

Zur Würdigung des Wirkens von Hermann Föttinger

Horst Nowacki

1. Einleitung



Abb. 1: Hermann Föttinger
(1877-1945)

Wir sind hier zusammengekommen, um das Andenken an *Hermann Föttinger* zu ehren, das Andenken an einen bedeutenden Ingenieur, einen genialen Erfinder, einen kreativen Wissenschaftler und einen inspirierenden Hochschullehrer. Äußerer Anlaß für dieses Treffen ist die Einweihung einer Gedenktafel, welche die Stiftung Werner-von-Siemens-Ring zur Verfügung stellt und heute der TU Berlin übergibt, um damit an Hermann Föttinger ehrenvoll zu erinnern und dieser Erinnerung ein bleibendes Symbol in der Nähe von Föttingers ehemaliger Wirkungsstätte an der damaligen Technischen Hochschule Berlin zu widmen.

Auch ohne einen solchen Anlass hat Hermann Föttinger es verdient, dass die Technische Universität die Erinnerung an sein Wirken, an die Verdienste und Leistungen ihres berühmten Sohnes stets wach und in Ehren hält. Dies gilt umso mehr aus aktuellem Anlass, denn nachdem das Hermann-Föttinger-Institut an der TU Berlin seit 1946 viele Jahrzehnte lang das Profil von Föttingers Tradition vertreten hatte, ist dieser Institutsname vor kurzem organisatorischen Veränderungen zum Opfer gefallen. Die Tradition Föttingers bleibt jedoch in unserer Erinnerung bestehen und wird durch die heutige Ehrung erneut sichtbar.

Die Aufgabe, Hermann Föttingers Wirken und seine Nachwirkungen zu würdigen, beginnt mit der Schwierigkeit, dass sein Wirkenszeitraum schon lange zurückliegt, er ist 1945 in den letzten Kriegstagen verstorben; Zeitzeugen sind nicht mehr am Leben, das biographische Material ist weit verstreut und unvollständig. Dennoch habe ich mich dieser Aufgabe gern gestellt, denn es lohnt sich, Föttingers Gedankenwelt zu studieren, seine Arbeiten in dem Szenario seiner Zeit zu betrachten und seine Leistungen einzuordnen, seine weitsichtigen Ideen zu verfolgen, die oft noch heute aktuell sind. Damit soll gleichzeitig Material

zusammengetragen werden, das Föttingers Verdienste auch etwas außenstehenden und jüngeren Personen erschließt. Ich habe bei diesen Bemühungen zum Glück die Hilfe vieler kompetenter Kollegen und Gesprächspartner erhalten können, die Föttingers Werk in seinen Facetten genauer kennen und mir wertvolle Hinweise und Informationen beschaffen konnten. Ihnen gilt auch hier mein Dank.

Mein Beitrag kann natürlich nur eine knappe Synopse von Föttingers Wirken sein. Den mündlichen Vorträgen vom 5. Mai folgt hier eine schriftliche Ausarbeitung des Beitrags für eine Gedenkschrift, die etwas ausführlicher ist. Meine Absicht hier ist es, einige wichtige Ergebnisse von Föttingers Arbeiten hervorzuheben, aber auch gewisse Zusammenhänge zu beleuchten, die ihn in seiner Zeit und in seinem Kontext zu bestimmten neuen Einsichten und Erfindungen geführt haben. Die Frage lautet also: Welche Ideen hatte Föttinger wann und warum?

2. Lebenslauf

Hermann Föttinger wurde am 9. Februar 1877 in Nürnberg als Sohn von Karl und Marie Föttinger geboren.

Er legte das Abitur am 13. Juli 1895 am Kgl. Realgymnasium in Nürnberg ab. Damit erwarb er die Hochschulreife für ein technisches Studienfach.

Er studierte von 1895 bis 1899 an der Kgl. Bayerischen Technischen Hochschule München Elektrotechnik als Hauptfach und erwarb ein Diplom als Elektroingenieur. Im Nebenfach belegte er Maschinenbau und hörte insbesondere bei August Föppl, der Technische Mechanik und auch Elektrodynamik lehrte. Föppl-Schüler war übrigens auch Ludwig Prandtl, der von 1894 bis 1900 in München studierte und promovierte.

Nach dem Diplom wurde Föttinger 1899 eine Stelle beim Stettiner Vulkan, einer führenden Schiffswerft und Schiffsmaschinenfabrik, angeboten, wo er als Konstrukteur im Schiffsmaschinenbau zum Einsatz kam. Eine Hauptaufgabe bestand in dieser Phase in der Einführung von Dampfturbinen als Antriebssystemen an Bord von Schiffen. Er bewährte sich gut und erhielt bald verantwortungsvolle Aufgaben als Konstrukteur und Versuchsingenieur sowie bei der Entwicklung von Versuchsfeldern und Versuchsbooten. In diese Zeit fallen

auch seine ersten wichtigen Erfindungen und Patente, der Torsionsindikator (1904) zur Messung von Drehmomenten an Antriebswellen und der hydrodynamische Wandler (1905), durch den Föttinger später berühmt wurde.

Föttinger promovierte während dieser Industriezeit 1904 bei August Föppl und Moritz Schröter in München mit der Dissertation „Effektive Maschinenleistung und effektives Drehmoment und deren experimentelle Bestimmung“.

Föttinger hatte sich mit Vorträgen ([1], [2]) vor der Schiffbautechnischen Gesellschaft, in denen seine Erfindungen mit ihren Grundlagen geschildert wurden, bereits früh einen guten Namen gemacht. Die STG verlieh ihm 1906 als erstem Empfänger die Silberne Medaille, gestiftet von Kaiser Wilhelm II, für hervorragende Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Schiffsmaschinenbaus [3]. Föttinger blieb bis 1909 beim Stettiner Vulkan tätig, zuletzt als Leiter des Konstruktionsbüros. Er berichtete über seine Ergebnisse zum hydrodynamischen Drehmomentenwandler vor der STG auf der Hauptversammlung 1909 [4].



Abb. 2: Silberne Medaille der STG, verliehen an Hermann Föttinger für hervorragende Forschungsarbeiten im Schiffsmaschinenbau, 1906 [3]

Föttinger nahm dann einen Ruf auf eine Professur für Schiffsmaschinenbau an der KTH Danzig an, wo er von 1909 bis 1924 lehrte. Er wirkte an der noch jungen Hochschule tatkräftig mit am Aufbau experimenteller Einrichtungen in seinem Institut für Strömungstechnik. Er forschte weiter an Turbomaschinen, Schiffsantriebssystemen und Propellern. Die Danziger Hochschule ehrte Föttinger 1924, d.h. am Ende seiner Tätigkeit dort, mit der Ehrenbürgerschaft.

Im Jahre 1924 wechselte Föttinger an die Technische Hochschule Berlin und trat hier eine Professur für Strömungsphysik, später umbenannt in Allgemeine Strömungslehre und

Turbomaschinen, an, den ersten Lehrstuhl dieser Art in Deutschland. Es wurde damit eine Entwicklung eingeleitet, welche die Strömungsmechanik als selbstständiges Fach von der Allgemeinen Mechanik trennte. Föttinger spielte auch hier an der TH Berlin in Lehre und Forschung eine herausragende Rolle, intensivierte die strömungsmechanischen Grundlagen und verbreiterte das Anwendungsspektrum bei den Strömungsmaschinen. Später gehörte er auch zu den Begründern einer Forschungs- und Prüfanstalt für Windkraftanlagen an der Berliner TH. Er wirkte an unserer Hochschule bis 1945.

Föttingers Leben endete tragisch am 28. April 1945, also wenige Tage vor dem Ende der Kämpfe um Berlin und dem Ende des Krieges, als er in der Nähe seiner Wohnung in Wilmersdorf während des Beschusses der Stadt der Verletzung durch einen Granatsplitter erlag.

3. Leistungen und Verdienste

Erfindungen und Patente

Zu den wichtigsten Erfindungen Föttingers, auf die er auch Patente erhielt, zählen u.a. folgende:

- 8.11.1904: Der Torsionsindikator
- 24.6.1905: Das Flüssigkeitsgetriebe (Hydrodynamischer Drehmomentenwandler)
- 2.5.1924: Der Vektorintegrator
- 9.1.1929: Leitflächenanordnung für offene und geschlossene Kanäle
- 6.5.1954 (postum): Betrieb von Brennkammern für Strahltriebwerke

Insgesamt erhielt Föttinger mehr als 100 Patente.

Der Torsionsindikator

Abb. 3 zeigt den Torsionsindikator, wie er Föttingers Patent von 1904 zugrundeliegt. Das Gerät dient zur Messung von Torsionswinkeln zwischen zwei Querschnitten einer Drehleistung übertragenden Welle und damit indirekt des Drehmoments. Es beruht auf dem Prinzip, dass die Welle unter Drehmomentenlast auf einer genügend großen axialen Messlänge eine spürbare Verdrehung durch Torsion erfährt, die proportional zum

Drehmoment ist. Am Umfang der Welle entsteht durch die Torsion zwischen Querschnitt I und Querschnitt II eine tangentielle Verschiebung. Beim Föttinger-Indikator ist am rechten Querschnitt eine steifes, unbelastetes und daher unverformtes Rohr befestigt, dessen linkes Ende (I) eine Scheibe trägt, die einer zweiten, mit der Welle tordierten, mitrotierenden Scheibe II gegenüberliegt. Die Verschiebung zwischen den Umfangspunkten a und c wird abgegriffen und durch ein Hebelwerk so vergrößert, dass ein Stift auf einer nicht mitrotierenden Schreibtrommel einen gut messbaren Ausschlag erzeugt. Die Beziehung zwischen Verdrehungsbogen und Drehmoment kann über das Torsionsgleichgewicht analytisch bestimmt werden.

Damit war eine Messmethode verfügbar, um z.B. bei Turbinenantrieben – auch bei hohen Antriebsleistungen – das effektiv auf die Welle wirkende Drehmoment und über die ebenfalls gemessene Drehzahl auch die effektive Leistung zu ermitteln. Für Schiffsturbinen wurde es dadurch möglich, die abgegebene effektive Leistung und damit auch den effektiven Wirkungsgrad der Maschine zu bestimmen. Diese Kontrolle ist für den Konstrukteur zur wissenschaftlichen Überprüfung der Entwurfsmethodik von maßgeblicher praktischer Bedeutung und dient auch dem Reeder und der Werft zur Verifizierung der Einhaltung der Vertragsbedingungen.

Torsionsindikatoren nach dem Föttinger-Patent sind daher in der Einführungsphase des Turbinenantriebs auf vielen Schiffen eingebaut worden und haben zu dessen Erprobung und Durchsetzung wesentlich beigetragen. Aber auch die experimentelle Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Wellenanlagen bei Drehschwingungen war hiermit gleichzeitig ermöglicht worden.

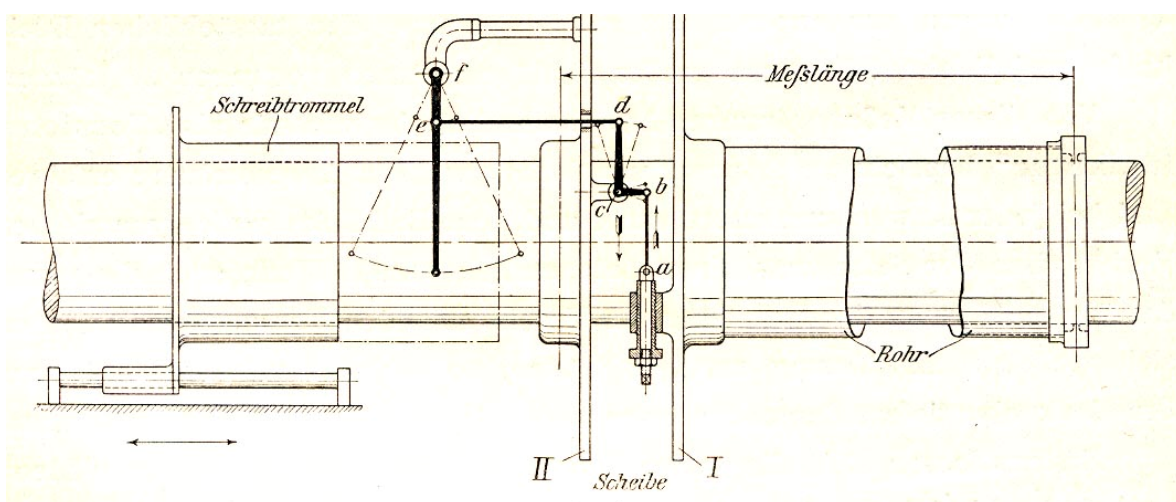


Abb. 3: Torsionsindikator nach Föttinger, STG 1905 [2]

Das Flüssigkeitsgetriebe

Die Ära der Dampfturbine als Schiffsantrieb begann 1896 mit den ersten Versuchen von *Charles Parsons*, der sein Versuchsschiff, die 30,5 m-Yacht *Turbinia* (Abb. 4), mit einer Dampfturbine von max. 2000 HP ausstattete und diese Leistung zunächst auf eine Propellerwelle wirken ließ. Dieser direkte Antrieb des Propellers mit der hohen Drehzahl der Turbine erwies sich schnell als unzulänglich, denn der Propeller litt stark unter Kavitation und erzeugte nur einen ungenügenden Schub. Das Schiff lief nur ca. 20 Knoten. Daher baute Parsons 1896 das Schiff um und teilte die Leistung auf drei Turbinen und drei Propellerwellen auf, die bei etwas niedrigerer Drehzahl betrieben werden konnten. Das bewährte sich so gut, dass Parsons 1897 bei einer Flottenparade bei Spithead zu Queen Victorias sechzigstem Krönungsjubiläum mit der *Turbinia* 34,5 Knoten lief und alle anderen schnellen Schiffe im Flottenverband der Royal Navy überholen konnte. Das gab dem Grundgedanken des Schiffsturbinenantriebs sofort eine große Akzeptanz, denn die Vorteile gegenüber der Kolbendampfmaschine nach Gewicht und Leistung waren offenkundig. Aber damit war das grundsätzliche Problem noch nicht gelöst.

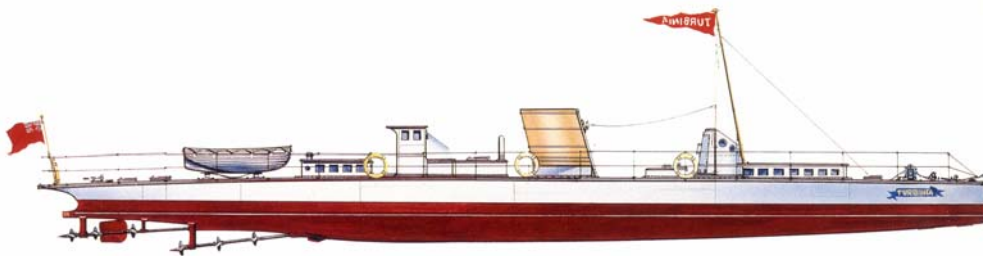


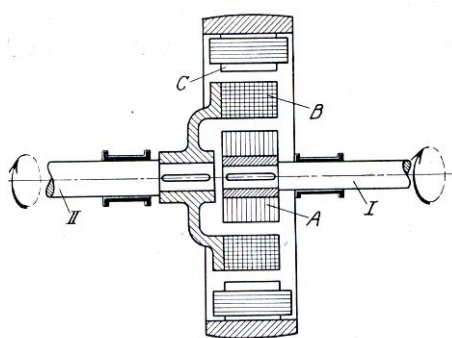
Abb. 4: Die *Turbinia* von *Charles Parsons*, 30,5 m -Yacht, 1894 abgeliefert, 1896 umgebaut, 1897 bei Spithead demonstriert. Erstes Schiff mit Dampfturbinenantrieb. $\Delta = 44,5$ tons, drei Wellen, max. 2000 HP, 34,5 Knoten [5].

Das Dilemma lag hauptsächlich darin, dass die Turbine für günstige Wirkungsgrade recht hohe, der Propeller dagegen niedrige Drehzahlen erforderte. Die günstigsten Betriebsdrehzahlen für Turbinen und Propeller liegen aus physikalischen Gründen um den Faktor 5 bis 15 auseinander. Das ließ sich auch nicht durch eine mittlere Kompromissdrehzahl sinnvoll überbrücken. Sondern anstelle des Direktantriebs war eine Getriebeuntersetzung geboten, da sich auch nur so für die angestrebten Leistungen kavitationsfreie Propeller realisieren ließen. Dieses Dilemma nannte Föttinger, der um 1902 beim Stettiner Vulkan die Aufgabe erhielt, Schiffsturbinenantriebe zu konstruieren, das „Schiffsturbinenproblem“. Installationen von Dampfturbinen auf Schiffen, die sich in

England in Form des Mehrwellenantriebs nach Parsons bald verbreiteten, gab es in Deutschland bis 1907 noch nicht [6], [7]. Es gab auch 1903 noch keine Zahnradgetriebe für die erforderlichen Leistungen und Übersetzungsverhältnisse [4]. Daher musste Föttinger, als er 1902 diese Aufgabe gestellt bekam, nach anderen Lösungen suchen.

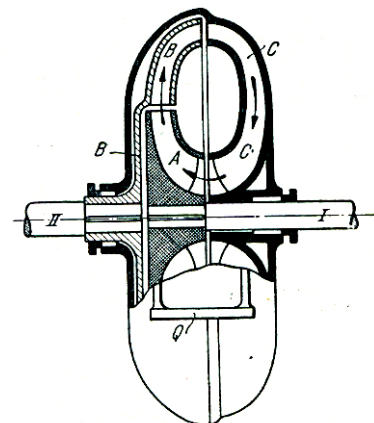
Außerdem litt die direkte Kopplung von Turbine und Propeller nach Parsons darunter, dass ein Umsteuern der Drehrichtung des Propellers für Rückwärtsmanöver nicht ohne weiteres möglich war, sondern eine zusätzliche Rückwärtsturbine auf der gleichen Welle notwendig machte, deren Aktivierung Zeit kostete und, auch weil die Rückwärtsleistung praktisch meist niedriger bemessen wurde, auch zu Einschränkungen des Bremsvermögens des Schiffes führte.

Föttinger untersuchte zunächst die Möglichkeit der elektrischen Leistungsübertragung nach dem Prinzip eines „Differentialdynamos“, also einer Maschine in einem Gehäuse, in der die Primärwelle I einen Dynamoanker A treibt, der den Motoranker B der Sekundärwelle II unter Einwirkung des Feldes des feststehenden Magnetankers (Gestell C) mitnimmt, Abb. 5. So überträgt sich das Drehmoment bei regelbarem Drehzahlunterschied. Der Nachteil dieser technisch realisierbaren Lösung ist der hohe Aufwand an Material, Gewicht und Baugröße, wie Föttinger bei seinen Voruntersuchungen feststellte.



Differentialdynamo:

- A = Dynamoanker
- B = Motoranker
- C = festes Magnetgestell



Turbotransformator:

- A = Pumpenrad
- B = Turbinenrad
- C = fester Leitapparat

Abb. 5: Differentialdynamo und Turbotransformator nach Föttinger [9]

Er kam daher noch 1903, beeindruckt von den sehr kompakten Bauweisen von Strömungsmaschinen, auf die Idee eines *hydrodynamischen Drehmomentenwandlers* (alias Föttinger-Getriebe, alias Turbotransformator), der die Aufgabe des Getriebes in der Leistungsübertragung von der Turbine zum Propeller lösen sollte. Die Grundidee seiner Erfindung ist dabei, völlig analog zum Differentialdynamo, eine Bauweise in einem Gehäuse, in dem ein Pumpenrad A und ein Turbinenrad B eng gekoppelt sind, und zwar so, daß Primärwelle I und Sekundärwelle II mit der gewünschten Drehzahluntersetzung umlaufen (Abb. 5).

Bemerkenswert ist an diesem Gedankengang besonders Föttingers Denkweise, die aus einer physikalischen Analogie zwischen elektromagnetischem Feld und potentialtheoretischem Stömungsfeld heraus die Einsicht herleitete, wie man die Bauweise von „Differentialdynamo“ und „Differential-Flüssigkeitsantrieb“, um dieses Wort anstelle von Getriebe zu benutzen, gestalten musste, wenn man in beiden Fällen eine enge Kopplung von Antriebs- und Arbeitssystem (in einem Gehäuse) erreichen wollte. Eine brillante Anwendung physikalischer Analogiebetrachtungen als Grundlage für konstruktives Handeln!

Föttinger war von Beginn an klar, dass eine nur indirekte, lose Kopplung von getrennter Pumpe und Turbine keine geeignete, leistungsfähige Lösung liefern würde, obwohl sich auch so ein Getriebeeffekt herstellen läßt (Abb. 6). Aber es entstehen in den Maschinen und den Übertragungsleitungen unnötige Verluste an Strömungsenergie durch Druck- und Geschwindigkeitsumsetzungen, so dass nur mäßige Wirkungsgrade erzielbar sind. Stodola, der bekannte Konstrukteur von Strömungsmaschinen, hatte Föttinger gewarnt, dass sich so, zieht man die besten Wirkungsgrade von Pumpe und Turbine in Betracht, kaum ein Wirkungsgrad von 70 % erzielen ließe. Aber Föttinger wollte diesen Weg auch keineswegs beschreiten.

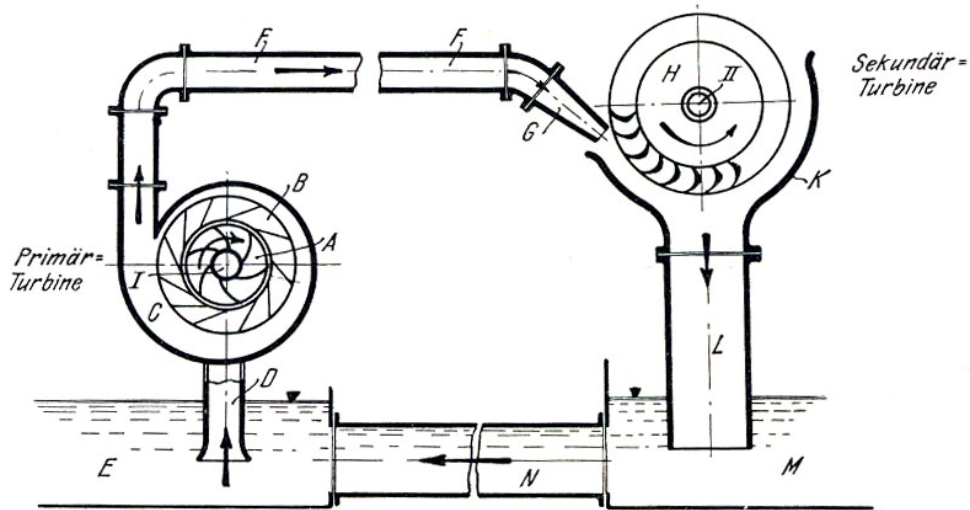
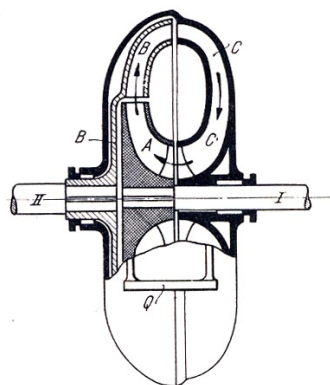


Abb. 6: Kopplung von getrennter Pumpe („Primärturbine“) und Turbine („Sekundärturbine“) über externe Leitung [9]

Vielmehr entwickelte er seit etwa 1902 zielstrebig das Grundschaema seines hydrodynamischen Drehmomentenwandlers als Flüssigkeitsgetriebe, für den er 1905 das Urpatent erhielt. Man erkennt in Abb. 7 die grundsätzliche Wirkungsweise. Die Strömungskanäle A, B und C der Maschine sind mit einer stetig umlaufenden Flüssigkeit (anfangs mit Wasser, später mit Öl) gefüllt. Das Pumpenrad A auf der Primärwelle führt der Flüssigkeit während seiner Umdrehung Druck- und Geschwindigkeitshöhe zu. Die Flüssigkeit treibt damit das Turbinenrad B auf der Sekundärwelle an, dieses entnimmt dabei Leistung, und zwar bei der Drehzahl, die dem angestrebten Drehmoment der Sekundärwelle entspricht. Der Leitapparat C steht im Gehäuse fest und sorgt für die Rückführung der Flüssigkeit im Kreislauf nach A. Die Beschau felung der Stufen A, B und C, die man rechts in Abb. 7 erkennt, ist hier so geformt bzw. gekrümmt, dass die Drehrichtungen von Pumpen- und Turbinenrad gleichsinnig gerichtet sind.



I = Primärwelle
II = Sekundärwelle

A = Pumpenrad
B = Turbinenrad
C = Leitapparat

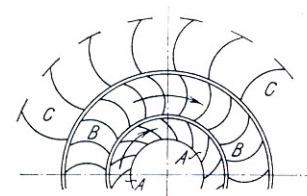


Abb. 7: Das Grundschaema: Direkte Kopplung von Pumpen- und Turbinenrad [4, S.170]

Dabei ist nach Föttingers Patent weder die Stufenreihenfolge noch die Drehrichtung der Sekundärwelle von vornherein fest vorgegeben. Abb. 8 zeigt vielmehr erstens, dass man auch die Reihenfolge Pumpenrad-Leitapparat-Turbinenrad wählen kann, wenn man deren Schaufeln auf entsprechenden Radien anordnet. Zweitens kann man durch Änderung der Krümmungsrichtung der Turbinenschaufeln dafür sorgen, dass die Sekundärwelle in der umgekehrten Drehrichtung wie die Primärwelle läuft. Man kann also einen Föttinger-Wandler für den Rückwärtsbetrieb des Propellers realisieren.

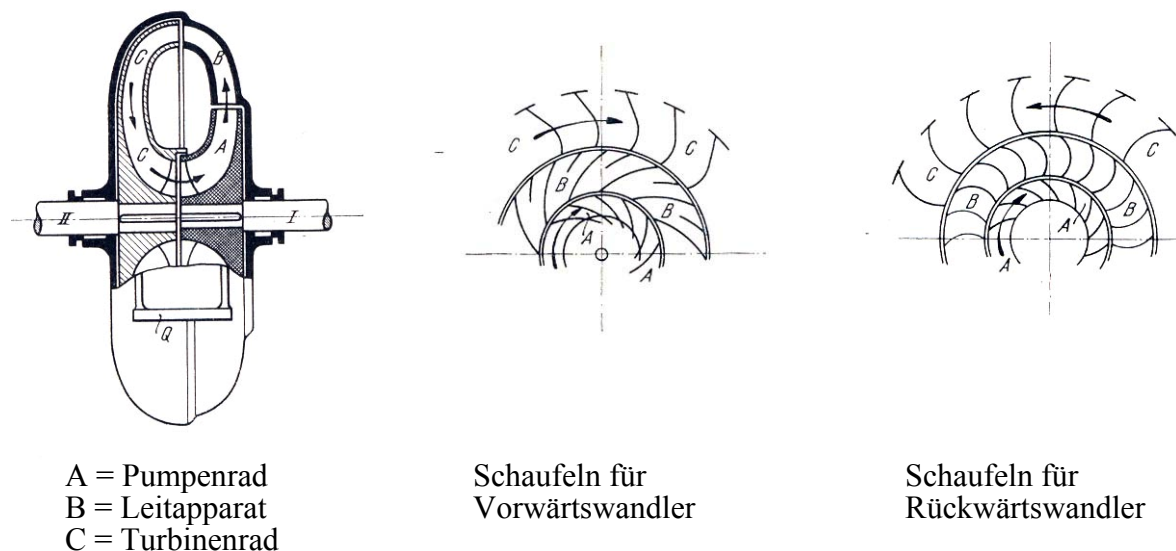


Abb. 8: Alternatives Schema [4], Vorwärts- und Rückwärtsübertragung

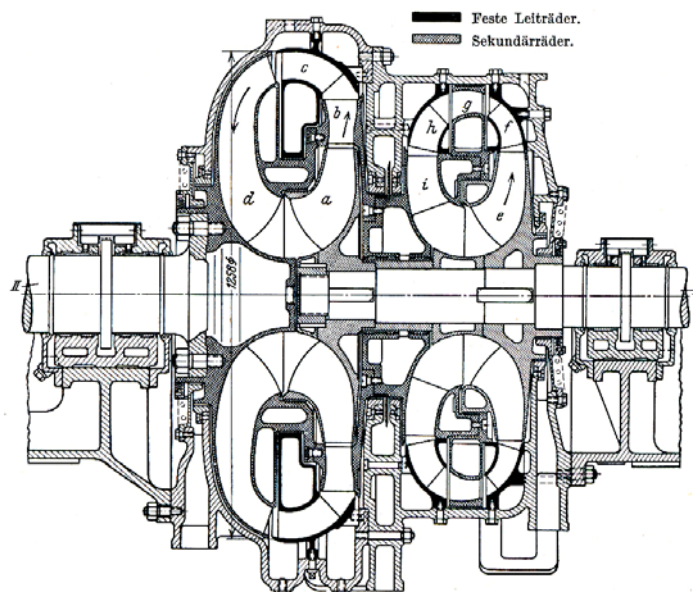


Abb. 9: Mehrstufiger, umsteuerbarer Föttinger-Wandler[4]

Abb. 9 zeigt zwei weitere Varianten des Föttinger-Wandlers. Zum einen ist der Wandler hier mehrstufig ausgeführt, d.h. er besitzt im Kreislauf der Flüssigkeit mehrere (hier zwei) Turbinenräder (im Vorwärtsteil hier b und d). Zum anderen sind die Teile des Rückwärtswandlers auf derselben Welle montiert, also VW-Teil und RW-Teil in einem Aggregat vereint. Das Umsteuern erfolgt dann so, z.B. von VW auf RW, dass der VW-Teil entleert, der RW-Teil mit Flüssigkeit gefüllt wird, was relativ schnell geht, dann wirkt das Drehmoment auf die Sekundärwelle rückwärtsdrehend. Diese Art von Aggregaten ist im Schiffsbetrieb vorwiegend zum Einsatz gekommen.

Abb. 10 zeigt die Hardware eines geöffneten Wandlers mit der Sekundärwelle bei der Montage oder Demontage, der kleinere Teil mit RW-Beschaufelung links außen, der VW-Teil rechts daneben.

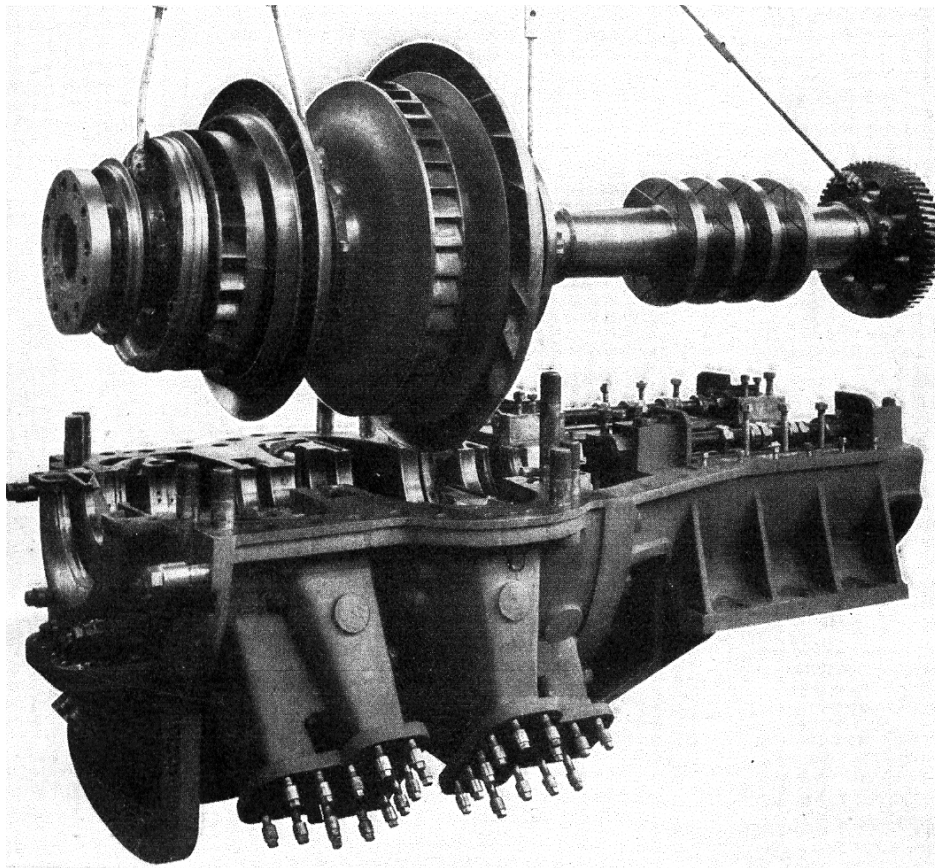


Abb. 10: Geöffneter Drehmomentenwandler mit VW- und RW-Teil auf Sekundärwelle [10]

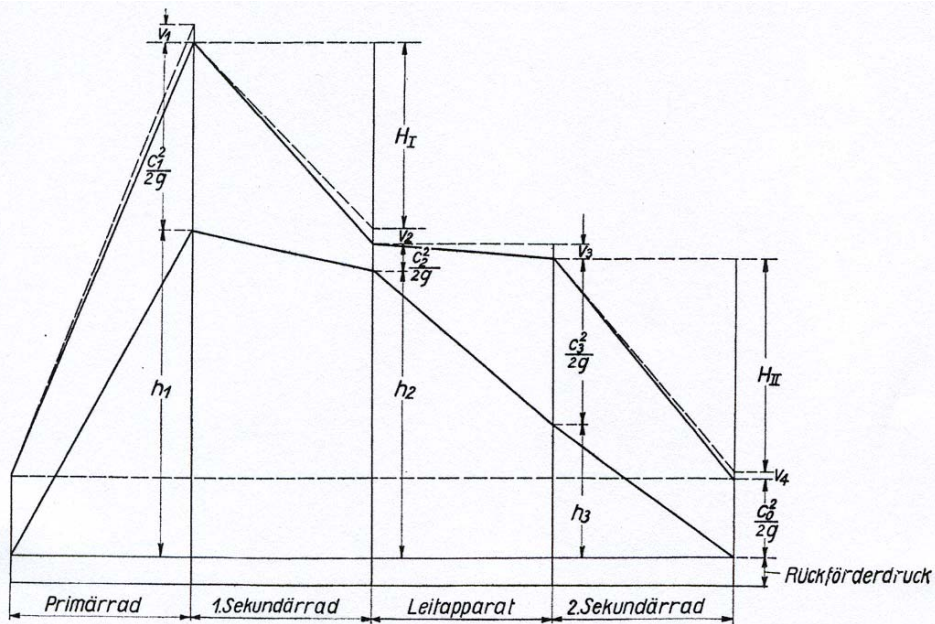


Abb. 11: Druckverlauf im zweistufigen Föttinger-Wandler [10]. h_1 , h_2 , h_3 = statische Druckhöhen, $c_0^2/(2g)$ etc. = Geschwindigkeitshöhen, H_I , H_{II} = verbrauchte Gesamtdruckhöhen

Zur Zusammenfassung zeigt Abb. 11 eine Übersicht über den Verlauf der Druck- und Geschwindigkeitshöhen für das zweistufige System. Das Pumpenrad fördert den Gesamtdruck vom Basisniveau (Grundgeschwindigkeit c_0 , Förderdruckhöhe $c_0^2/(2g)$) auf das Niveau $h_1 + c_1^2/(2g)$. Die Arbeitsstufen der beiden Turbinenräder verbrauchen jeweils einen Teil dieser Gesamtdruckhöhe (H_I , H_{II}), außerdem hat jede Stufe i gewisse, geringe Verlusthöhen v_i , auch der Leitapparat. Dabei werden die Schaufelkanäle nach Föttingers Prinzip der „absolut konvergenten Strömung“ gestaltet, d.h. möglichst so, dass in allen Stufen eine auf sich verjüngenden Querschnitten beruhende Strömung vorherrscht, um Druckverluste gering zu halten. Kleine Leckverluste an Flüssigkeitsmenge werden durch eine Förderpumpe stetig wettgemacht. Mit Druckverläufen dieser Art hat der Föttinger-Wandler Wirkungsgrade über 80 % erreichen können.

Abb. 12 zeigt das Betriebsverhalten eines Föttinger-Wandlers bei konstanter Primärdrehzahl von 1100 U/min und variabler Sekundärdrehzahl. In einem breiten Bereich von Übersetzungen zwischen etwa 3 und 7 ist der Wirkungsgrad sehr hoch und ziemlich konstant bei 80 %. Die Übersetzung läßt sich also stufenlos über größere Bereiche variieren.

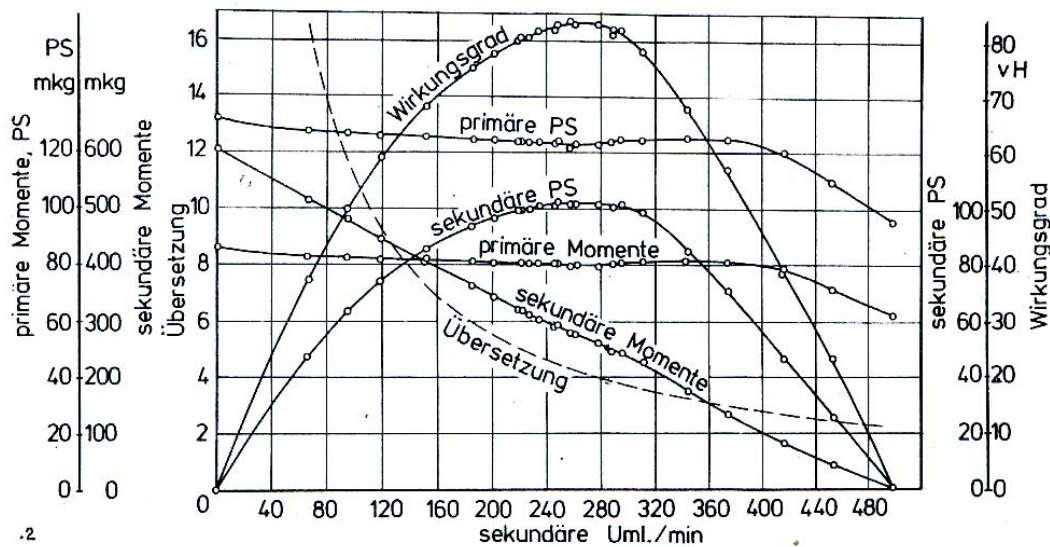


Abb. 12: Übertragung von Drehmoment und Leistung bei konstanter Primärdrehzahl von 1100 U/min sowie Wirkungsgrad bei verschiedenen Übersetzungen (nach Föttinger [9], zitiert von Fernholz [11])

Die Vorteile des hydrodynamischen Wandlers nach Föttinger lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

- Die direkte Kopplung von Pumpe und Turbine vermeidet Leitungsverluste, doppelte Übersetzungen Druck-Geschwindigkeit-Druck sowie Austrittsverluste. Dadurch entsteht ein guter Wirkungsgrad (über 80 %).
- Die Kopplung von Turbine mit Propeller über Föttinger-Wandler mit Übersetzungen bis zu ca. 5:1 erlaubt günstige Drehzahlen von Turbine und Propeller. Normal große, langsam laufende Propeller sind damit möglich.
- Drehzahl und Leistung lassen sich im Entwurf praktisch beliebig wählen. Der Wandler war das erste funktionsfähige Hochleistungsgetriebe für den Schiffsantrieb.
- Der Wandler bietet eine leichte Umsteuerbarkeit und eine gute Regelbarkeit von Drehzahl und Drehmoment.
- Im Wandler kann ein genügend hohes Druckniveau realisiert werden, um Kavitation zu vermeiden, dadurch entsteht nur ein geringer Verschleiß.

- Die Dynamik des Wandlers hat eine drehschwingungsfilternde Wirkung und ermöglicht einen stoßfreien Betrieb sowie sanftes Anfahren.

Trotz dieser offenkundigen Vorzüge war dem Föttinger-Getriebe an Bord von Schiffen leider nur eine kurze Anwendungsära beschieden. Das lag nicht an technischen Mängeln, sondern zuerst unterbrach der Erste Weltkrieg die Entwicklung, dann hatte die Konkurrenz von Zahnradgetrieben aufgeholt und konnte ab etwa 1918 Systeme mit hohen Leistungen und viel höheren Übersetzungsverhältnissen anbieten (z. B. durch Pionierentwicklungen von Blohm +Voss, s. Frahm [12]). Wegen seines überlegenen Wirkungsgrades setzte sich dieser Getriebetyp für Turbinenantriebe schnell durch. Föttingers Idee kam erst später wieder auf anderem Weg zur Blüte.

Betrachten wir nun zunächst die *gebauten Schiffe* mit Föttinger-Wandler [10]:

- „Föttinger-Transformator“, Versuchsschiff der Vulcan-Werft, 1909. Ca. 500 PS, 1750 U/min, Übers. 5,6:1.
- „Königin Luise“, Seebärdampfer, Vulcan-Werft, 1914. 2 Wellen mit je 3050 PS, 1800 U/min, Übers. 4:1. 1914 als Hilfskreuzer eingesetzt und versenkt.
- „Wiesbaden“, Kl. Kreuzer, Vulcan-Werft, 1915. 2 Wellen mit je 16500 PS, 1100 U/min, Übers. 3,3:1. 1916 im Skagerrak versenkt.
- „Tirpitz“, Passagierdampfer, Vulcan-Werft, 1921, dann „Empress of China“. Zwei Wellen mit je 14500 PS, 800 U/min, Übers. 5:1.

Mögen diese Beispiele genügen, um Föttingers erfinderische und konstruktive Leistungen zu illustrieren. Ich möchte im Folgenden ein knappes Profil von Föttingers wissenschaftlichen Beiträgen danebenstellen, die in Gesamtdarstellungen oft zu kurz kommen.

Der Wissenschaftler: Grundlagen

Wie man in Abb. 13 erkennt, hat Föttinger im Laufe seines Lebens viele wissenschaftliche Themen der Strömungsmechanik bearbeitet und zu den meisten davon auch eigene, originelle

Beiträge geleistet. Das Spektrum umfaßt eine bunte Palette von wichtigen, anwendungsorientierten Grundlagen. Vielleicht kann man es als sein Hauptanliegen bezeichnen, ein einheitliches Weltbild der Strömungsmechanik herzustellen und dabei die Kluft zwischen theoretischer Hydrodynamik und praktischer Hydraulik zu überwinden, die sich in den zwei Jahrhunderten seit Newton gebildet hatte. Für Föttinger gab es nur eine Physik. Der Anwender musste sowohl Theorie als auch Praxis beherrschen, Widersprüche durfte es nicht geben. Das ist vielleicht seine wichtigste wissenschaftliche Aussage. Darin wusste er sich auch mit Prandtl einig, seinem großen Zeitgenossen.

- Potentialtheorie (Singularitäten, Strömungsfelder),
- Wirbeltheorie,
- Propellertheorie (Wirbeltheorie des Propellers),
- Kavitation und Korrosion,
- Zäh Medien, Zähigkeitswiderstand,
- Wechselwirkung Schiff/Propeller (Nachstrom und Sog),
- Schiffswiderstand: Doppelkörper (Eliminierung des Wellenwiderstands im Versuch).

Abb.13: Arbeitsgebiete Föttingers, strömungsmechanische Grundlagen

Ich greife aus dieser Liste ein *erstes Beispiel* heraus, um Föttingers Beiträge zur praxisnahen Theorie der Strömungsmechanik zu charakterisieren, die Wirbelthorie des Propellers. Diese Beiträge fügen sich ein in den folgenden knappen Gesamtüberblick (Abb. 14):

- Rankine (1865): Strahltheorie,
- W. Froude (1878): Flügelblatttheorie,
- Greenhill (1888): Erweiterte Strahltheorie (tangentialer Austrittsverlust),
- Kutta (1902): Gebundener Wirbel am Profil. Zirkulation,
- Lanchester (1907): Zirkulationstheorie des Auftriebs am Tragflügel,
- Föttinger (1911): Zirkulation an Profilen, Randbedingungen,
- Reissner (1911-12), Gumbel (1913), Grammel (1916): Beiträge, um Strahl- und Flügelblatttheorie zu vereinigen,
- Prandtl (1918, 1920): Tragflügeltheorie,
- Föttinger (1918): „Schraubenwirbeltheorie“,
- Betz (1919): Propeller geringsten Energieverlusts,
- Betz und Prandtl (1920, 1921): Propeller nach Tragflügeltheorie,
- Bienen-v.Karman (1924): Einfluss endlicher Flügelzahl,
- Föttinger (1924): Kavitation,
- Glauert (1926 ff.): Flugzeugpropeller,
- Horn (1927, 1929): Propellerentwurfsverfahren nach Wirbeltheorie.

Abb. 14: Entwicklungsschritte der Propellertheorie

Im 19. Jh. näherte man sich der Propellerströmung mit Rankines Strahltheorie und William Froudes Flügelblatttheorie, zwei anschaulichen Näherungen, die aber qualitativ und

unvollständig blieben, denn sie klärten den Zusammenhang zwischen Strömung und Kräften am Propeller nicht kausal auf und waren daher zur Dimensionierung der Propellergeometrie ungeeignet. Auch Greenhills erweiterte Strahltheorie, welche die Drehung im Propellernachstrom näherungsweise berücksichtigte, änderte daran nichts.

Die moderne Entwicklung begann mit Kuttas Arbeiten [13] (1902, zugänglicher erst ab 1910, 1912) sowie Joukowskis ähnlichen Ansätzen (publiziert ab 1906), worin die Wirkung von Auftriebskräften mit der Ersatzvorstellung eines gebundenen Wirbels am Profil in Verbindung gebracht wird, der eine zirkulatorische Strömungskomponente um das Profil hervorruft und so – in idealer Flüssigkeit – einen Auftrieb erzeugt. Lanchester [14] dehnte 1907 die Vorstellung von gebundenen Wirbeln auf Tragflügel endlicher Spannweite aus und erklärte so, aufbauend auf den Helmholtzschen Wirbelsätzen, qualitativ richtig den Auftrieb von Tragflügeln. Er erwähnte auch bereits die Möglichkeit, Propellerflügel mit dem Ersatzsystem gebundener Wirbel zu modellieren. Föttinger ging schon 1911 [15] von ähnlichen Vorstellungen aus und erklärte die Kräfte an Turbinenschaufelgittern und im Propellerverband mit zirkulatorischen Strömungsanteilen, wobei er auf gebundene und freie Wirbelsysteme am Propeller hinwies. Dies waren erste Vorboten einer Wirbeltheorie des Propellers.

Nachdem es trotz intensiver Bemühungen (Reissner, Gümbel, Grammel) zwischen 1910 und 1918 nicht gelungen war, Strahltheorie und Flügelblatttheorie konsequent zu vereinigen, kam der Durchbruch ab 1918 mit Prandtls Tragflügeltheorie [16] und fast gleichzeitig mit Föttingers Schraubenwirbeltheorie [17]. Prandtl war in der Lage, die Kräfte am Tragflügel mit Hilfe des gebundenen Wirbels und eines freien Wirbelsystems in der Nachstromschleppe auch quantitativ richtig vorherzusagen und damit unter Verwendung von Profildaten Tragflügel zu dimensionieren. Föttinger benutzte äquivalente Vorstellungen für den Propellerverband, um dessen Strömungsfeld und Kräftegleichgewicht zu analysieren. Von Prandtl und Betz [18] wurde diese wirbeltheoretische Propellertheorie bald weiter ausgebaut und vervollständigt. Föttinger fasste diesen Stand 1924 noch einmal zusammen [8] und wies auch nachdrücklich darauf hin, wie sich die Kavitationsentstehung allein auf hydrodynamische Ursachen zurückführen und damit vorhersagen bzw. vermeiden lässt. Horn [19], aufbauend auf allen diesen Vorstellungen und auf der Profiltheorie, war es schließlich, der hieraus ein wirbeltheoretisches Propellerentwurfsverfahren entwickelte, das bis heute Gültigkeit hat.

Fasst man Föttingers Beiträge zu diesem Thema knapp zusammen, so war es sein erfolgreiches Bemühen, Theoriebereiche zu integrieren, um ein ganzheitliches Bild der Strömungsmechanik des Propellers zu entwickeln und dadurch die physikalischen Grundlagen für das Entwurfsverfahren von Propellern abzusichern.

Ein *zweites Beispiel* betrifft Föttingers Idee, den Zähigkeitswiderstand von Schiffen durch Verwendung von Doppelmodellen experimentell im Schlepptank zu bestimmen und dabei den Wellenwiderstand auszuschalten:

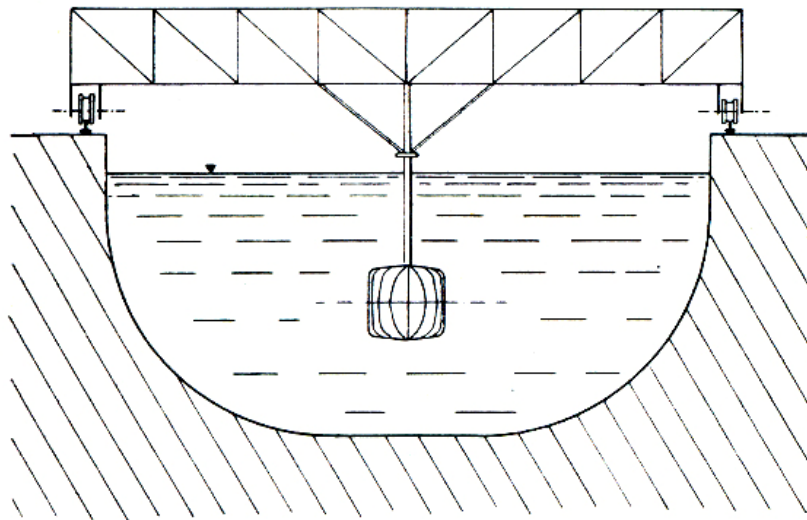


Abb. 15: Das Doppelmodell zur Bestimmung des Zähigkeitswiderstands von Schiffen

Föttingers Idee beruht auf folgendem Prinzip: Durch Spiegelung der Unterwasserschiffsform an der Schwimmwasserlinie wird ein Doppelmodell definiert, das dann tiefgetaucht geschleppt wird. Dabei fällt der Wellenwiderstand der Schiffsform weg, so dass der reine Zähigkeitswiderstand gemessen werden kann. Dies Verfahren fand Anwendung bei der Entwicklung von Zähigkeitswiderstandslinien im Modellversuchswesen.

Will man Föttingers Wirken in der wissenschaftlichen Vertiefung der Strömungsmechanik unter ein Motto stellen, so zitiert man am besten Föttinger selbst [8]:

„Der Kern des Fortschritts liegt in der starken Betonung der *physikalischen Denkungsweise*, die dem Ingenieur das Allerwichtigste, eine *gesunde reale Vorstellung*, und die daraus folgende *Erklärung* und Voraussage der *tatsächlichen Vorgänge*, die richtige Folge von

Ursache und Wirkung und eine quantitative Abschätzung der Entstehung und Fortbildung von Strömungen auch in verwickelten Fällen vermittelt“.

Der Wissenschaftler: Anwendungen

Das *Anwendungsspektrum* von Föttingers strömungsmechanischen Arbeitsgebieten zeigt ebenfalls ein große Vielfalt von Themen, z.B.:

- Strömungsmaschinen, Turbomaschinen,
- Propellerentwurf,
- Fahrzeugwiderstand,
- Fahrzeuggetriebe (schaltungs- und kupplungslos),
- Schnelltriebwagen mit Turboübertragung (1932/33),
- Luftwiderstand von Gebäuden und Schiffsaufbauten,
- Spülverfahren für Zweitaktmotoren,
- Tunnellüftung,
- Magnus-Effekt/ Flettner-Rotor,
- Windkraftanlagen (seit ca. 1939).

Abb. 16: Arbeitsgebiete Föttingers in den Anwendungen

Auch hierzu nur ein kleines Beispiel:



Abb. 17: Das Föttinger-Prinzip im PKW: Föttingers Versuchswagen Mercedes 8/35 (nach Leutz [20])

Föttinger hatte in diesem Fahrzeug im Eigenbau einen Föttinger-Wandler installiert und war so in der Lage, die Motorleistung auszunutzen und stets bei geeigneter Motordrehzahl ein möglichst hohes Drehmoment auszuüben.

4. Nachwirkungen

Der Grundgedanke des Föttinger-Prinzips kam nach dem Zweiten Weltkrieg nochmals zu einer zweiten Blüte und, man kann sagen, zu seiner vollen Reife, und zwar auf anderen technischen Anwendungsgebieten als von Föttinger ursprünglich vorhergesehen, jedenfalls weit über die Schiffsantriebstechnik hinausgehend, wenn auch von ihm schon erahnt. In den Entwicklungen, die besonders vielfältig von der Fa. Voith Turbo GmbH vorangetrieben worden sind, kann man außer dem Wandler zwei weitere Fälle von Anwendungen unterscheiden:

- Die Föttinger-Kupplung:

Die Hydrodynamische Kupplung mit Leistungsübertragung arbeitet bei konstantem Moment (1:1-Wandler), und mit gewandelter Drehzahl. Der Leitapparat ist hierbei entbehrlich. Die Kupplung wirkt stoß- und drehschwingungsdämpfend. Sie erlaubt ein sanftes Anfahren. Sie ist seit etwa 1919 patentiert. Heute wird sie vorwiegend in Fahrzeugen und industrieller Antriebstechnik eingesetzt.

- Die Strömungsbremse (Retarder):

Ein feststehender Sekundärteil verzehrt Strömungsenergie und verwandelt sie in Wärme. Der Retarder wird in Sicherheitsbremssystemen bei Bahn, Bus und LKW angewendet.

Ich verweise hierzu auf das folgende Referat von Volker Middelman und auf das ausgezeichnete Buch [21], das Hermann Schweickert im Auftrage der Voith Turbo GmbH herausgegeben hat.

5. Verbandsarbeit

Föttinger hat vielfältig in Verbänden mitgearbeitet und sich dabei hervorragend engagiert. Hervorgehoben seien:

- Seine Mitgliedschaft und aktive Mitarbeit in der Schiffbautechnischen Gesellschaft (seit etwa 1902). Er hielt allein acht Vorträge auf Hauptversammlungen.

- Seine Mitgliedschaft im VDI seit 1900, im Berliner Bezirksverein seit 1924. Er war Vorsitzender des Berliner Bezirksvereins 1930/31. Er tat sich besonders hervor durch sein Engagement in der Weiterbildung von Ingenieuren und in der Unterstützung notleidender Berufskollegen.
- Er wirkte in viele Fachausschüssen mit. Er war von 1930 bis 1941 auch im Vorstand der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt tätig.
- Er war auch Mitbegründer der Reichsarbeitsgemeinschaft „Windkraft“ (seit 1939).

6. Ehrungen

Von den zahlreichen Ehrungen, die Föttinger erhielt, seien besonders genannt:

- Silberne Medaille der STG für hervorragende Forschungsarbeiten (1906),
- Ehrenbürgerschaft der TH Danzig (1924),
- Ehrenmitgliedschaft des Berliner Bezirksvereins des VDI (1939),
- Goldene Denkmünze der STG (1942),
- Goethe-Medaille für Kunst und Wissenschaft (1942).

Zur Goethe-Medaille sind ein paar besondere Worte geboten. Die Goethe-Medaille für Kunst und Wissenschaft wurde 1932 von Reichspräsident Hindenburg gestiftet und für besondere Verdienste, vor allem in Würdigung eines Lebenswerkes, verliehen, d.h. meist zum 65., 70. oder 75. Geburtstag usw. Ab 1934 übernahm Hitler als Staatsoberhaupt die Verleihung dieser Medaille, ähnlich wie bei anderen staatlichen Orden und Ehrenzeichen. Zwischen 1934 und 1945 wurden etwa an 600 Personen solche Medaillen verliehen. Darunter waren durchaus auch manche Personen, die Hitlers Staat und der nazistischen Ideologie sehr nahe standen. Man kann kritisch fragen, ob eine solche Verleihung, insbesondere in Föttingers Fall, noch heute als Ehrung zu betrachten ist. Für mich war dies Anlass genug, dieser Frage genauer nachzugehen. Im Bundesarchiv in Berlin befinden sich die Akten zur Verleihung der Goethe-Medaille. Föttingers Name erscheint hier 1942 anlässlich seines 65. Geburtstags ebenso wie Prandtls 1940. Leider ist Föttingers persönliche Akte sehr unvollständig und gibt keine Auskunft zu seiner Nominierung, zur Begutachtung oder zur Verleihung selbst. Man sieht höchstens aus anderen vergleichbaren Fällen, wie insgesamt verfahren wurde. Die nominierende Institution, z.B. Hochschule, richtete aus gegebenem Anlaß, meist aufgrund eines abschließenden Meilensteins im Lebenswerk, eine Nominierung an den zuständigen

Minister. Von diesem wurde eine Begutachtung veranlasst, die in den von mir eingesehenen Fällen das Lebenswerk des Kandidaten betrafen. Politische Töne oder Untertöne habe ich bei meinen Stichproben in diesen Gutachten nicht festgestellt. Ob außerdem noch eine politische Bewertung des Kandidaten eingeholt wurde, kann ich nicht beurteilen, sie war für mich nicht aktenkundig, ist aber auch nicht auszuschließen. Beurteilt man Föttingers Lebenswerk aus heutiger Sicht, so bedurfte diese Ehrung für ihn jedenfalls einer politischen Unterstützung nicht. Er selbst dürfte diese Anerkennung, die er z.B. mit Prandtl teilte, durchaus als eine aufrichtig verdiente Ehrung empfunden haben.

7. Menschliche Eigenschaften

Föttingers Eigenschaften, sein Charakter als Mensch, sein Auftreten, sein Wesen gehen aus den mir zugänglichen Unterlagen nicht mehr mit sehr genauen Konturen hervor. Belegt sind für mich folgende Aussagen:

- Von Zeitzeugen wird Föttinger als stets freundlich und liebenswürdig geschildert.
- Er war fröhlich und feierfreudig im Umgang mit Studenten.
- Aber er galt auch als elitär und anspruchsvoll in wissenschaftlichen Fragen.
- Er war sozial besonders engagiert und aktiv tätig, wie auch sein Einsatz für notleidende Kollegen bestätigt.
- Ein Zeitzeuge beschreibt ihn als „Wahr, treu und hilfsbereit“ (J.Jahn, STG 1952 [24]).
- Föttinger widmete sein Leben der Ingenieurpraxis und der Wissenschaft in Lehre und in Forschung.

8. Föttinger als brückenbauende Persönlichkeit

Föttinger wirkte fachlich und persönlich integrierend, ganzheitlich denkend und brückenschlagend als

- Ingenieur und Naturwissenschaftler,
- Erfinder und Anwender,
- Praktiker und Wissenschaftler,
- Experimentator und Analytiker,
- Maschinenbauer und Elektrotechniker,
- Genialer Konstrukteur und großartiger Lehrer.

Dies sind stark kontrastierende, nicht leicht zu verbindende Charakteristika. Dass ein Mensch wie Föttinger alle diese Eigenschaften in sich vereinigen konnte, das ist für mich das Bemerkenswerte, das Überragende und das zu Bewundernde an der Gestalt von Hermann Föttinger.

Dankwort

Ich schließe mit meinem herzlichen Dank an alle, die mir bei meinen Vorbereitungen und bei der Organisation der Veranstaltung geholfen haben. Einige davon sind auch in der folgenden Literaturlauswahl genannt.

Literatur

1. Hermann Föttinger: „Effektive Maschinenleistung und effektives Drehmoment und deren experimentelle Bestimmung“, Jahrb. der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Bd. 4, 1903, S. 441 ff.
2. Hermann Föttinger: „Die neuesten Konstruktionen und Versuchsergebnisse von Torsionsindikatoren“, Jahrb. der STG, Bd. 6, 1905, S. 135 ff.
3. „Bericht über das achte Geschäftsjahr“, Jahrb. der STG, Bd. 8, 1907, S. 51.
4. Hermann Föttinger: „Eine neue Lösung des Schiffsturbinenproblems“, Jahrb. der STG, Bd. 11, 1910, S. 157 ff.
5. Gerald James: „TURBINIA - The experiment which transformed the world's navies“, The Rolls-Royce Magazine, No. 48, März 1991.
6. Alois Riedler: „Über Dampfturbinen“, Jahrb. der STG, Bd. 5, 1904, S. 249 ff.
7. Walter Boveri: „Die Verwendung der Parsons-Turbine als Schiffsmaschine“, Jahrb. der STG. Bd. 8, 1907, S. 85 ff.
8. Hermann Föttinger: „Fortschritte der Strömungslehre im Maschinenbau und Schiffbau“, Jahrb. der STG, Bd. 25, 1924, S. 295 ff.
9. Hermann Föttinger: „Die hydrodynamische Arbeitsübertragung besonders durch Transformatoren, ein Rückblick und Ausblick“, Jahrb. der STG, Bd. 31, 1930, S. 171 ff.

10. Gustav Bauer: „Der Schiffsmaschinenbau“, zweiter Band, Abschnitt III, „Der Föttinger-Transformator“, R. Oldenbourg-Verlag, München und Berlin, 1927, S. 345 ff.
11. Hans Hermann Fernholz: „Föttinger-Getriebe“, Vortrag zum Föttinger-Festkolloquium am 9.2. 1977, VDI-Z 119 (1977), Nr. 22.
12. Hermann Frahm: „Zahnradgetriebe für Turbinen- und Motorschiffe der Werft Blohm & Voss“, Jahrb. der STG, Bd. 25, 1924, S. 81 ff.
13. Wilhelm Kutta: „Auftriebskräfte in strömenden Flüssigkeiten“, Illustrierte Aëronautische Mittheilungen, 6. Jahrg., 1902, S. 133-135.
14. Frederick William Lanchester: „Aerodynamics, constituting the first volume of a complete work on Aerial Flight“, Archibald Constable Co., London, 1907. Deutsche Übersetzung von C. und A. Runge, B.G. Teubner Verlag, Leipzig und Berlin, 1909.
15. Hermann Föttinger: „Über die physikalischen Grundlagen der Turbinen- und Propellerwirkung“, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, R. Oldenbourg Verlag, München und Berlin, 1911, S. 1-5.
16. Ludwig Prandtl: „Tragflügeltheorie“, Teile I und II, Nachr. Ges. Wiss., Göttingen, 1918, S. 151 und 1919, S. 107.
17. Hermann Föttinger: „Neue Grundlagen für die theoretische und experimentelle Behandlung des Propellerproblems“, Jahrb. der STG, Bd. 19, 1918, S. 385 ff.
18. Albert Betz: „Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust“, mit einem Zusatz von Ludwig Prandtl, Nachr. Ges. Wiss., Göttingen, math.-phys. Klasse, 1919, S. 193 ff.
19. Fritz Horn: „Theorie des Schiffes“, in Auerbach u. Hort, Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik, Bd. V, Barth, Leipzig, 1929.
20. Achim Leutz: „Hermann Föttinger (1877-1945)“, Seminarvortrag und HFI-Institutsbericht 01/2006, TU Berlin, 2006.
21. Hermann Schweickert (Hrsgb.): „Voith Antriebstechnik – 100 Jahre Föttinger-Prinzip“, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2005.
22. Andreas Dillmann, Horst Nowacki, Helmut Siekmann: „Hermann Föttinger und die Strömungstechnik“, in Schwarz, K. (Hrsgb.): „1799-1990 – Von der Bauakademie zur Technischen Universität Berlin, Geschichte und Zukunft“, Ernst&Sohn, Berlin, 2000.
23. Eike Lehmann: „Biografien zur Geschichte des Schiffbaus“, verfasst zum Anlaß des hundertjährigen Bestehens der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York usw., 1999.

24. Walter Brose: „Die Entwicklung des Föttinger-Getriebes in der Weltindustrie und im Weltverkehr“, Jahrb. der STG, Bd. 46, 1952, S. 155-173. Diskussionbeitrag von J. Jahn, S. 174.