

Das Föttinger-Prinzip

Die Wurzel für 100 Jahre ungebrochene Innovationskraft

Volker Middelman

Voith Turbo, Crailsheim

Seit mehr als 75 Jahren nutzt man im Hause Voith die Erfindungen Hermann Föttingers. Man lebt mit ihnen, und sie leben mit uns. Ständig werden sie weiter entwickelt. Viele Anwendungen und Produkte sind seit jeher aus ihnen hervorgegangen, auf der Straße ebenso wie auf der Schiene, zu Wasser und sogar in der Luft, produziert in Serien oder als Einzelexemplar. Aus einer kleinen Gruppe von Ingenieuren aus dem Turbinenbau unseres Werkes in Heidenheim, die vor mehr als 75 Jahren begeistert einen neuen Weg der Antriebstechnik gegangen sind, ist ein international tätiger Unternehmensbereich geworden, die Voith Turbo. Generationen von Ingenieuren haben seit damals ihre berufliche Lebensaufgabe in der Hydrodynamik gefunden. Die Wurzeln hierzu legte vor mehr als 100 Jahren Hermann Föttinger. Deshalb bot uns das Jahr 2005 eine willkommene Gelegenheit, das Doppeljubiläum „100 Jahre Föttinger-Prinzip“¹ und „75 Jahre Voith Antriebstechnik“ zu feiern und ein gleichnamiges Buch zu veröffentlichen. Im Vorwort dieses Buches heißt es, „... ohne Föttinger-Prinzip gäbe es Voith Turbo heute wohl kaum..., ... ohne Voith Turbo wäre die geniale Vision Föttingers aber ohne Zukunft geblieben...“. Und im weiteren Verlauf, „... eine Zukunft, die keineswegs abgeschlossen ist, sondern in den großen Herausforderungen unserer Zeit, dem nachhaltig sparsamen Umgang mit unseren Energie-Ressourcen, ihre Fortsetzung finden wird...“. Wie ideenreich und voller Herausforderungen diese Zukunft ist, soll mit diesem Beitrag gezeigt werden.

¹ Schweickert, H. (Hrsgb.): Voith Antriebstechnik. 100 Jahre Föttinger-Prinzip. Springer-Verlag 2005.



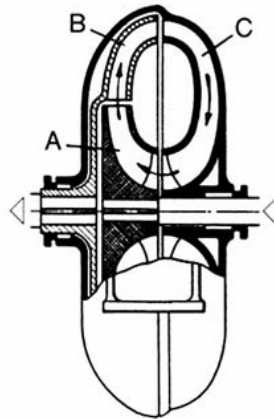
Abbildung 1: Umsatzverteilung Voith Turbo nach Produktgruppen

Die Bedeutung der Hydrodynamischen Antriebstechnik nach dem Föttinger-Prinzip für Voith Turbo verdeutlicht die Umsatzverteilung nach Produkten. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, sind im Geschäftsjahr 2006-07 ca. zwei Drittel des Umsatzes mit Produkten erzielt worden, dessen Herz eine hydrodynamische Kernkomponente ist (fett unterlegte Produkte).

Wir unterscheiden drei Bauformen der Föttinger-Aggregate (vgl. Abbildung 2), den Wandler, die Kupplung und die Bremse. Der hydrodynamische Drehmomentwandler mit mindestens einer Pumpe, einer Turbine und einem Leitrad ist sicher das bekannteste und am weitesten verbreitete Föttinger-Aggregat. Man findet ihn heute millionenfach in fast jedem Automatikgetriebe eines Pkws als hydrodynamisches Anfahrerelement. Die Grundform dieses Wandlertyps wurde bereits 1928 an der Universität Karlsruhe von den Herren Spannhake, einem früheren Mitarbeiter Föttingers, Kluge und von Sanden entwickelt. Die drei Ingenieure suchten nach einem geeigneten Wandler für Lokomotiven, weshalb der von ihnen geschaffene Wandler auch TRILOK Wandler genannt wird.



