebsmotor Volvo PENTA D13B MH (R1-450) (Motor 1750 rpm) treibt direkt über eine CENTAMAX 5000 50 Shore Kupplung (in Glocke eingebaut, zweimal gelagert, Kegelrollenlager X-Anordnung) eine Kardanwelle mit einer Neigung von ca. 7,2° an (nicht weiter gelagert). Kardanwelle ist mit einer 2x gelagerten (nahe an den Gelenken) Zwischenwelle verbunden (Lagerzapfen massiv, dann Übergang zu einem angeschweißten Rohr, dass die eigentliche Zwischenwelle darstellt). Die Zwischenwelle soll ca. 14,4° Neigung haben. Danach kommt wieder eine Kardanwelle mit Neigung 7,2° und diese geht direkt in das AQUAMASTER US 381 Aggregat mit vorgeschalteter, integrierter Schaltkupplung. In dieser Ruderpropellerausführung werden über ein internes Verteilergetriebe zwei konterrotierende Festpropeller angetrieben (Propellerdrehzahl 407 rpm).

Umsteuern erfolgt durch Drehen des gesamten Ruderpropellers, d.h. Motor läuft immer in einer Richtung. Wenn Motor dreht, dann dreht die gesamte Wellenanlage, bis zum Aquamaster. Der Aquamaster hat eine integrierte Schaltkupplung, Propeller und RPG können also am Eingang des Aquamasters abgekuppelt werden. Getriebe übersetzt bei Nennbetrieb 1750 / 407 rpm.

Aufbau Hauptantriebsstrang Aquamaster Ruderpropellergetriebe			
Beschreibung	Anzahl	Typ	Detailinformationen
Pendelkugellager der Zwischenwelle	2	2316M	2316 DIN Kennzeichnung für Größe, Ausgestaltung und Form des Lagers Hersteller: SKF, Käfig: Massiv Messing Temperatur-Zielwert im Betrieb: Max. 50°C bei Dauerlast 1750 rpm Je 1x als Los- und Festlager Aufbau Festlager wie Loslager, jedoch Ausführung mit zwei $\frac{3}{4}$ Ringen im Axialspalt, wodurch der Außenring am Gehäuse axial fixiert wird.
Aquamastergetriebe	1	In Abhängigkeit vom Schiff ERP/CRP	Schaltkupplung im AQM-Getriebe US381 mit zwei konterrotierende Festpropeller, BB und STB Einheit identisch, Eingangs-drehrichtung gleich Untersetzung 0,2326 (407/1750)
Zwischenwelle	1		Siehe Zeichnung Zwischenwelle Details Lager siehe oben
Kardanwelle 1	1		Siehe Zeichnung Kardanwelle 1 TDC Dynamisches Moment 7,95 kNm Nennmoment des Hauptmotors 1,80 kNm (331kW, 1750rpm)
Kardanwelle 2	1		Siehe Zeichnung Kardanwelle 2 TDC Dynamisches Moment 7,95 kNm Nennmoment des Hauptmotors 1,80 kNm (331kW, 1750rpm)

