

VOITH

Präzise und sicher manövrieren.
Voith Schneider Propeller





SHINANO



Voith Schneider Propeller.

Voith Turbo Schneider Propulsion bietet maßgeschneiderte Antriebe für eine Vielzahl von Anwendungen. Hierzu zählen Schiffe für den Hafenasistenz- und Eskortiereinsatz ebenso wie Offshoreversorger, Fähren, Yachten, militärische Anwendungen und Spezialschiffe.



Seit mehr als 86 Jahren entwickelt und produziert Voith Turbo Schneider Propulsion in Deutschland Systeme, die sich durch ihre Sicherheit für Mensch, Umwelt und Ausrüstung auszeichnen.

Durch den geringen Wartungsbedarf und die hohe Betriebssicherheit unserer Antriebslösungen profitieren Sie als Kunde von hoher Verfügbarkeit und herausragender Qualität. Aufgrund des sehr hohen Wirkungsgrads lassen sich Kraftstoffverbrauch und Emissionen reduzieren. Schiffe mit Voith Turbo Schneider Propellern zeichnen sich darüber hinaus durch optimale Manövriereigenschaften aus.

Mit dem Voith Turbo Schneider Propeller (VSP) kann Schub in alle Richtungen erzeugt werden – stufenlos, präzise und schneller

als mit anderen Antriebskonzepten. Antrieb und Steuerung sind in einem Aggregat vereint; zusätzliche Ruder sind nicht erforderlich.

Schub- und Steuerkräfte können in jeder Richtung erzeugt und von Null bis zum Maximalwert variiert werden. Bei Voith Turbo Schneider Propellern drehen sich im 90°-Winkel zum Radkörper stehende Propellerflügel um eine senkrechte Achse. Dieser gleichförmigen Drehbewegung wird eine Schwingbewegung der einzelnen Propellerflügel um ihre eigene Achse überlagert. Der Einbau des VSP erfolgt so, dass nur die Propellerflügel aus dem Schiffsrumpf herausragen. Hierdurch entfallen parasitäre Widerstände (durch Ruder, Pod-Antriebe, Wellen, usw.).

Das flexible Steuerungskonzept des
Voith Schneider Propellers hilft, jede
Ladung sicher ans Ziel zu bringen.





Mit freundlicher Genehmigung der Bauwerft Gondan Shipyard, Spanien

Die Schubrichtung kann beispielsweise bei konstanter Drehzahl von voller Fahrt voraus auf volle Fahrt zurück geändert werden, ohne hierbei störende Querkräfte zu erzeugen. Der Antriebsmotor wird dabei nicht umgesteuert. Die Unterteilung in Schub- und Steuerkräfte, das heißt eine Steuerung nach kartesischen Koordinaten, ermöglicht eine leicht verständliche und benutzerfreundliche Steuerung des Schiffs (ergonomische Bedienung).

Voith Schneider Propeller bilden ein autarkes Antriebs- und Steuerungssystem, das über eine mechanische Servomotorsteuerung angesteuert werden kann. Die zur Schmierung und Steuerung erforderliche hydraulische Energie wird durch eine angeflanschte Ölpumpe (12) bereitgestellt, die vom Hauptmotor angetrieben wird. (Für ECR Propellersysteme nicht verfügbar).

Voith Schneider Propeller sind mit einer robusten Schubkurbelkinematik ausgestattet. Abbildung 2 zeigt das kinematische Prinzip des VSP. Befindet sich die Mitte der unteren Kugelbüchse (Steuerpunkt) in der Mitte des Radkörpers, bilden die Flügel keinen Winkel zur Tangente des Flügelkreises (Seite 8, Abbildung 1a). Wird die untere Kugelbüchse hingegen durch Betätigung eines oder beider Servomotoren und der Hebelwirkung des Steuerknüppels aus der Mittelstellung verschoben, hat dies zur Folge, dass die Flügel bei ihrer Drehung im Winkel zur Tangente des Flügelkreises stehen (Seite 8, Abbildung 1b). Dabei steigt der maximale Anstellwinkel der Flügel mit der Exzentrizität. Aufgrund der sehr guten Abstimmung der Flügel kann die Exzentrizität sehr schnell verändert werden, ohne dass hierfür eine hohe Leistung der Servomotoren (11) erforderlich ist. Die sich aus der Hydrodynamik und der Massenträgheit ergebenden Kräfte wirken auf den Bereich der Flügel-schaftachse.

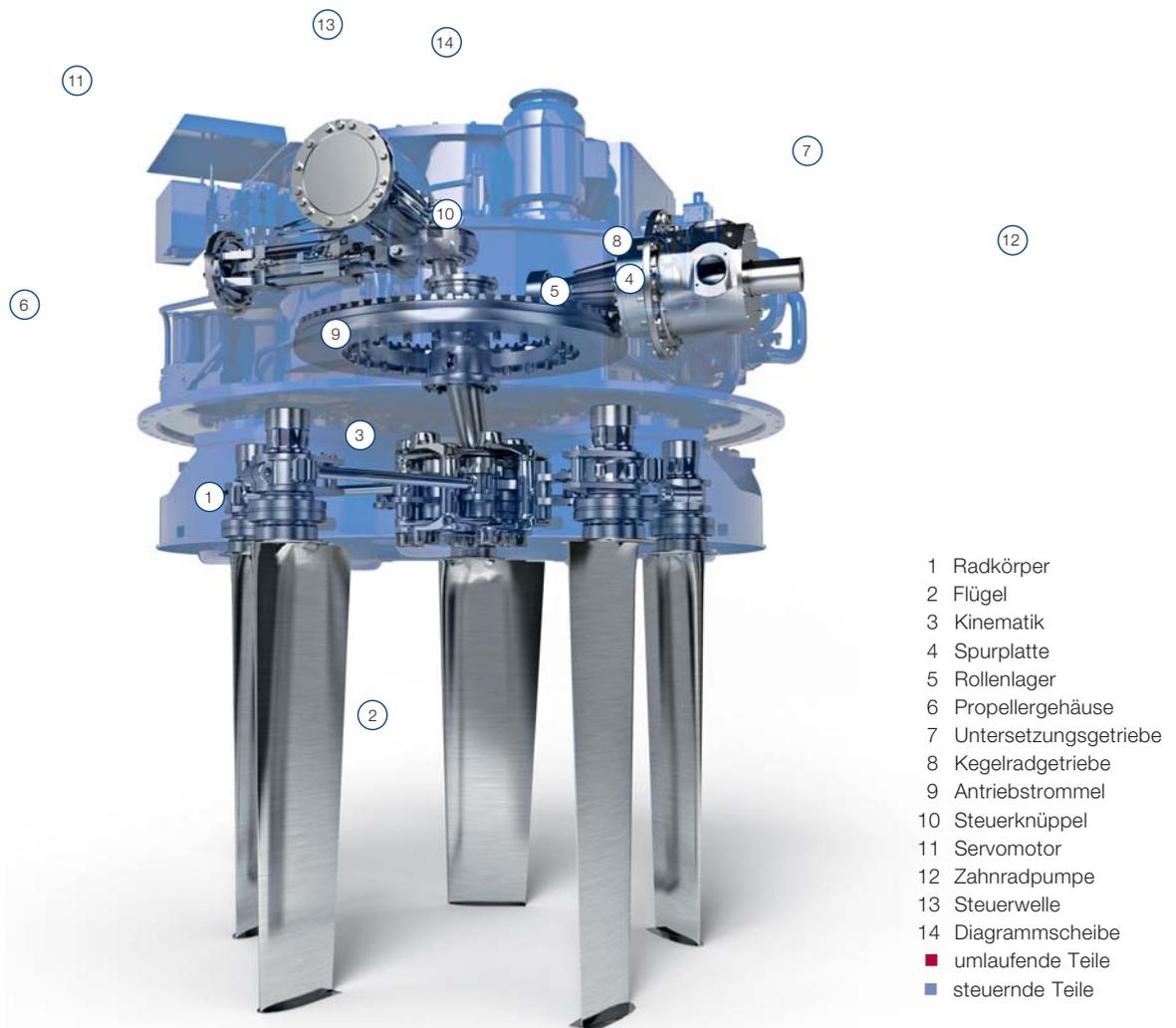
Abbildung 3 (auf Seite 7) zeigt einen Voith Schneider Propeller. Die Schnittzeichnung verdeutlicht seinen Aufbau. Die für die Schuberzeugung erforderliche Energie wird dem Radkörper (1) über ein angeflanshtes Unteretzungsgetriebe (7) sowie ein Kegelradgetriebe (8) zugeführt. Die Flügelachsen sind in Dichtlagern oder speziellen Wälzlagern gelagert. Der Radkörper wird axial durch die Spurplatte (4) geführt und radial durch ein Rollenlager zentriert. Aufgrund der Kinematik (3) führen die Flügel (2) eine oszillierende Bewegung aus (Abbildung 3 sowie Seite 8, Abbildung 1). Dabei werden Amplitude und Phase der Flügelbewegung durch die Lage des Steuerpunktes bestimmt. Größe und Richtung des Schubs lassen sich so über den Steuerknüppel (10) verstellen. Der Steuerknüppel wird durch zwei um 90° versetzte Servomotoren (11) betätigt. Der Fahrt-servomotor verstellt die Steigung für den Längsschub (Voraus- und Zurückfahrt des Schiffs), der Ruderservomotor die Steigung für den Querschub (Bewegungen nach Backbord und Steuerbord). Die beiden Servomotoren ermöglichen eine Steuerung nach kartesischen X/Y-Koordinaten (identisch mit den Schiffshauptachsen). Kontrollierte Schubänderungen können über die Nullstellung erfolgen.

Der VSP ermöglicht präzises Positionieren in allen Anwendungen.

Mit dem Voith Schneider Propeller kann Schub präzise und stufenlos erzeugt werden; Antriebs- und Steuerkräfte lassen sich dabei gleichzeitig verändern. Aufgrund der vertikalen Drehachse kann in alle Richtungen der gleiche Schub erzeugt werden. Die hydrodynamische Profilierung der Flügel sowie deren Endplatten ermöglichen eine Schuberzeugung mit hohem Wirkungsgrad. Zwei Servomotoren pro Propeller ermöglichen eine Steuerung nach X/Y-Koordinaten. Die Steuerung ist leicht zu erlernen und benutzerfreundlich (Ergonomie).

Die Flügel sind in einem Radkörper montiert, der bündig mit dem Schiffsboden abschließt.

Längsschnitt durch einen VSP (3)



Hydrodynamisches Prinzip der Schuberzeugung.

Die Kinematik (Abbildung 1) bildet die Grundlage für die schnelle und präzise Schubänderung des Voith Schneider Propellers. Alle Propellerflügel bewegen sich auf einer Kreisbahn und führen gleichzeitig eine Schwingbewegung um ihre eigene Achse aus.

Die Senkrechten zu den Profelsehnen schneiden sich während des Flügelumlaufs in einem Punkt, dem Steuerpunkt N. Abbildung 2 zeigt die Geschwindigkeitsdreiecke am Flügel bei Nullschub. N bezeichnet die Lage des Steuerpunkts bei Nullschub, N' die Lage eines Steuerpunkts in einer Schubstellung (Seite 10, Abbildung 5).

Abbildung 3 verdeutlicht die Flügelbewegung a) für einen Betrachter, der auf dem Propeller steht und sich mit diesem bewegt und b) für einen ortsfesten Betrachter. Die auch als Steigung bezeichnete Exzentrizität e des Voith Schneider Propellers wird bestimmt durch:

$$e = \frac{ON}{D/2}$$

Die Steigung des Voith Schneider Propellers kann im Bereich $e \leq 0,8$ eingestellt werden.

Der Quotient aus Anströmgeschwindigkeit am Propeller (V_A) und Umfangsgeschwindigkeit der Flügel (u) wird als Fortschrittskoeffizient (I) bezeichnet:

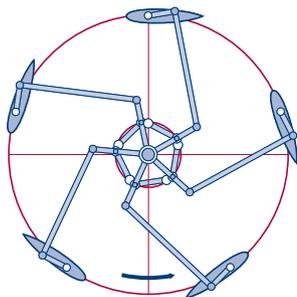
$$I = \frac{-V_A}{u}$$

Die Umfangsgeschwindigkeit u am Flügelkreis ergibt sich wie folgt aus Radkörperdrehzahl (n) und Flügelkreisdurchmesser (D):

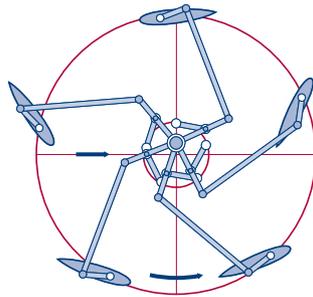
$$u = \pi \cdot D \cdot n$$

Schubkurbelkinematik (1)

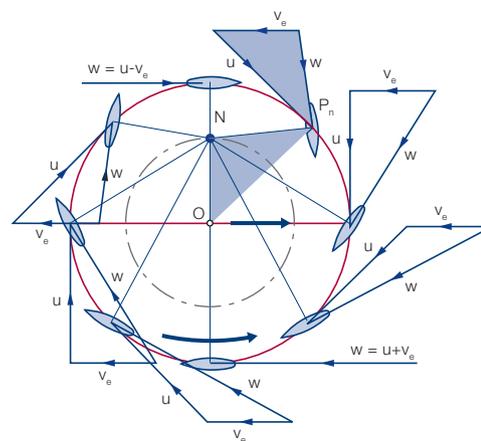
a) Kein Flügelwinkel (Nullstellung)



b) Flügelwinkel durch Kinematik (Betriebszustand)



Geschwindigkeitsdreiecke am Flügel (2)



Die in Abbildung 3b dargestellte Bewegung des Flügels relativ zu einem ortsfesten Betrachter entsteht durch die Überlagerung der Drehbewegung des Radkörpers und einer Geraden, die für die Vorwärtsbewegung des Schiffes steht. Der Flügel folgt so einer Zykloide. Der Rollradius dieser Zykloide beträgt $\lambda \cdot D/2$. Während einer Umdrehung bewegt sich dabei der Propeller um das Maß $\lambda \cdot D \cdot \pi$ in Fahrtrichtung weiter. Da sich die Flügel auf einer Zykloidenbahn bewegen, wird der Voith Schneider Propeller auch als Zykloidalpropeller bezeichnet. Abbildungen 2 und 3 zeigen die Flügelstellungen bei Nullschub. Bei keinem Winkel wird hydrodynamischer Auftrieb erzeugt. (Im Rahmen dieser Analyse kann der Profilwiderstand vernachlässigt werden.)

Zur Schuberzeugung werden die Flügel um einen Winkel α gegenüber der Flügelbahn angestellt. Hierzu wird der Steuerepunkt von N nach N' verschoben. Der sich hieraus ergebende Anstellwinkel führt zur Entstehung von hydrodynamischem Auftrieb (A) und Widerstand (W) am Flügel.

Der Propellerschub wirkt senkrecht zur Linie ON' (Pfahlzug) bzw. zur Linie NN' (Freifahrt). Durch Verschiebung des Steuerepunktes N' kann Schub in jede Richtung erzeugt werden.

Manövrieren auch in engen Gewässern.

- Die Kinematik ermöglicht eine schnelle und präzise Veränderung des Schubs. Die Flügel des VSP bewegen sich auf einer Kreisbahn und führen gleichzeitig eine überlagerte Schwingbewegung um ihre eigene Achse aus.
- Da sich die Flügel des VSP auf einer Zykloidenbahn bewegen, wird er auch als Zykloidalpropeller bezeichnet.
- Die Steigung des VSP kann über 360° flexibel eingestellt werden; eine Schubänderung aus der Nullstellung heraus ist unter allen Betriebsbedingungen möglich.



3D-Modell eines VSP

Zykloidenbahn eines VSP-Flügels (3)

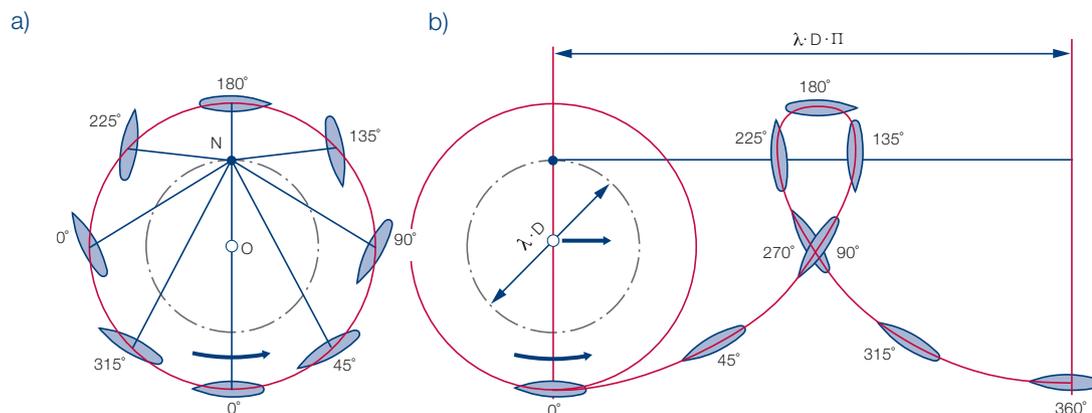
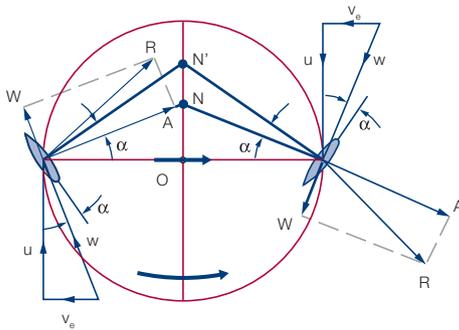


Abbildung 4 zeigt die Schuberzeugung. Der Steuerpunkt wird über die Kinematik verschoben (Seite 4, Abbildung 2).

Abbildung 5 zeigt die einzelnen Flügelstellungen, die zur Schuberzeugung des VSP beitragen. Die Schuberzeugung erfolgt beim VSP zweistufig. Die Flügel erzeugen sowohl in der vorderen als auch in der hinteren Hälfte des Radkörpers Kräfte in die gewünschte Schubrichtung. Da sich die Profile in der vorderen und hinteren Hälfte des Radkörpers in entgegengesetzte Richtungen bewegen, entstehen hydrodynamische Effekte, die den Interaktionen gegenläufig drehender Propeller vergleichbar sind.

Abbildung 6 zeigt die durch einen Flügel entstehenden Schubkräfte. Da sich der Anstellwinkel des Flügels verändert, variiert auch der Auftrieb bei jeder Umdrehung kontinuierlich. Die quer zur gewünschten Schubrichtung wirkenden Kräfte heben sich dabei auf; die in die gewünschte Schubrichtung wirkenden Kräfte hingegen summieren sich über den Propellerumfang.

Kräfte am Flügel (4)

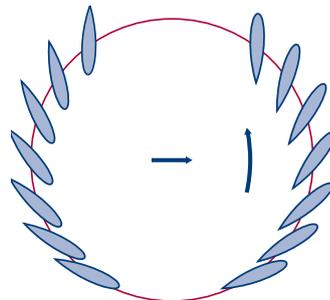


Seine Flügel machen den VSP zum manövrierfähigsten Antriebssystem der Welt.

Die Flügel des VSP erzeugen aufgrund des hydrodynamischen Auftriebs in fast allen Positionen der Umdrehung Schub. Die Schuberzeugung des VSP ist der eines Delfins sehr ähnlich. Die Profile von VSP-Flügel und Delfinflosse sind nahezu identisch; auch die Flügelbahnkurve ist vergleichbar.

Flügelstellungen (5)

Positionen vorn und hinten am Radkörper



Schuberzeugung des VSP (6)

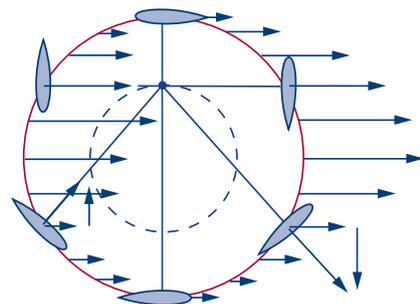
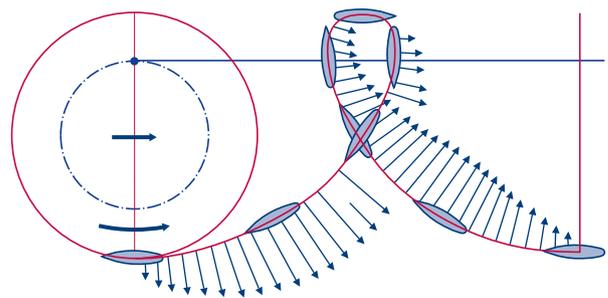




Abbildung 7 zeigt die Auftriebsverteilung über der Flügelbahnkurve aus Sicht eines ortsfesten Betrachters. Die Schuberzeugung erfolgt beim Voith Schneider Propeller, ähnlich wie bei Schraubenpropellern, auf Basis des hydrodynamischen Auftriebs. Sie unterscheidet sich grundlegend von den Strömungszuständen an einem Schaufelradblatt, bei dem Widerstandskräfte einen wesentlichen Faktor für die Schuberzeugung darstellen. Die Schuberzeugung des VSP ist der eines Delfins sehr ähnlich. Abbildung (8) zeigt die Bewegung der Schwanzflosse eines Delfins. Würde die Steigung auf $e > 1$ vergrößert, entspräche die Bewegung des VSP-Profiles der einer Delfinflosse. In beiden Fällen sind die Profile symmetrisch und ähneln sich stark. Sowohl bei der Schwanzflosse des Delfins als auch am Flügel des VSP wechseln Saug- und Druckseite ständig.

(Abbildung 8) Fish, F.: Power Output and Propulsive Efficiency of Swimming Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*), J. exp. Biol. 185, 179 – 93 (1993).

Auftriebsverteilung über der Flügelbahnkurve (7)



α = Anströmwinkel an der Schwanzflosse eines Delfins (8)

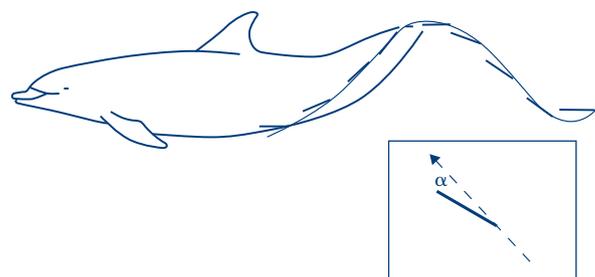


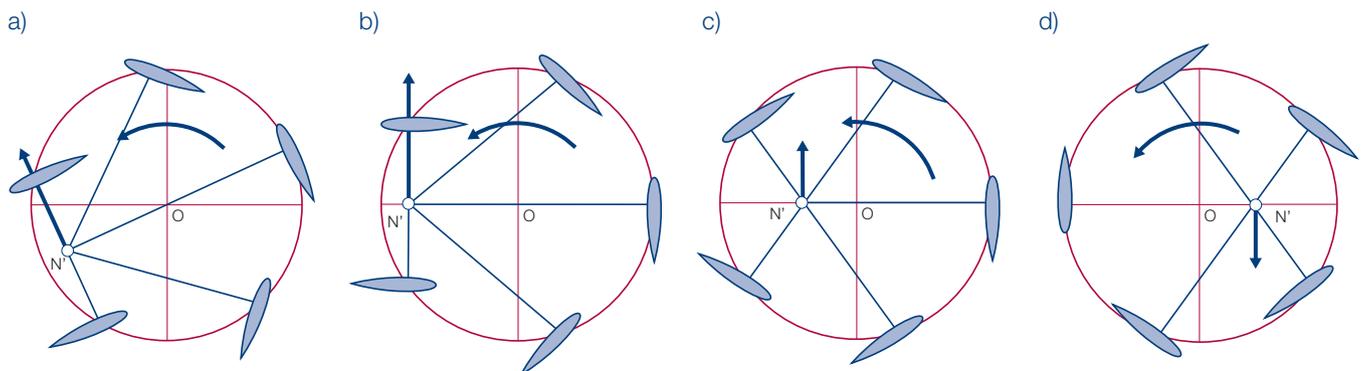


Abbildung 1 veranschaulicht, wie sich eine Verschiebung des Steuerpunkts N' auswirkt. Abbildung 1a zeigt einen Steuerpunkt N' , bei dem sowohl Schub- als auch Steuerkräfte erzeugt werden. Wird N' von einem gegebenen Ausgangspunkt aus (z. B. dem in Abbildung 1b) zur Mitte des Radkörpers hin bewegt, verringert sich der Schub (Abbildung 1c). Wird der Steuerpunkt N' in einen anderen Quadranten verschoben, hat dies eine Umkehrung der Schubrichtung zur Folge (Abbildung 1d). Dies bedeutet, dass eine Schubumkehr durch einfaches Verändern des Steuerpunktes möglich ist, ohne dass hierbei unerwünschte Querkräfte entstehen. Die Nullschubstellung kann zu jedem Zeitpunkt gewählt werden, wodurch sich das Schiff sehr sicher manövrieren lässt.

Voith Schneider Propeller arbeiten mit sehr geringen Drehzahlen. Die Drehzahl beträgt nur ca. 40 % der Drehzahl von Schraubenpropellern vergleichbarer Größe und Leistung. Dies hat folgende Gründe:

- Unter normalen Einbaubedingungen ist die rechteckige Strahlfläche eines VSP in etwa doppelt so groß wie die eines Schraubenpropellers (Abbildung 2).
- Die Flügel sind am Umfang des Radkörpers angeordnet.
- Die sich aus der Drehung des Radkörpers und der Schiffsgeschwindigkeit ergebende Anströmung ist über die gesamte senkrechte Länge des Flügels konstant. Bei Schraubenpropellern ist die Anströmgeschwindigkeit eine Funktion des Radius. Aufgrund des geringen Radius an der Nabe verfügen diese Propeller an der Nabe auch nur über geringe Anströmgeschwindigkeiten.

Schubänderung durch Verschieben des Steuerpunktes N' (1)



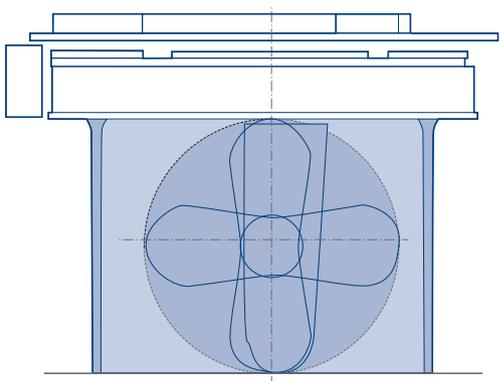


- Die Anströmung am Flügel erfolgt nicht gleichbleibend. Dies ermöglicht die Realisierung größerer effektiver Anstellwinkel, ohne dass es zu Ablösungen der Strömung kommt.
- Ähnlich wie bei gegenläufig drehenden Propellern erzeugt der VSP in zwei Bereichen Schub: in der vorderen und der hinteren Hälfte des Radkörpers (Seite 10, Abbildung 5).

Die geringen Drehzahlen haben hohe Drehmomente zur Folge, so dass eine robuste Auslegung erforderlich wird. Diese resultiert in einem höheren Gewicht. Dennoch bieten die niedrigen Drehzahlen des VSP klare Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad.
- Lange Lebensdauer, insbesondere von Lagern und Dichtungen.
- Geringe Anfälligkeit gegenüber Hindernissen wie Treibholz oder Eis. Derartige Objekte treffen in der Regel auf die Flügelvorderkante wo das Widerstandsmoment des Flügels am größten ist.
- Geringe hydroakustische Signatur; aus hydroakustischen Gesichtspunkten ist der VSP sehr gut für den Antrieb von Forschungsschiffen und Minensuchbooten geeignet.
- Die Bauteile des VSP zeichnen sich durch sehr hohe Stoßfestigkeit aus.

Strahlflächenvergleich VSP und Schraubenpropeller (2)



Durch seine äußerst robuste Bauweise überträgt der VSP zuverlässig maximale Leistung auf das Wasser

- Der Schub kann durch Verschieben des Steuerpunktes N' wie gewünscht verstellt werden. Eine Schubveränderung ist dabei auch über die Nullstellung möglich.
- Die Drehzahl des VSP beträgt nur etwa 40% der Drehzahl von Schraubenpropellern. Dies macht den VSP zu einem sehr robusten Antriebssystem mit langer Lebensdauer. Seine geringe Anfälligkeit gegenüber Treibholz und Eis ist einzigartig.
- Die geringen Drehzahlen haben sehr geringe hydroakustische Signaturen und eine hohe Stoßfestigkeit zur Folge.

Um die Auswirkungen der Drehzahl auf die Eigenschaften des VSP zu beleuchten, bietet sich ein Vergleich mit Dieselmotoren (langsam, mittelschnell und schnell laufend) an. Auch hier hat die Drehzahl entscheidenden Einfluss auf technische Parameter wie Wirkungsgrad, Wartungsaufwand, Gewicht und Kosten.

Die hydrodynamischen Charakteristika des VSP werden durch dimensionslose Koeffizienten angegeben, die sich aufgrund historischer Entwicklungen um konstante Faktoren von denen der Schraubenpropeller unterscheiden. Tabelle 3 enthält eine kurze Übersicht sowie die entsprechenden Umrechnungsfaktoren.

Bei der dimensionslosen Darstellung ist es sinnvoll, die Flügel­länge L in die entsprechenden Koeffizienten für Schub und Drehmoment mit einzubeziehen. Die Reynoldszahl für Voith Schneider Propeller ergibt sich, basierend auf der mittleren Sehnenlänge c eines Profils, wie folgt:

$$Re = \frac{c}{\nu} \cdot \sqrt{V_A^2 + u^2}$$

Alternativ hierzu können durch validierte numerische Strömungsproblemlösung (CFD) gewonnene Korrekturfaktoren verwendet werden (Abbildung 2). Um den Wirkungsgrad der Voith Schneider Propeller zu erhöhen, befinden sich an den Flügelenden Endplatten (Abbildung 1).

Hier bezeichnet ν die kinematische Viskosität. Aufgrund der geringen Drehzahlen von Voith Schneider Propellern ist die für einen Modellpropeller in Antriebste­sts ermittelte Reynoldszahl relativ niedrig. Die mit Hilfe des Modells ermittelten Werte müssen daher korrigiert werden. Dies kann durch von der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) gemessene Werte geschehen.

Voith Schneider Propeller können optimiert werden für:

- Maximale Effizienz bei Freifahrt
- Maximalen Pfahlzug
- Minimale Leistungsaufnahme während dynamischer Positionierung und Rollstabilisierung
- Minimale Geräuschemissionen

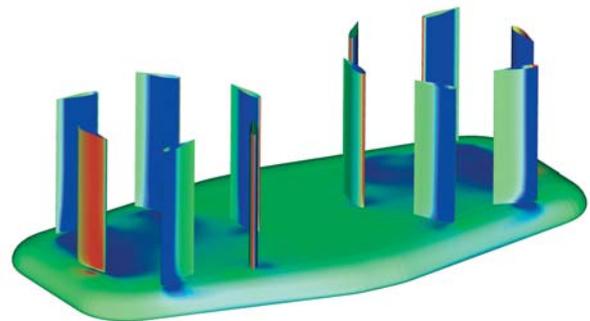
Bei Schiffen mit multifunktionalen Anforderungen lassen sich die oben genannten Kriterien entsprechend kombinieren.

Hydrodynamische Koeffizienten für Voith Schneider Propeller (3)

	Voith Definition	Koeffizienten analog Schraubenpropeller	Umrechnung
Fortschrittskoeffizient	$\lambda = \frac{V_A}{\pi \cdot n \cdot D}$	$J = \frac{V_A}{n \cdot D}$	$J = \lambda \cdot \pi$
Schubkoeffizient	$k_S = \frac{T}{0,5 \cdot \rho \cdot D \cdot L \cdot u^2}$	$k_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^3 \cdot L}$	$k_T = 0,5 \cdot \pi^2 \cdot k_S$
Drehmomentkoeffizient	$k_D = \frac{4 \cdot M}{\rho \cdot D^2 \cdot L \cdot u^2}$	$k_Q = \frac{M}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4 \cdot L}$	$k_Q = k_D \cdot \frac{\pi^2}{4}$
Wirkungsgrad bei Freifahrt	$\eta_o = \frac{k_S}{k_D} \cdot \lambda$	$\eta_o = \frac{k_T}{k_Q} \cdot \frac{J}{2 \cdot \pi}$	—
Umfangsgeschwindigkeit der VSP-Flügel	$u = \pi \cdot n \cdot D$	—	—



VSP-Flügel mit Endplatte (1)

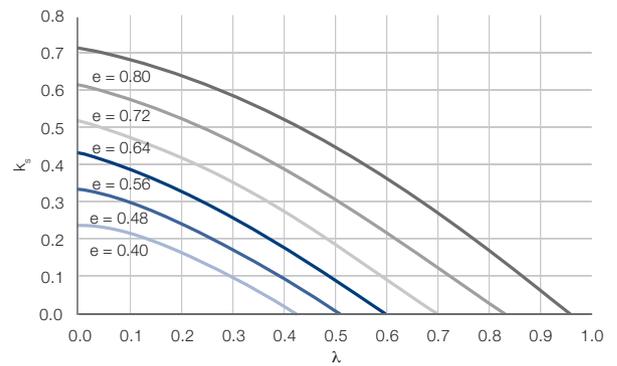


Druckverteilung an VSP-Flügel/ Schutzplatte (CFD-Berechnung) (2)



Schubkoeffizient (k_s) (2)

als Funktion des Fortschrittskoeffizienten (λ) und Steigung (e)



Abbildungen 2 und 3 zeigen die Freifahrtcharakteristika eines Voith Schneider Propellers bei verschiedenen Steigungswinkeln e der großen Version. Abbildung 2 zeigt den Schubkoeffizienten k_s als Funktion des Fortschrittskoeffizienten λ und der Steigung e ; Abbildung 3 entsprechend den Wirkungsgrad.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Steuerkräfte eines Voith Schneider Propellers, aufgeteilt in Schiffslängsrichtung (k_{sx}) und Schiffsquerrichtung (k_{sy}).

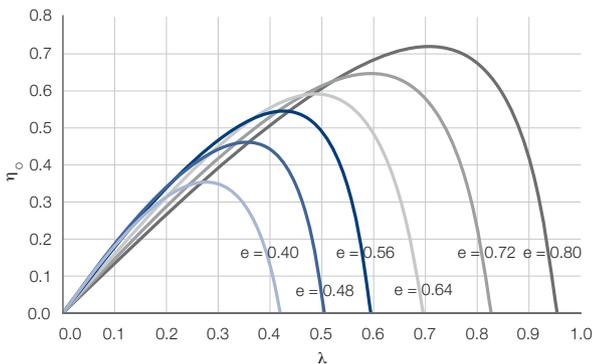
Mit zunehmendem Fortschrittskoeffizienten (Schiffsgeschwindigkeit nimmt zu, Propellerdrehzahl bleibt konstant) steigen auch die Steuerkräfte. Da es sich bei dem VSP um einen Propeller mit verstellbarer Steigung handelt, können hohe Steuerkräfte durch sehr schnelle Änderungen der Steigung erzeugt werden. Diese lassen sich effizient zur Rollstabilisierung und dynamischen Positionierung nutzen.

Auslegung des VSP

Zur Auslegung des Voith Schneider Propellers werden die gleichen hydrodynamischen Koeffizienten verwendet, wie bei Schraubenpropellern. Die Flügellänge L sowie der Flügelkreisdurchmesser D werden in die dimensionslose Darstellung einbezogen. Derzeit beträgt der maximale Wirkungsgrad bei Freifahrt 73 %.

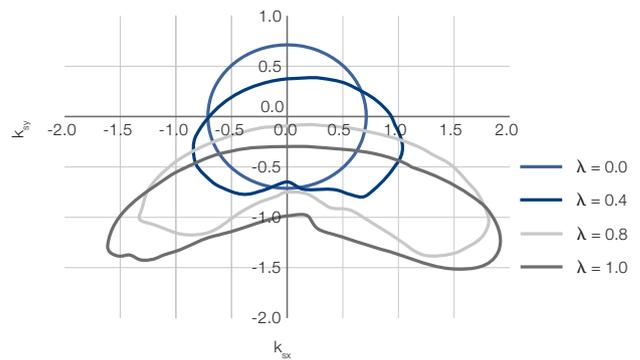
Wirkungsgrad (h_0) (3)

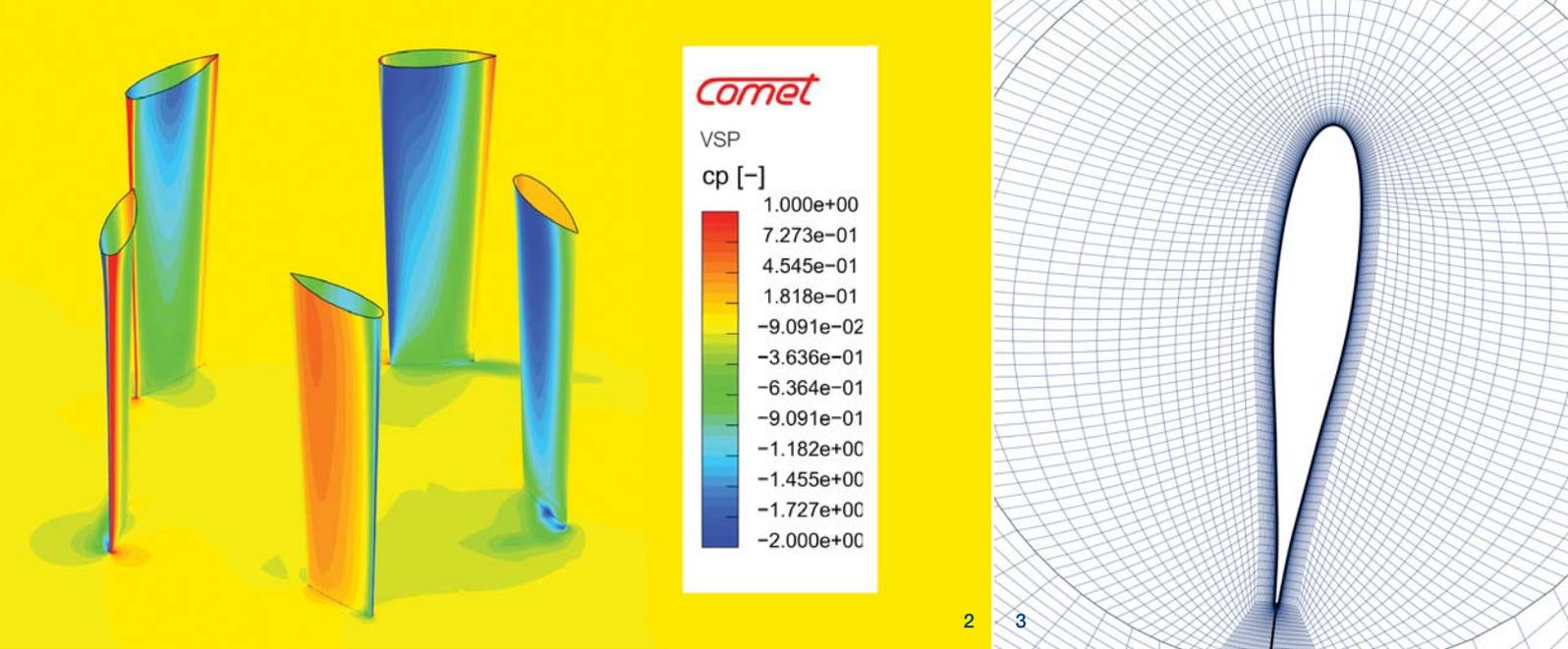
als Funktion des Fortschrittskoeffizienten (λ) und Steigung (e)



Steuerkraftkoeffizienten (k_{sx} and k_{sy}) (4)

als Funktion des Fortschrittskoeffizienten





Das intelligente Antriebskonzept für eine sichere Schifffahrt.

- Durch Vergrößern der Steigung lässt sich der maximale Wirkungsgrad erhöhen. Im Gegensatz zu Strahlrudern nehmen die Steuerkräfte mit steigender Geschwindigkeit zu.
 - Die Strömungseigenschaften von Voith Schneider Propellern lassen sich mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation (CFD) zuverlässig bestimmen.
 - VSP können optimiert werden für:
 - Maximale Effizienz bei Freifahrt
 - Maximalen Pfahlzug
 - Minimale Leistungsaufnahme während dynamischer Positionierung und Rollstabilisierung
 - Optimale hydroakustische Signatur
-

1 Voith Wassertrecker Shinano.

2 Druckverteilung an VSP-Flügeln (CFD-Berechnung).

3 Berechnungsgitter: Flügeldiskretisierung.

Voith Turbo GmbH & Co. KG
Alexanderstraße 2
89510 Heidenheim, Germany
Tel. +49 7321 37-4099
Fax +49 7321 37-7105
vspmarine@voith.com
voith.de

VOITH
Inspiring Technology
for Generations