*Ur-Patentschrift
Nr. 221 422
vom 24.06.1905*



*Grundschemata des
Föttinger-
Transformators*



Bauformen der Föttinger-Aggregate

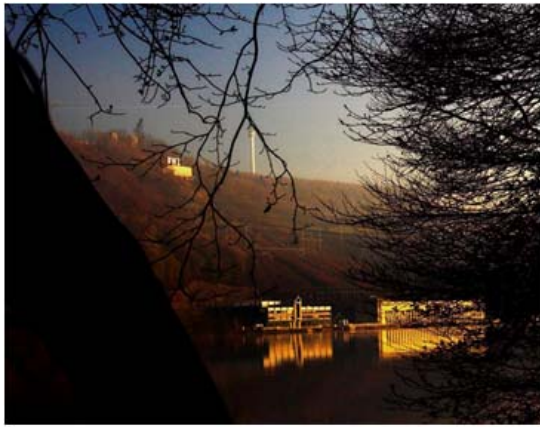
Abbildung 2: Bauformen der Föttinger-Aggregate

Die besondere Bedeutung der Hydrodynamischen Leistungsübertragung für Voith Turbo spiegelt sich nicht nur in der Umsatzverteilung wider, sondern auch in der großen Produktvielfalt. Von 1929 an breitete sich die Hydrodynamische Leistungsübertragung in allen Unternehmensbereichen mit großem Erfolg aus. Dieser Vortrag spannt einen Bogen zwischen den ersten intensiven Kontakten Föttingers mit Voith im Rahmen der Entwicklung des Pumpspeicherkraftwerkes Herdecke über einige Meilensteine der Produktentwicklung bis hin zu den jüngsten Innovationen. Hierzu gehören sowohl unsere Differentialwandler-Getriebe für Busse, das Voith DIWAbus Getriebe, unsere Wasserretarder für LKWs und Busse, das TurboSplit Getriebe für sehr leistungsstarke Diesellokomotiven als auch unser stufenlos verstellbares Überlagerungsgetriebe, der Voith VoreCon, oder unser hochdynamisch regelndes Getriebe für Windkraftanlagen, der Voith WinDrive.

Projekt Pumpeicherkraftwerk Herdecke, 1927-1930

Föttinger und Voith kommen zusammen

Föttinger hatte bereits 1906 mit Voith in Heidenheim Kontakt aufgenommen und sich nach dem Stand der Technik von Wasserturbinen erkundigt. Aber erst 1927 kam es zu einer gemeinsamen Projektarbeit im Rahmen der Entwicklung des Pumpspeicherkraftwerkes in Herdecke, für das Voith einen Auftrag für die komplette Lieferung der hydraulischen



Altes und neues Maschinenhaus des Köppchenkraftwerkes in Herdecke



Die alte Turbinenhalle, heute ein Museum

Abbildung 3: Projekt Pumpspeicherkraftwerk Herdecke, 1927-1930.

Ausrüstung erhalten hatte. In Abbildung 3 sieht man auf dem linken Foto das alte Maschinenhaus und auf dem rechten Foto die alte Turbinenhalle mit der komplett von Voith gelieferten hydraulischen Ausrüstung. Das Pumpspeicherkraftwerk Herdecke war das erste und lange Zeit modernste Pumpspeicherkraftwerk Deutschlands. Erst 1994 wurde die Anlage stillgelegt und durch eine 150 MW Anlage ersetzt (vgl. Abbildung 3 linkes Foto rechts).

Die große technische Herausforderung war die Gestaltung und Ausführung der Anfahr- und Schaltkupplung für den Speicherbetrieb (vgl. Abbildung 4).