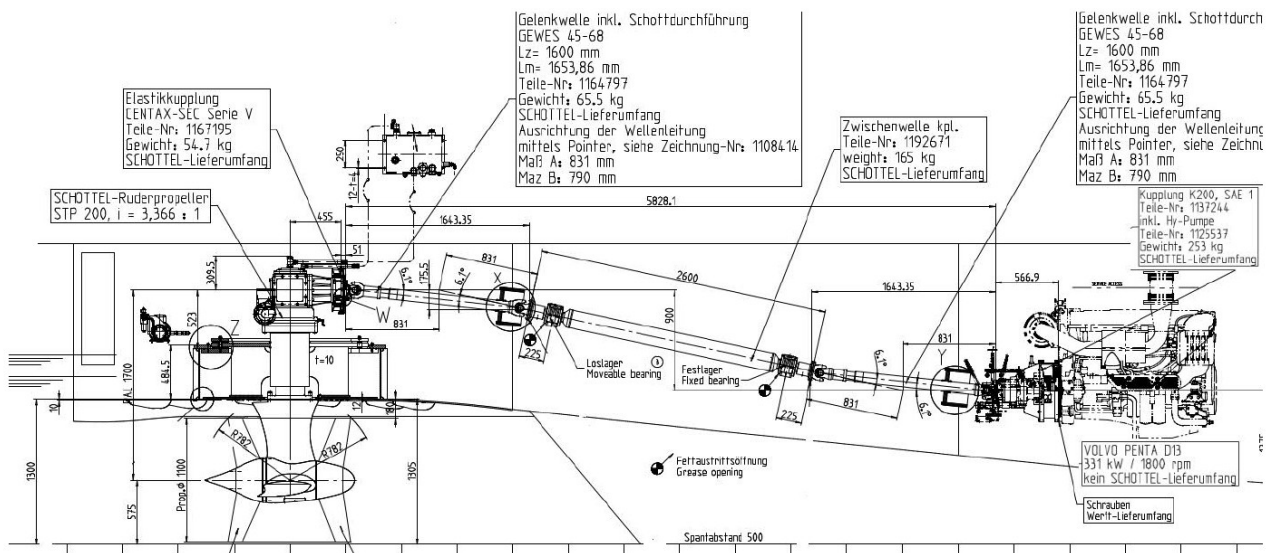
C.2 Typ 2000 Schiff mit Schottel Ruderpropellergetriebe

Typ 2000 Schiff mit Schottel Ruderpropellergetriebe

Für Typ 2000 Schiffe der HADAG-Flotte mit Schottel SRP oder STP Ruderpropelleraggregaten gilt nachfolgender Aufbau eines Hauptantriebsstrangs, wobei je Schiff zwei separate, aber identische Hauptantriebsstränge (BB/STB) vorhanden sind.

Notiz: Die Herstellerspezifische Bezeichnung STP ist einer Leistungsverteilung auf zwei Propeller (1xSchub, 1xZug) vorenthalten, wobei der Durchmesser der Propeller, bei gleichen Leistungsanforderungen, gegenüber der SRP Ausführung (1 Propeller) reduziert ist.

Darstellung hier am Beispiel des Schottel Projektes SSB 5 / 6 in der STP 200 Ausführung:



Systembeschreibung Schottel Antriebsstrang (hier in STP 200 Ausführung)

Motoren STB und BB drehen gleichsinnig, Kardanwellensystem in W Anordnung dreht mit gleicher Drehzahl entspricht Eingang der Schottel STP 200 Einheit. Am Motorausgang ist über eine elastische Kupplung VULKAN – Vulastik L-2612 (Steifigkeit $0,0195 \cdot 10^6 \text{ Nm/rad}$) eine Schaltkupplung (Hersteller DESCH K200) angeordnet, d.h. bei ausgekuppelter Anlage dreht das in W Anordnung installierte Kardanwelle / Zwischenwelle / Kardanwelle System nicht mit. Das System wird bei offener Schaltkupplung angelassen. Als Betriebsdrehzahlbereich ist nach der Drehschwingungsberechnung der Bereich 600 – 1750 rpm (gekuppelte Anlage) vorgesehen. Am Eingang des STP 200 Ruderpropellers ist eine zweite elastische Kupplung Typ CENTAX-SEC CX50 60 Shore ($T_{kn}=3,0 \text{ kNm}$, Steifigkeit $0,035 \cdot 10^6 \text{ Nm/rad}$) vorgesehen.

Aufgrund der unterschiedlichen Höhendifferenzen und Abmessungen der Aggregate ist auch bei diesen Schiffen eine W-Anordnung realisiert, allerdings mit den Neigungswinkeln $6,2^\circ / 12,4^\circ / 6,2^\circ$.