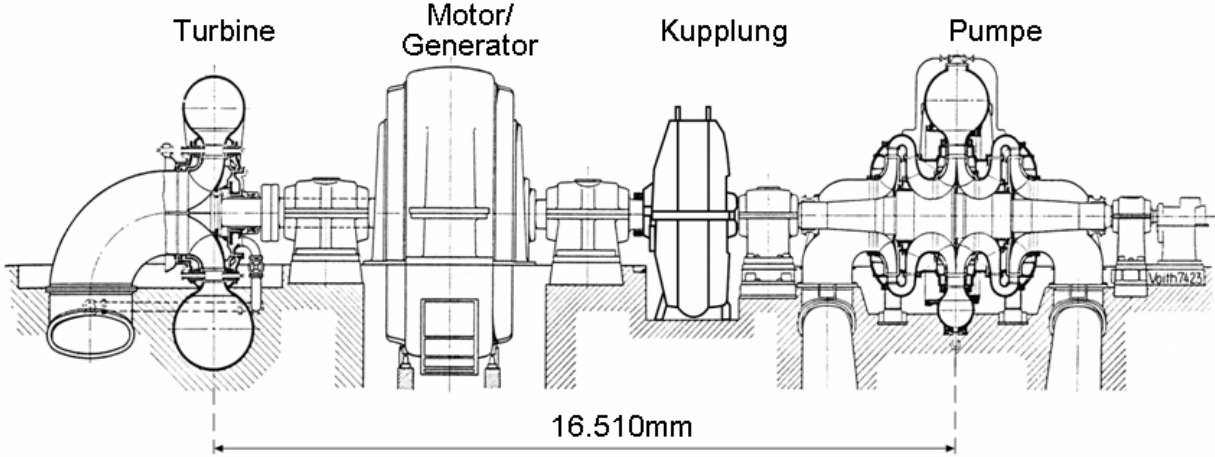
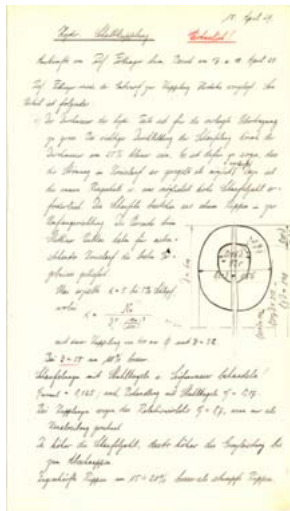
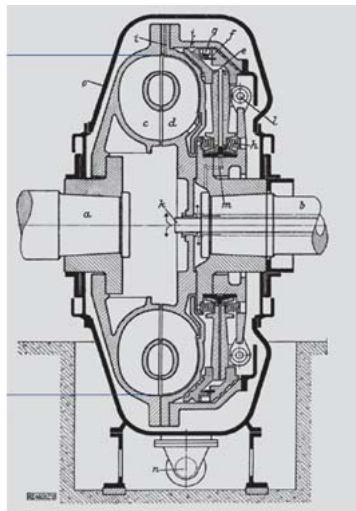


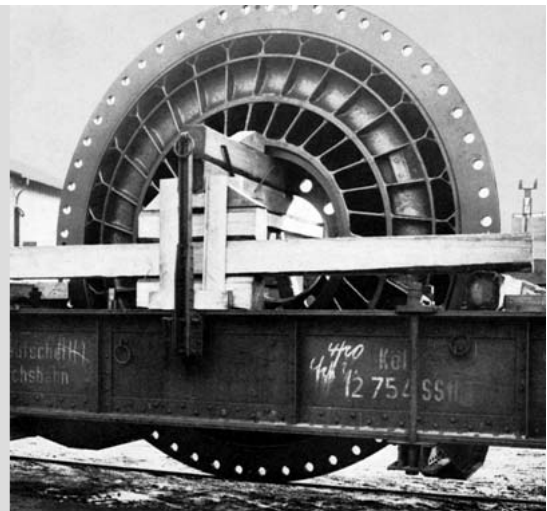
Abbildung 4: Maschinensatz des Pumpspeicherkraftwerk Herdecke



Original eines Sitzungsprotokolls zwischen Föttinger und Voith



Schnittbild der Herdecke Anfahrkupplung



Primärschaufelrad (Pumpe) der Herdecke Anfahrkupplung

Abbildung 5: Entwicklung der Föttinger-Voith Anfahrkupplung für das Pumpspeicherkraftwerk Herdecke

Die für das Pumpspeicherkraftwerk zu entwickelnde Schaltkupplung sollte bei voller Motordrehzahl die voll mit Wasser gefüllte Pumpe mit einer Leistung von 22,5 MW hoch beschleunigen und danach synchronisieren. Kupplungen für derartige Leistungen gab es damals noch nicht.

Föttinger und Voith entschieden sich für den Einsatz einer hydrodynamischen Kupplung. Abbildung 5 zeigt zum einen das Original eines Sitzungsprotokolls zwischen Voith und den damals beteiligten Projektingenieuren und zum anderen in der Mitte die Kupplung im Schnitt mit dem hydrodynamischen Kreislauf links und der mechanischen Überbrückungskupplung rechts. Rechts ist das Primärschaufelrad (Pumpe) abgebildet, auf dem Weg von Heidenheim nach Herdecke.

Voith DIWA Getriebe für Straßenfahrzeuge

Im Jahr 1949 wurde das erste vollautomatische Omnibusgetriebe unter dem Namen DIWAbus vorgestellt. Der Name steht für Differential-Wandler und deutet auf die in Abbildung 6 mittels der Diagramme erläuterte Funktionsweise hin. Die mechanische Eingangsleistung wird mittels eines Verteilgetriebes auf die Pumpe eines Drehmomentwandlers geleitet oder direkt mechanisch weiter geleitet. Die Leistungsteilung erfolgt in Abhängigkeit von der

Ausgangsdrehzahl n_2 . Ist diese 0, so wird die Eingangsleistung zu 100% hydrodynamisch übertragen. Mit steigender Sekundärdrehzahl steigt auch der mechanisch übertragene Leistungsanteil bis schließlich der Wandler mechanisch mit Hilfe der Bremse überbrückt wird.

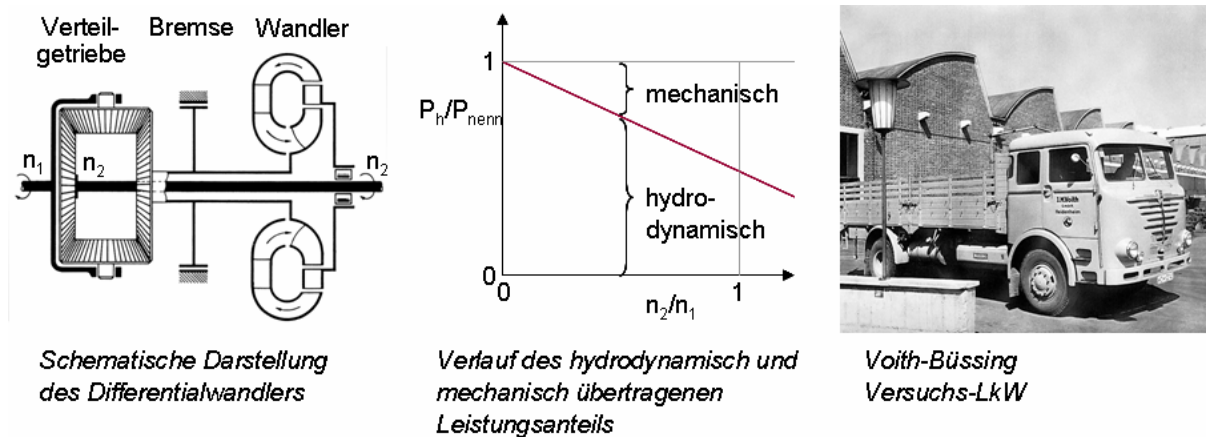


Abbildung 6: Hydrodynamisches Getriebe mit Differentialwandler, Voith DIWAbus Getriebe

Das moderne DIWA.₅ Getriebe, das 2004 vorgestellt wurde, ist ein moderner 4-Gang Automat mit integrierter Retarderfunktion. Die max. Eingangsleistung beträgt 290 kW bei einem max. Eingangsmoment von 1600 Nm (vgl. Abbildung 7).



*MAN Doppeldeckerbus
MAN Lion's City 2005
mit DIWA.₅*

*DIWA.₅
4 Gang Automatikgetriebe
inklusive Retarder*

Abbildung 7: DIWA.₅ Getriebe, ab 2004

Voith Strömungsbremsen (Retarder) für Busse und Lkw

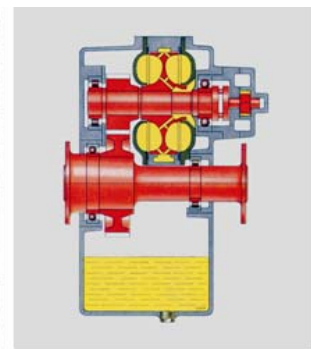
Anfang der 60er Jahre hatte Otto Kässbohrer, der Fabrikant der berühmten Setra-Busse, ein Problem mit der Standfestigkeit seiner mechanischen Bremsen für seine Busse. Als er zufällig, auf einem Bahnhof stehend, die Zügeinfahrt beobachtete, wunderte er sich darüber, dass er keine Quietsch- und Kreischgeräusche der Bremsen hörte. Es gab sie auch nicht mehr. Er erkundigte sich und erfuhr, dass Voith Erfahrungen mit Strömungsbremsen hatte und diese auf Güterzug-Lokomotiven in den Rocky-Mountains einsetzte. Er wandte sich direkt an die Getriebeentwicklung mit folgender Bitte: „... im Omnibusbau ist eine hydraulische Dauerbremse als verschleißlose 3. Bremse ein dringendes Bedürfnis ... die heutigen Radbremsen reichen zwar gerade noch aus, ... sie werden aber bei Dauerbremsungen stark überlastet. ... ich wäre Ihnen dankbar, wenn Sie prüfen würden, ob Sie eine Möglichkeit zur Schaffung einer solchen Vorrichtung sehen ...“