Die Antriebsmotoren und die Ruderpropeller gelten als vorgegeben, somit auch die Leistungsdaten und Betriebsdrehzahlbereiche für das Wellensystem. Wartung und Austausch an den Motoren und Ruderpropeller sind vom Hersteller oder von ihm autorisierte Betriebe nach den Wartungsplänen des

Herstellers durchzuführen. Das gesamte Kardanwellensystem (Hersteller GEWES) sowie die Schaltkupplung (Hersteller DESCH) und die gelagerte elastische Kupplung CENTAX-SEC (Hersteller CENTA) gehören zum Lieferumfang von Schottel. Wartung / Austausch sollte demnach in Absprache mit Schottel erfolgen.

Typenspezifikation der zurzeit eingesetzten Komponenten für die STP 200 Ausführung (Referenz):

Antriebsmotor Volvo PENTA D13B MH (R1-450) (Motor 1750 rpm) treibt direkt über eine Desch Schaltkupplung im geschlossenen Zustand eine Kardanwelle mit einer Neigung von ca. $6,1^\circ$ an. Die Kardanwelle ist mit einer 2x gelagerten (nahe an den Gelenken) Zwischenwelle verbunden (Lagerzapfen massiv, dann Übergang zu einem angeschweißten Rohr, dass die eigentliche Zwischenwelle darstellt). Die Zwischenwelle soll ca. $12,2^\circ$ Neigung haben. Danach folgt eine identische Kardanwelle mit Neigung $6,1^\circ$. Die elastische, gelagerte (Kardanwellenausführung) CENTAX Kupplung ist nach dem Kardanwellensystem und am Eingang des STP 200 Ruderpropellers angeordnet. Bei ausgekuppelter Schaltkupplung DESCH (motorseitig angeordnet) steht das Kardanwellensystem. Die Ruderpropeller STP 200 sind mit je zwei Festpropellern (Zug- + Schub-) ausgerüstet.

Hinweis: In der SRP Ausführung ist ein einziger Festpropeller in der üblichen Druckausführung + ggf. Düse realisiert. Grundsätzlich gilt für SRP-Anlagen ein analoger Systemaufbau, aufgrund des größeren polaren Trägheitsmoments kann es aber zu Abweichungen in der Komponentenauswahl (z.B. Kupplung) kommen.

Umsteuern erfolgt durch Drehen des gesamten Ruderpropellers, d.h. Motor läuft immer in einer Richtung. Die Getriebeübersetzung des STP200 Vorschaltgetriebes beträgt 1:3,366, bzw. 1750 / 520 rpm/rpm. Minimal- (und Kuppel-)Drehzahl der Anlage ist gem. Schottel-Drehschwingungsberechnung 600 rpm.

Aufbau Hauptantriebsstrang Schottel Ruderpropellersystem (Anzahl bezogen auf eine Anlage, hier für die STP 200 Ausführung)			
Beschreibung	Anzahl	Typ	Detailinformationen
Pendelkugellager der Zwischenwelle	2	22218 EK	Hersteller: SKF, Käfig: Massiv Messing, Pendelrollenlager Explorer 1 Lager als Festlager (Außenkäfig), 1 Lager als Loslager ausgebildet. Temperatur-Zielwert im Betrieb: Max. 50°C bei Dauerlast 1750 rpm Festlagerung erfolgt durch Fixierung des Außenringes.
Schottel Ruderpropeller STP 200	1	Mit Zug- und Schub Festpropeller	Vorgelagertes Untersetzungs / Verteilergetriebe Untersetzung 1:3.366 (520/1750)
Zwischenwelle	1		Siehe Zeichnung Zwischenwelle (GEWES – SCHOTTEL), gerechnete kritische Drehzahl

			4595 1/min
Kardanwelle 1 und 2 identisch	2		Siehe Zeichnung Kardanwelle GEWES 45-68, identisch Motor und Schottel STP 200 Seite MD=11,5 kNm, $M_{d_w} = 4,0$ kNm
Ausrichtung			Angefertigte Pointer Mass A 831 mm, Mass B:790 mm
Elastische Kupplung	1		Vulkan Vulastik -L 2612 TkN=3,15 kNm (Motorseitig)
Elastische Kupplung	1		CENTA CENTAX CX-50 60°Shore TkN=3,0 kNm (STP 200 seitig)
Schaltkupplung	1		Desch KA200, am Motorausgang