Otto Kässbohrer



Setra Typ S12 mit Retarder B 180
Automobil Ausstellung 1965



Retarder B 180M

Abbildung 8: Voith Strömungsbremsen (Retarder), ab 1965

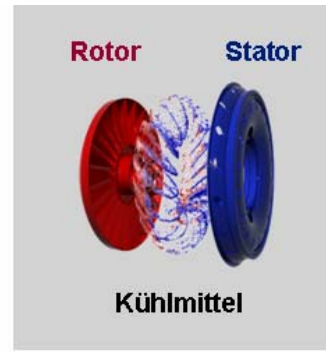
Die Voith Ingenieure prüften und überlegten nicht lange sondern stellten Herrn Kässbohrer einen Prototyp vor, der in einem Setra Typ S12 1965 auf der Automobilausstellung vorgestellt wurde (vgl. Abbildung 8). Bis heute hat Voith ca. eine halbe Million Retarder verkauft. Die modernsten Entwicklungen sind Aquatarde, die mit der Kühlflüssigkeit des Motors arbeiten. Die anfallende Bremswärme wird sofort über das Kühlsystem des Fahrzeugs abgeführt (vgl. Abbildung 9).



*MAN Nutzfahrzeug
mit Voith Aquatarder*



Aquatarder



*Funktionsweise
Aquatarder*

Abbildung 9: Voith Aquatarder, ab 2004

Obwohl Spannhake als Mitarbeiter Föttingers in seinem Prüffeld bereits 1910 einen Retarder benutzte, dauerte es bis in die 60er Jahre, ehe der Retarder sich industriell durchsetzen konnte.

Voith Maxima mit TurboSplit Getriebe

Wie aus verschiedenen Presseberichten bekannt, hat Voith die stärkste Diesellok der Welt entwickelt, die Voith Maxima. Die Motorleistung beträgt bis 4 MW und die mögliche Höchstgeschwindigkeit beträgt 160 km/h. Zur Übertragung derart großer Leistungen und Drehmomente sind sechs angetriebene Achsen notwendig. Nach bisherigem Stand der Technik müsste man zwei Motoren und zwei Getriebe einsetzen. Mit dem Voith Konzept kommt man mit einem Motor und einem Getriebe aus. Das hierzu neu entwickelte TurboSplit Getriebe verteilt die Leistung auf die zwei Drehgestelle der Lok mit den jeweils drei getriebenen Achsen (vgl. Abbildung 10).



Voith Maxima



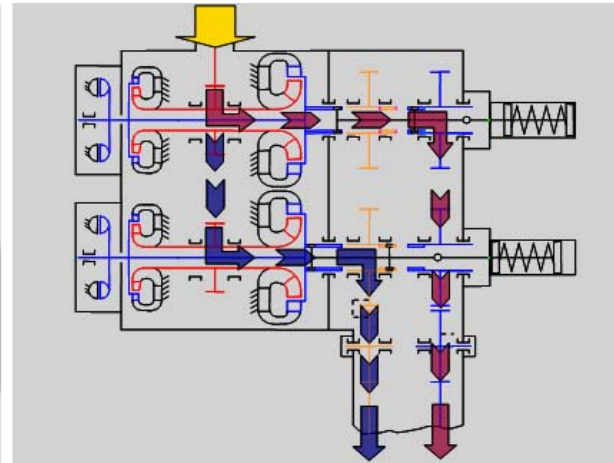
*Voith TurboSplit Getriebe
LS 460 reU2 und KBD 385*

Abbildung 10: Lokfamilie Voith Maxima mit TurboSplit Getriebe

Die gleichmäßige Verteilung der Leistung ist nur mit einem beliebig elastischen Bindeglied möglich, wozu sich ein integrierter hydrodynamischer Wandler besonders gut eignet. Im Falle des TurboSplit Getriebes werden sogar zwei Wandler eingesetzt. Während des Anfahrens erfolgt die Leistungsübertragung mittels eines auf diesen Betriebszustand ausgelegten Anfahrwandlers. Ein zweiter Wandler übernimmt den Fahrbetrieb (vgl. Abbildung 11). Die Umschaltung erfolgt durch Befüllung und Entleerung der Wandler. Überhaupt werden bei diesem Getriebekonzept keine Zahnräder geschaltet.



Voith TurboSplit Getriebe
LS 460 reU2 und KBD 385



Voith TurboSplit Getriebe
Getriebeschema

Abbildung 11: Voith TurboSplit Getriebe

Überlagerungsgetriebe, Voith VoreCon®

Die hydrodynamische Leistungsübertragung ermöglicht einen weiteren Superlativ in der modernen Antriebstechnik.

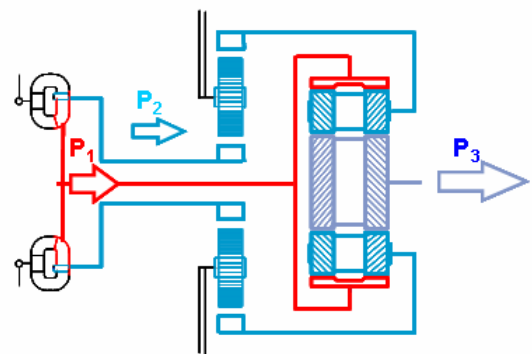
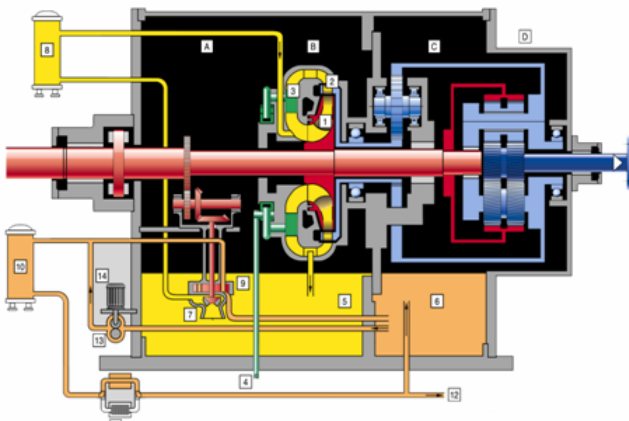


Abbildung 12: Voith Überlagerungsgetriebe (Vorecon®), ab 1985

Mit Hilfe des Prinzips der Leistungsüberlagerung können stufenlos verstellbare Getriebe bis 30 MW und mehr realisiert werden. Das ist weltweit einmalig. Mittels eines hydrodynamischen Drehmomentwandlers mit verstellbaren Leitschaufeln wird ein Teil der mechanischen Eingangsleistung abgezweigt und in einem Umlaufgetriebe wieder überlagert. Somit ist in weiten Betriebsbereichen eine stufenlose Drehzahlwandlung möglich (vgl. Abbildung 12). Benötigt werden derartige Getriebe überall dort, wo zur Förderung großer Stoffströme die Aggregate im optimalen Drehzahlbereich betrieben werden müssen, wie zum Beispiel bei Kesselspeisepumpen im Kraftwerk oder bei Kompressoren und Gebläsen in der Öl- und Gas-Industrie (vgl. Abbildung 13).



Abbildung 13: Überlagerungsgetriebe Voith Vorecon® - Einsatzbeispiele

Getriebe für Windkraftanlagen, Voith WinDrive®

In jüngster Zeit hat sich dieses Getriebekonzept ein völlig neues Einsatzfeld erobert. In Windkraftanlagen drehen die Rotoren mit einer an die Windgeschwindigkeit angepassten Drehzahl. Nur so ist eine optimale Ausnutzung der Windenergie möglich (vgl. Abbildung 14 mittleres Diagramm). Die aus dieser variablen Drehzahl erzeugte elektrische Leistung wird mit Frequenzumrichtertechnik auf die konstante Netzfrequenz gewandelt. Die hierzu erforderlichen Komponenten sind teuer, relativ schwer und im Vergleich zu der hier vorgestellten Technologie störungsanfällig. Zudem, und das ist der wesentliche Punkt, ist die erzielbare Stromqualität mit den nicht zu vermeidenden Oberwellen unbefriedigend. Die Netzbetreiber wünschen sich zur Stromerzeugung einfache und robuste Synchrongeneratoren, wie sie auch in konventionellen Kraftwerken eingesetzt werden. Voraussetzung hierzu ist, dass die variable Rotordrehzahl in eine konstante Generatordrehzahl gewandelt wird. Hierzu

ist ein sehr schnell verstellbares Getriebe notwendig.



Aufbau der ersten Windkraftanlage mit Voith Windrive® im Dezember 2006

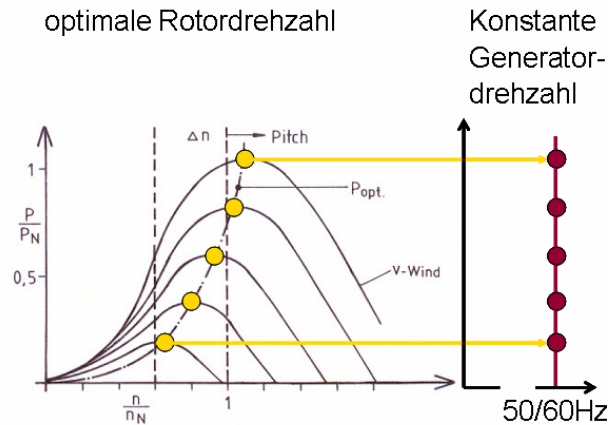


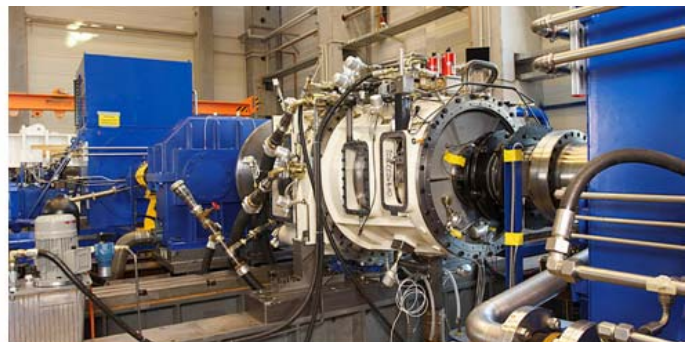
Diagramm zur Bestimmung der optimalen Rotordrehzahl als Funktion der Windgeschwindigkeit

Abbildung 14: Grundidee für den WinDrive®

Der WinDrive, der sich das oben beschriebene Funktionsprinzip der Leistungsüberlagerung zu Nutze macht, erfüllt diese Anforderungen in idealer Weise. Erste Windkraftanlagen sind mit dieser neuen Technologie ausgerüstet und befinden sich in der Erprobungsphase (vgl. Abbildung 15).



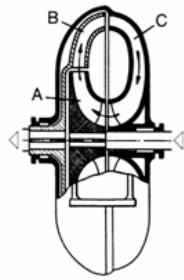
Montage des ersten WINDRIVE® Prototyp in der Gondel im Dezember 2006



Erster WINDRIVE® auf dem 6,3MW Getriebeprüfstand in Crailsheim

Abbildung 15: Getriebe für Windkraftanlagen

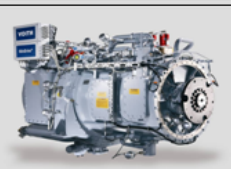
Die Entwicklung der hydrodynamischen Antriebstechnik bei Voith war stets und wird auch in Zukunft gekennzeichnet sein durch ein kreatives Spannungsfeld zwischen Markt und Technologie.



Die Herkunft:
*Ur-Patent mit Entwurfszeichnung
 Motorschiff „Föttinger Transformator
 1909 von Stettin nach Hamburg*



**WinDrive;
 Getriebe für
 Windkraftanlagen**



**TurboSplit;
 Getriebe für Loks
 mit hoher Leistung**

**Diwa.5 Automatik-
 getriebe und
 Retarder für
 Lkw und Busse**



Die Zukunft
*Moderne und innovative Produkte nach
 dem Föttinger Prinzip*

Abbildung 16: Zukunft hat Herkunft

Nur so können wir sicher sein, dass immer wieder neue Produkte entstehen, die alte und neue Probleme noch ein bisschen besser lösen. So entstanden, auch 100 Jahre nach der Patentanmeldung Hermann Föttingers, gerade auch in jüngster Zeit so innovative Produkte wie der hoch dynamisch regelnde Winddrive für Windkraftanlagen, das Turbosplit Getriebe für die stärkste Diesellokomotive der Welt oder das moderne DIWA.5 Getriebe für Busse oder der Aquatarder für Busse und Lkw.

Unsere Zukunft hat Herkunft. Hierüber sind wir stolz und Hermann Föttinger zu Dank verpflichtet.