D) Grundlegende Anforderungen für alle Antriebsanlagen

Für alle Typ 2000 Schiffe der HADAG-Flotte gelten folgende, grundlegende Anforderungen:

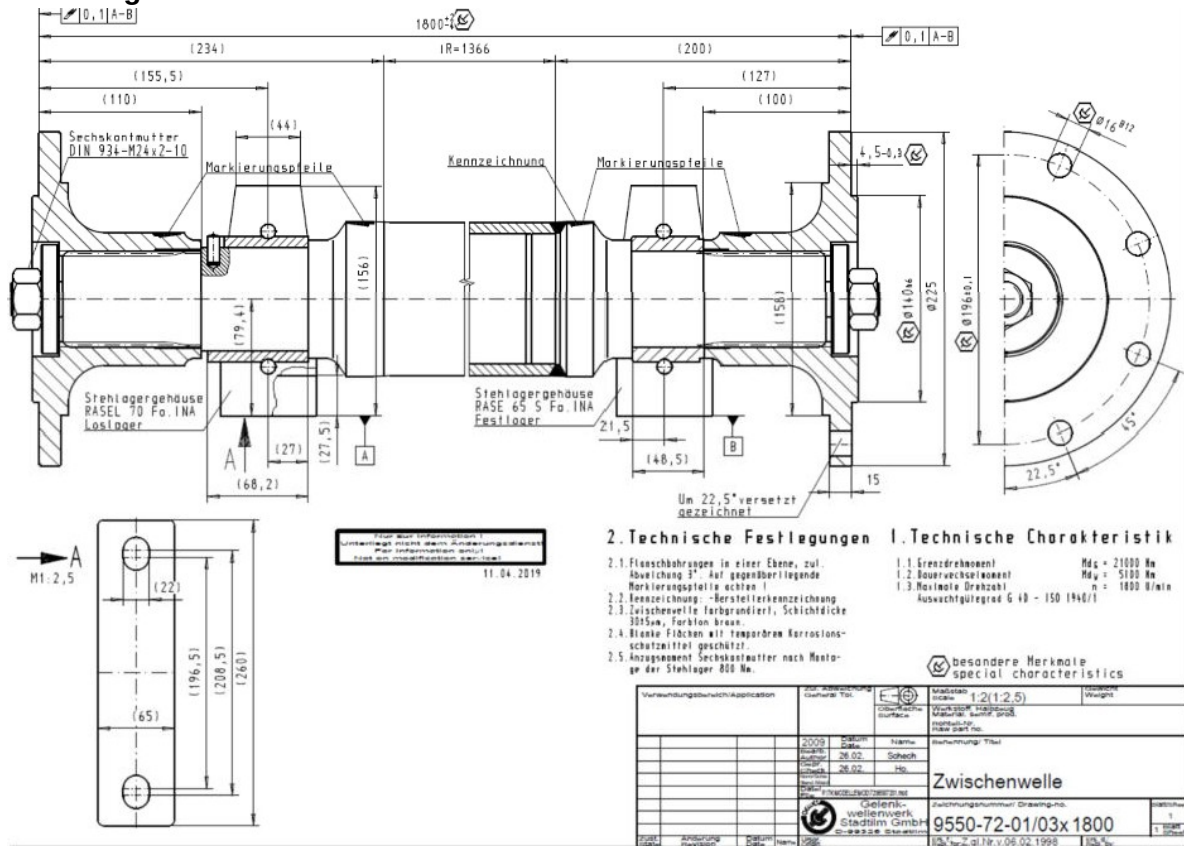
Vor Lieferung/Montage der Zwischenwelle ist zwingend ein Prüfstandslauf mit realitätsnahen Rahmenbedingungen (insb. Drehzahl) durchzuführen und zu protokollieren. Das Prüfstandsprotokoll inkl. Lagertemperaturen ist dem Auftraggeber vor Montage der Wellenanlage zur Verfügung zu stellen.

Bei der Ausrichtung der Antriebsstränge ist unbedingt auf Folgendes zu achten:

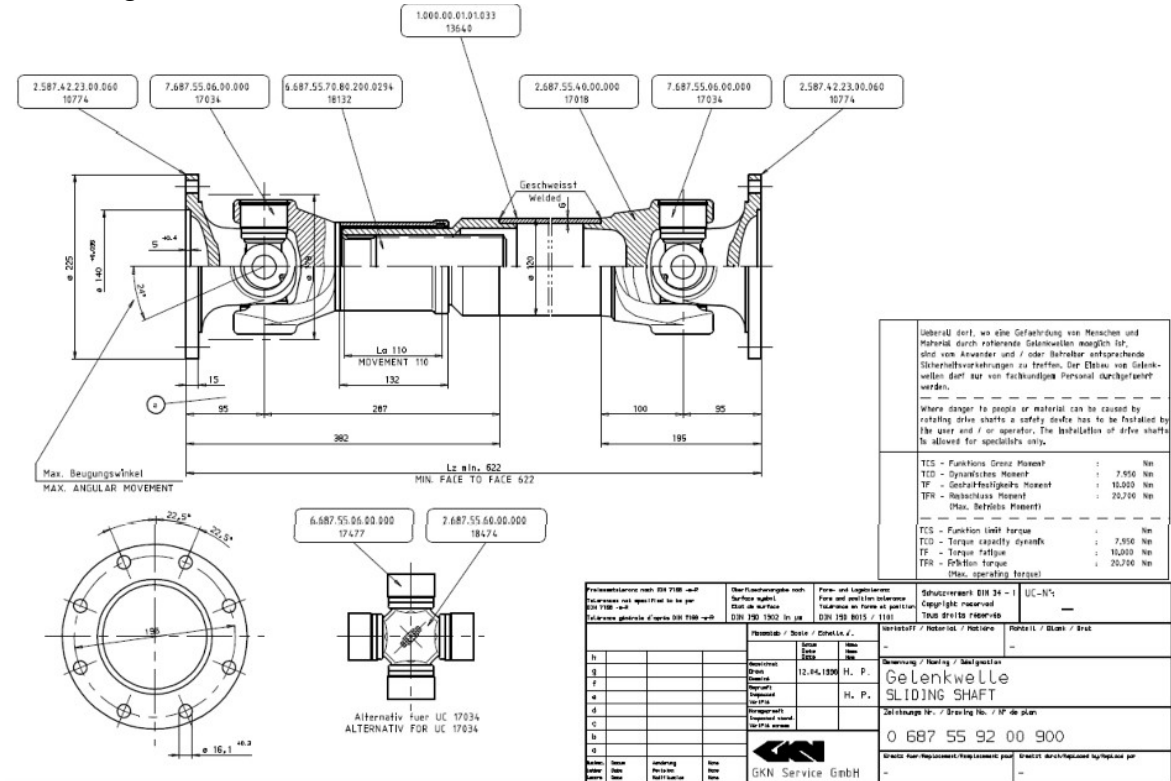
- Parallelität der Flanschflächen von Ausgangsflansch Hauptmotor und Eingangsflansch RPG.
- Ausgangsflansch Hauptmotor und Eingangsflansch RPG müssen trotz der Höhendifferenz und der zwei zwischenliegenden Schotten in Flucht sein.
- Die Kardanwellen müssen zur Zwischenwelle im gleichen Winkelmaß stehen.
- Die Ausrichtung erfolgt durch extra für jede Anlage angefertigte bzw. anzufertigende Pointer.

Alle vorgesehenen Maßnahmen erfassen immer die De-/Montage des Wellenschutzes, die fachgerechte Montage und ggf. Fundamentierung aller Komponenten sowie Inbetriebnahme und Erprobung der Systeme. Der Systemzustand – insbesondere Lagertemperaturen – sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren.

Zeichnung Zwischenwelle:



Zeichnung Kardanwelle 1:



Zeichnung Kardanwelle 2:

