

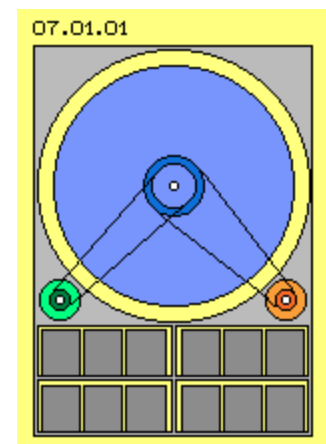
07.01. Keller-Windrad

Zielsetzung

Mechanisches Drehmoment kann erzeugt werden, indem eine Fluidströmung an den Schaufeln einer Turbine umgelenkt und verzögert wird. Luftströmung ergibt bei dieser Technik nur geringes Drehmoment, weil dieses leichte Medium nur geringe Masse bzw. Dichte aufweist. Durch Luftströmung kann jedoch auf indirekte Weise eine sehr viel stärkere Kraft genutzt werden, die des normalen atmosphärischen Druckes - wie für Auf- bzw. Vortrieb an Tragflächen-Profilen praktiziert, ob am Flugzeug, an einem Segel oder durch ein Windrad.

Zielsetzung dieses Kapitels ist die Konzeption einer Maschine, bei welcher autonom generierter Wind dazu verwendet wird, an den Vorder- und Rückseiten eines Tragflächen-Profiles unterschiedlich schnelle Strömungen zu organisieren und die daraus resultierende Differenz statischen Druckes zum Antrieb des Motors sowie einen Überschuss für externe Zwecke zu nutzen.

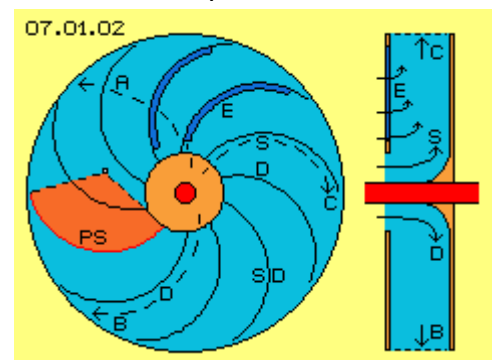
Mein 'Traum' ist noch immer, im Keller meines Häuschens Platz zu schaffen für ein simples Windrad, ein Dutzend Auto-Batterien, einen Anlasser als Antrieb und einen Generator zur Speisung der Batterien (etwa wie in Bild 07.01.01 grob skizziert ist). Die elektronische Steuerung wäre ziemlich einfach und mein Energiebedarf wäre gedeckt, wenn nur ein paar kW ständig verfügbar sind.



Gern auch würde ich eine solche Maschine selbst zusammen bauen, beispielsweise aus leichten Kunststoff-Formteilen. Ich beschreibe nachfolgend, wie die Sache anzugehen ist - und zu Weihnachten 2008 nehmen ich gern den Bausatz entgegen. Viele andere würden dafür sogar den Rechnungsbetrag ihrer Energie-Kosten der nächsten paar Jahre bezahlen.

Basis Spiral-Kanal

Im früheren Kapitel 05.11. wurde ein 'Spiral-Kanal-Motor' beschrieben, dessen Wirkprinzip hier als Pumpe verwendet werden soll. In Bild 07.01.02 sind links ein Querschnitt und rechts ein Längsschnitt durch dieses Bauelement schematisch dargestellt.



Wie bei gängigen Radialpumpen wird Luft auf spiralförmiger Bahn aus einem mittigen Einlass nach außen gefördert (siehe gestrichelte Kurve A). Die Schaufeln dieser Pumpe PS können als Kreisbogen geformt sein (siehe rot markiertes Kreissegment). Hier sind beispielsweise zehn solcher Schaufeln angeordnet. Die Luft wird entlang der Druckseite D (im Drehsinn des Systems die Vorderseite des Schaufelblatts) nach außen gedrückt (siehe gestrichelte Kurve B). Zugleich wird die Luft nach außen zunehmend im Drehsinn des Systems beschleunigt (woraus obige Bahn A resultiert).

Jede Pumpenschaufel hat eine Druckseite D (im Drehsinn vorn) und eine Sogseite S (im Drehsinn hinten). Jeweils ein Kanal wird zwischen einer Druck- und einer Sogseite gebildet, sowie durch zwei Scheiben in axialer Richtung begrenzt. Bei normalen Radialpumpen ist die Querschnittsfläche der Kanäle angepasst an den Radius und an die Geschwindigkeit der Luftströmung. Die seitliche Begrenzung wird nach außen enger, indem diese Scheiben schräg gestellt bzw. hyperbelförmig gekrümmt sind.

Wie im Längsschnitt zu erkennen ist, verlaufen bei dieser Spiral-Kanal-Pumpe jedoch die Seitenwände parallel von innen bis außen. Der mittig eintretenden Luft steht damit nach außen hin viel zu viel Raum zur Verfügung. Besonders an den Sogseiten existiert damit fortwährend eine relative Leere, d.h. dort könnte sehr viel mehr Luft entlang streichen (siehe gestrichelte Kurve C).

Durch diese 'Fehlkonstruktion' wird also ein relatives Vakuum generiert, das für zusätzlichen Massedurchsatz zu nutzen ist. Direkt hinter den Sogseiten (also im Drehsinn dahinter) sind Öffnungen E in der linken Seitenwand angebracht. Durch diese wird zusätzliche Luft in den Kanal eingesaugt. Diese 'Falsch-Luft' folgt der Sogseite 'aus eigenem Antrieb', mühelos bis zur Schallgeschwindigkeit.

Im Querschnitt sind diese Öffnungen E bei zwei Schaufeln dunkelblau markiert. Im schematischen Längsschnitt ist oben die Situation entlang einer Sogseite S skizziert inklusiv des seitlichen, zusätzlichen Zustroms durch die Schlitze E. Im schematischen Längsschnitt unten ist die Situation entlang einer Druckseite D skizziert, welche beidseits durch geschlossene Scheiben begrenzt ist. Dort dürfen keine seitliche Öffnungen angelegt sein, weil dort die Luft aufgestaut ist und damit zur Seite hin entweichen würde.

Diese Pumpe erfordert also Kraftaufwand nur für die Förderung und Beschleunigung der direkt an der Druckseite anliegenden Luft, während der wesentliche Teil des Massedurchsatzes praktisch kostenlos erreicht wird. Hier in diesem Beispiel ist der Radius des Auslasses z.B. 2.5 mal größer als am Einlass, womit auch die Drehbewegung der Luft nahezu um das 2.5-fache beschleunigt wird. Die Kanäle bei normalen Radialpumpen müssten außen mindesten fünf mal kleinere Querschnittsflächen aufweisen. Umgekehrt werden hier vier Fünftel des Massedurchsatzes ohne mechanische Antriebskraft erreicht.

Diesen Effekt habe ich Anfang dieses Jahres in obigem Kapitel 05.11. 'Spiral-Kanal-Motor' als Behauptung veröffentlicht, als logische Schlussfolgerung bzw. dafür gezielt angelegte Konzeption. Diese Lösung wurde möglicherweise auch schon zuvor irgendwo angewandt, aber es ist höchst erstaunlich, dass diese Anwendung von Sog nicht durchgehende Praxis ist. Immerhin bin ich sehr angetan, dass durch Experimente meine Behauptung nun zweifelsfrei bestätigt wurde: mit minimalem Aufwand kann per Anwendung von Sog eine sehr starke und wohl geordnete Strömung erreicht werden. Diese Konzeption der 'Spiral-Kanäle mit Falschluff' ist dazu ein sehr geeignetes Konstruktionsprinzip.

Basis Tragflächen-Profil

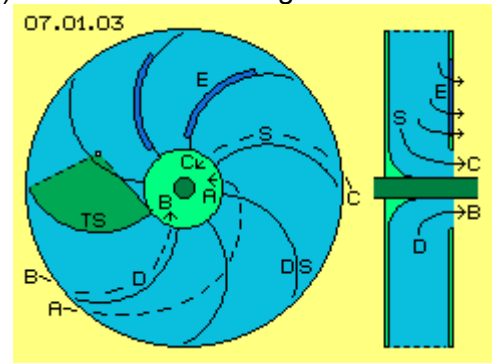
Generell denken wir in technischen Angelegenheiten vornehmlich an Druck: Pumpen müssen Fluid per Druck fördern und umgekehrt müssen Turbinen per Fluid-Druck das mechanische Drehmoment erzeugen. Freie Energie kann aber nur durch Anwendung von Sog bzw. von Nebenwirkungen erreicht werden. Gerade beim 'Phänomen' des Auftriebs an Tragflächen wird dieser Unterschied deutlich: man kann ein Flugzeug mit viel Krafteinsatz und großem Anstell-Winkel aufwärts drücken. Beim 'natürlichen' Auftrieb dagegen wird kein Druck aufgebaut, sondern Sog generiert mit autonomer Beschleunigung der Strömung und dem Nebeneffekt nahezu kostenloser Auftriebskräfte (detailliert dargestellt in früheren Kapiteln).

Aus dieser Sicht kommt es bei diesem Windrad nicht darauf an, an Turbinenschaufeln den Strömungsdruck bestmöglich zu nutzen, sondern an beiden Seiten der Schaufeln Strömungen mit möglichst großer Geschwindigkeits-Differenz zu organisieren. Der eigentliche Druck für die Umsetzung in mechanisches Drehmoment wird nicht von der Luftströmung geliefert, sondern vom atmosphärischen Luftdruck, welcher durch die schnellere Strömung an den Sogseiten reduziert wird.

Analog zum vorigen Bild der Pumpe ist in Bild 07.01.03 nun die Konzeption der Turbine schematisch dargestellt. Wiederum ist die Kontur der Turbinen-Schaufel TS als Kreisbogen angelegt (siehe dunkelgrün markiertes Kreissegment). Außen beginnt die Schaufel in relativ spitzem Winkel zur tangentialen Richtung und endet innen etwa in radialer Richtung.

Entlang der Druckseite D der Turbinenschaufel (die im Drehsinn hintere Seite der Schaufel) wird Luft einwärts gedrückt (siehe gestrichelte Kurve B). Da die Schaufel zugleich vorwärts dreht, bewegt sich die Luft auf einer spiralig-einwärts gekrümmten Bahn (siehe gestrichelte Kurve A).

Umgekehrt zur Pumpe ist hier die Sogseite S die im Drehsinn vordere Seite der Turbinenschaufel. Auch entlang dieser Fläche strömt Luft von außen nach innen (siehe gestrichelte Linie C). Diese Strömung ist insofern wertlos, als mit dieser Umlenkung nach innen kein Druck auf das Schaufelblatt ausgeübt wird, also kein mechanisches Drehmoment erzeugt wird.



Auch hier wird zwischen jeweils einer Sog- und einer Druckseite ein Kanal gebildet. Rechts im Längsschnitt sind beide Seitenwände wiederum parallel gezeichnet, so dass die Querschnittsfläche nach innen hin zunehmend kleiner wird. Die Luft wird dort eingeeengt, so dass an der Sogseite sogar Druck gegen den Drehsinn des Systems aufkommen würde.

Vorige Strömung C entlang der Sogseite kann nur indirekt zum Drehmoment beitragen und zwar durch möglichst hohe Geschwindigkeit. Diese gewölbte Fläche entspricht der Tragflächen-Oberseite, d.h. dort ist ohnehin relative Leere gegeben, in welche die Luftpartikel beschleunigt hinein fallen. Diese Leere kann verstärkt werden, wenn direkt vor dem Schaufelblatt Öffnungen E in der seitlichen Wand angebracht sind und dort Luft abgesaugt wird. Die Luftpartikel fliegen dann mit noch größerer Geschwindigkeit über die Sogseite dieser Schaufel hinweg.

Das mechanische Drehmoment ergibt sich dann aus der Differenz statischen Druckes an beiden Schaufelseiten: relativ langsame Strömung an der Druckseite (mit entsprechend hohem statischen Druck) und sehr viel schnellere Strömung auf der Sogseite (mit entsprechend reduziertem statischen Druck).

In diesem Bild sind wiederum zwei dieser Öffnungen E im Querschnitt dunkelblau markiert, jeweils direkt vor dem Schaufelblatt. Der schematische Längsschnitt zeigt wiederum keinen Schnitt in gerader Linie, sondern entlang einer gekrümmten Schaufel. Oben ist die Situation vor der Sogseite S skizziert, wo von dieser Fläche die Luft seitlich abfließen kann (siehe Pfeile E). Unten im Längsschnitt ist die Situation an der Druckseite D eines Schaufelblattes skizziert. Hier gibt es keinen vorzeitigen seitlichen Abfluss, vielmehr kann die Luft erst durch den inneren Auslass-Bereich abfließen (siehe Pfeil B).

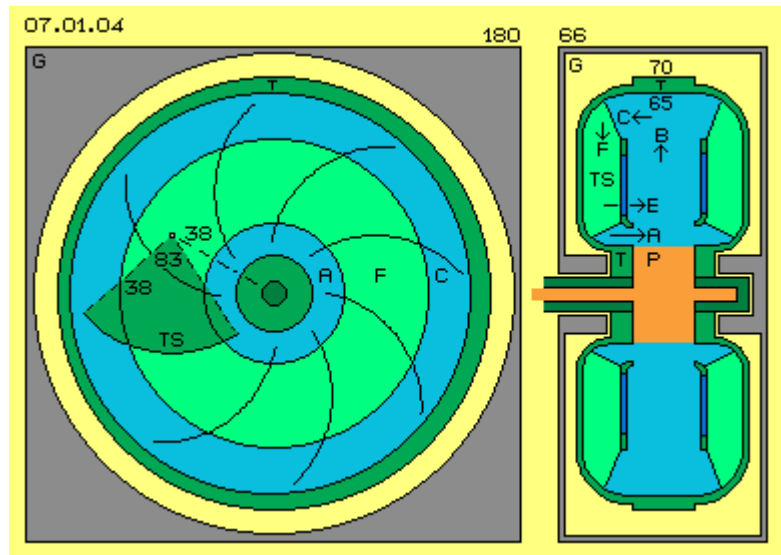
Damit die Strömungen entlang beider Schaufelseiten möglichst differenziert ausgebildet sind, sollte der Abstand zwischen den Schaufeln nicht zu gering sein. Bei voriger Pumpe wurden beispielsweise zehn Schaufeln eingesetzt, während hier bei der Turbine (zunächst) nur acht Schaufeln angebracht sind.

Obige Pumpe und diese Turbine sind analog angelegt, beide mit gleichbleibender Breite von innen bis außen, beide mit einer geschlossenen und einer teilweise offenen seitlichen Begrenzung. Wenn beide Komponenten direkt nebeneinander angeordnet werden, ergänzen und verstärken sie gegenseitig ihre Bewegungsprozesse.

Grundkonzeption der Turbine

In vorigen Kapiteln wurde erkannt, dass symmetrische Anordnung effektivere Abläufe und günstigere Bauformen ergibt. Wenn eine Komponente die andere komplett umschließt, kann sich das Fluid nur noch in einem geschlossenen System bewegen. Bei Luft als Arbeitsmedium muss dieses System allerdings nicht komplett luftdicht abgeschlossen sein, vielmehr sollte der aktuelle atmosphärische Druck auch innerhalb der Maschine anstehen.

In Bild 07.01.04 ist zunächst die Grundkonzeption der Turbine dargestellt, während die Pumpe nur angedeutet ist. Vom Gehäuse G (grau) ist nur der Teil dargestellt, welcher das Windrad umfasst (also ohne Gehäuse für Getriebe, Motor, Generator, Batterien, Steuerung usw.). Dieses Gehäuse ist beispielsweise 180 cm hoch und breit und rund 66 cm tief. Die Luft zwischen Gehäuse-Innenseite und dem Windrad wird auch in drehender Bewegung sein. Damit dort keine störenden Wirbel aufkommen, sollte die Innenseite des Gehäuses eine runde Kontur aufweisen.



Im Gehäuse drehbar gelagert ist die Turbine T (grün), welche die Pumpe P (rot, nur mittig teilweise eingezeichnet) umfasst. Die Welle der Pumpe dreht innerhalb der Hohlwelle der Turbine, beide Wellen sind nach außen geführt für den An- und Abtrieb der Maschine. Die Turbine ist insgesamt ringförmig, in diesem Beispiel etwa 57 cm breit und mit einem äußeren Radius von rund 70 cm (so dass zum Gehäuse hin ausreichend Raum für obige mit-drehende Luft gegeben ist).

Der Innenraum reicht nach außen bis etwa Radius 65 cm und ist rund 53 cm breit. Dieser Innenraum wird seitlich, innen und außen durch plane Begrenzungen gebildet, wobei jeweils die Ecken gerundet sind. Die Turbinen-Schaukeln TS (hellgrün) verlaufen jeweils entlang der äußeren Begrenzung und reichen bis zur Mittelwand mit ihren Öffnungen E (dunkelgrün bzw. dunkelblau).

Im Querschnitt links sind acht Turbinenschaufeln TS eingezeichnet. Sie sind als Kreisbogen mit Radius 38 cm angelegt, wobei der Kreismittelpunkt ebenfalls 38 cm von der Systemachse entfernt ist. Die Schaufeln beschreiben ein Kreissegment (dunkelgrün markiert) von etwa 83 Grad. Sie verlaufen außen in spitzem Winkel zur tangentialen Richtung und reichen dort bis in die äußere Rundung hinein. Sie enden innen in radialer Richtung und reichen etwas in die innere Rundung hinein.

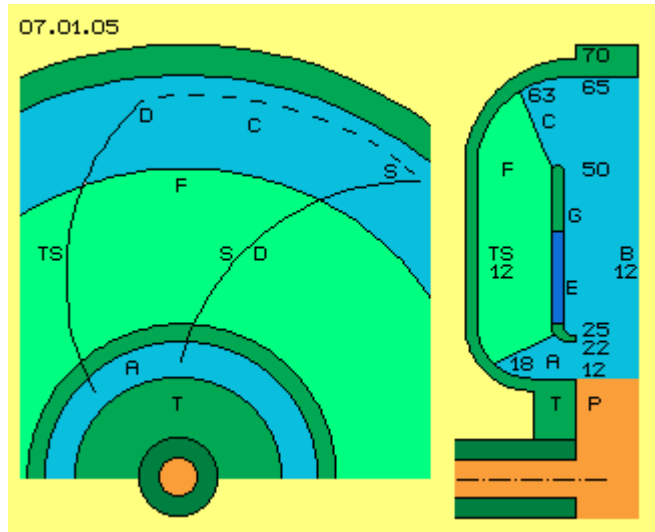
Die Luft F fließt zwischen den Schaufeln von außen nach innen, teilweise durch die Öffnungen E nach rechts und die restliche Luft durch den inneren Auslass A aus der Turbine ab. Im Bereich der Pumpe fließt die Luft B wieder auswärts und zurück zum Einlass C der Turbine. Dieser Kreislauf findet auf lang gestreckten Spiralbahnen in Form eines Ring-Wirbels statt.

Abmessungen der Turbine

In Bild 07.01.05 ist ein Ausschnitt der Turbine in größerem Maßstab abgebildet. Eingetragen sind einige Daten dieses Beispiels.

Die Turbinen T (dunkelgrün) hat einen Außen-Radius von rund 70 cm. Der innere 'Luft-Raum' reicht vom äußeren Radius 65 cm bis innen zum Radius 12 cm. Die Mittelwand G reicht von Radius 50 cm bis 25 cm, inklusiv einer Rundung auch bis etwa Radius 22 cm. Die Schaufeln TS (hellgrün) sind zwischen Außen- und dieser Mittelwand angeordnet und reichen von etwa Radius 63 cm bis Radius 18 cm. Die Turbinenschaufeln sind 12 cm breit und auch der Bereich B der Pumpe ist 12 cm breit.

Der Umfang bei Radius 63 cm ist rund 4 m und bei Radius 50 cm noch etwas mehr als 3 m lang. Bei 12 cm Breite ist der gesamte Einlass zu den Turbinenschaufeln damit fast 0.4 m^2 groß. Der Umfang unten bei Radius 25 cm ist nur noch rund 1.5 m lang und bei 12 cm Breite weniger als 0.2 m^2 weit. Direkt im Bereich des Auslasses A zwischen Radius 22 cm und 12 cm ist die Querschnittsfläche nur etwas mehr als 0.1 m^2 .



Außen am Turbinen-Einlass F kann also die Luft weiträumig einfließen, während innen am Turbinen-Auslass A nur etwa ein Viertel der Querschnittsfläche zur Verfügung steht. Die seitlichen Öffnungen E müssten also fast drei Viertel des Einlass-Querschnittes weit sein oder es müsste dort die Luft sehr viel schneller abfließen.

Fließ-Geschwindigkeiten

Der Massedurchsatz (beispielsweise durch ein Rohr) ist völlig unterschiedlich bei Anwendung von Druck oder Sog. Je mehr Druck aufgewendet wird, desto größer sind die Reibungsverluste und damit der relativ erreichbare Massedurchsatz (wie bei fast allem Fluid-Transport durch Rohre). Wenn das Fluid jedoch aus dem Rohr heraus gesaugt wird, ergibt sich bei stärkerem Sog reduzierter Widerstand und maximaler Durchsatz (bis zur Schallgrenze).

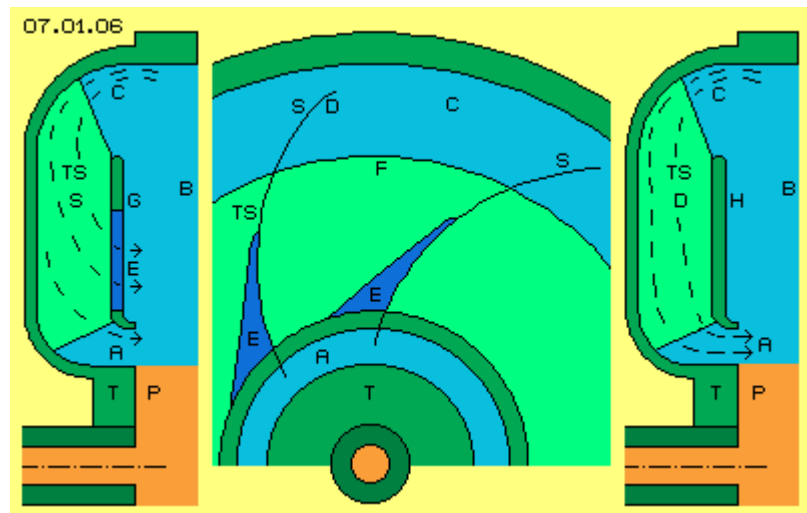
Selbst durch 'zu enge' Öffnungen ergeben sich bei Anwendung von Sog unerwartet hohe Geschwindigkeiten. Bei diesen Bewegungsprozessen in Form von Ringwirbeln existieren maximale Geschwindigkeiten nicht ganz außen am größten Radius, sondern beim Zufluss zum mittigen Wirbelkern. Diese Aussage ist nicht nur theoretisch begründet, sondern zweifelsfrei durch einfache Experimente belegt, wie auch jeder Tornado ein riesiger Ring-Wirbel ist mit maximaler Fließgeschwindigkeit unten in den Wirbelkern hinein.

Im Vergleich zu gängigen Radialturbinen stellen diese nach innen hin viel zu engen Querschnitte eine 'Fehl-Konstruktion' dar. Ausreichend Luft kann hier jedoch aus den seitlichen Öffnungen E abfließen. Weil dort Luft abgesaugt wird, ergeben kleinere Querschnittsflächen entsprechend höhere Strömungsgeschwindigkeiten. Gerade durch 'zu enge' seitliche Öffnungen wird die Luft entlang der Turbinen-Sogseiten wesentlich schneller fließen.

In Bild 07.01.06 ist in der Mitte nochmals obiger Ausschnitt eines Querschnitts dargestellt, wobei hier nun die Öffnungen E (dunkelblau) eingezeichnet sind. Diese Öffnungen beginnen außen schmal und werden nach innen weiter. Bei Radius 25 cm ist die Öffnung etwa halb so lang wie der Umfang zwischen den Schaufeln (alternative Anordnung siehe später).

Links im Bild ist ein entsprechender Längsschnitt dargestellt und durch gestrichelte Linien sind Bahnen der Luft entlang der Turbinen-Sogseite S skizziert. Die Masse der Luft wird sich außen entlang der Turbinen-Innenseite C bewegen, um dann nach rechts durch die Öffnungen E abzufließen. Diese Strömung von außen nach innen wird nicht verzögert, sondern beschleunigt statt finden. Nur ein Rest der Luft entlang der Sogseite wird durch den inneren Auslass A abfließen.

Rechts im Bild ist die Situation nahe der Druckseite D der Turbinenschaufeln skizziert und wiederum der prinzipielle Bahnverlauf der Strömung durch gestrichelte Linien eingezeichnet. Auch hier wird die große Masse der Luft außen entlang der Turbinen-Innenwand fließen. Auch entlang der Druckseiten fließt die Luft zunächst an diesem rechten Rand am schnellsten. Die Mittelwand H ist hier geschlossen, so dass die Luft nur durch den inneren Auslass A abfließen kann. Dieser Auslass ist relativ eng, so dass dort die Luft aufgestaut wird. Entlang der Druckseite wird die Strömung somit wesentlich langsamer sein, d.h. wesentlich höherer statischer Druck anstehen als an der Sogseite.

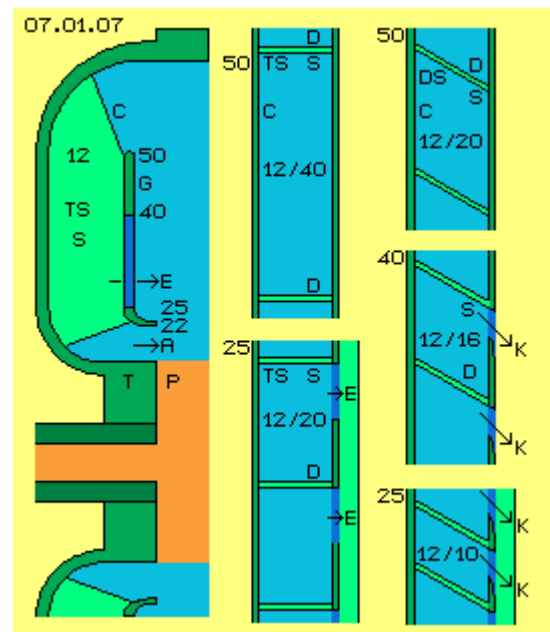


Diagonale Schaufeln

In Bild 07.01.07 ist links noch einmal ein Ausschnitt der Turbine T (dunkelgrün) und der Sogseite S einer Turbinenschaufeln TS (hellgrün) dargestellt und einige Daten sind eingetragen. In der mittleren und rechten Spalte des Bildes sind Querschnittsflächen eingezeichnet.

In vorigen Beschreibungen wurden nur acht Turbinenschaufeln vorgeschlagen, damit zwischen Sog- und Druckseiten eine große Distanz gegeben ist und damit unterschiedliche Strömungen erreicht werden. Am Radius 50 cm ist der Umfang etwa 314 cm, so dass zwischen den acht Schaufeln jeweils eine Distanz von fast 40 cm gegeben ist. Auf 12 cm Breite steht der Luft damit eine große Fläche am Einlass C der Turbine zur Verfügung (siehe mittlere Spalte oben).

Innen bei Radius 25 cm ist dieser Kanal mit rund 20 cm nur noch halb so lang. Die Öffnung E (dunkelblau) ist dort etwa 10 cm lang. Durch diese Öffnung fließt Luft von der Sogseite ab, während die Luft entlang der Druckseite erst durch den inneren Auslass A abfließen kann. Insofern existiert mehr als genügend Raum für differenzierte Strömungen.



Nachteilig an dieser Lösung ist, dass diese Öffnungen E weit auseinander liegen (siehe mittlere Spalte unten). Die Luft tritt dort jeweils als separater Strahl aus, so dass keine rundum geschlossene Strömung gegeben ist. Damit ergeben sich im Innenraum Strömungsabrisse bzw. eigenständige Wirbel mit nachteiligen Folgen. Wünschenswert wäre aber eine rundum gleichförmige Strömung aus den Kanälen heraus zum Bereich der Pumpe hin. Die wesentlich bessere Lösung hierfür ist in der rechten Spalte dieses Bildes dargestellt.

Die Breite der Kanäle ist unverändert 12 cm, aber die Anzahl der Turbinenschaufeln ist auf sechzehn verdoppelt. Die Querschnittsfläche bei Radius 50 cm ist somit 12 cm breit und noch etwa 20 cm lang (siehe rechts oben). Außerdem stehen nun die Turbinenschaufeln TS (hellgrün) nicht mehr senkrecht zur Seiten- und Mittelwand (dunkelgrün), sondern sind in einem Winkel von 30 Grad angestellt. Die Querschnittsfläche weist damit die Form eines Parallelogramms auf.

Bei Radius 40 cm ist die Querschnittsfläche noch 12/16 cm groß (siehe rechts mittig). Dort beginnt die Öffnung K (dunkelblau), direkt bei der Sogseite S, etwa 4 cm breit. Durch den Pfeil ist angezeigt, dass nun die Luft entlang der Sogseite in diagonaler Richtung nach rechts fließen kann.

Bei Radius 25 cm ist die Querschnittsfläche noch immer 12 cm breit, aber nur noch 10 cm lang (siehe rechts unten). Die Hälfte dieser Länge wird von der Öffnung K eingenommen. Wenn die (im Drehsinn) vordere Kante dieser Öffnung gerundet oder etwas nach links gebogen ist, ergibt sich dort eine nahezu durchgängige Strömung diagonal-vorwärts aus der Turbine heraus in den Bereich der Pumpe.

Die Mittelwand G (dunkelgrün) stellt also zwischen Radius 50 cm und 40 cm eine geschlossene Scheibe dar, zwischen Radius 40 cm und 25 cm ist diese Scheibe teilweise unterbrochen durch die Öffnungen K (dunkelblau). Zwischen Radius 25 cm und 22 cm ist die Mittelwand wieder eine geschlossene Fläche, allerdings gekrümmt und etwa 3 cm nach rechts reichend. Unterhalb dieses gerundeten Ringes befindet sich der innere Auslass A.

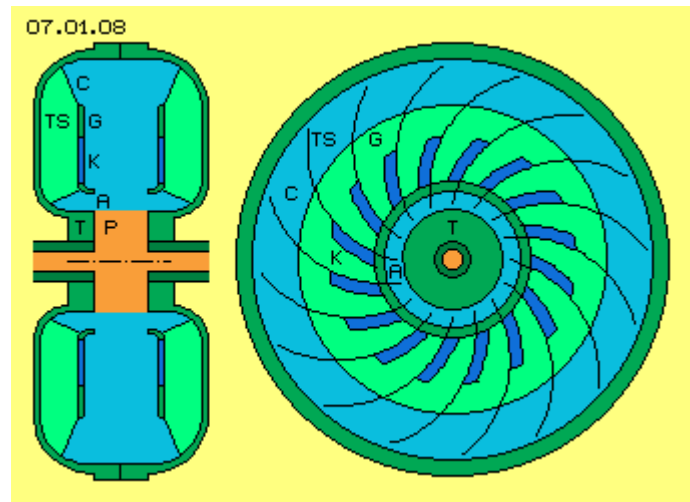
Vorteilhafte Diagonal-Strömung

Oben in Bild 07.01.06 bei C wurde angesprochen, dass die Luft aus der Pumpe vorwiegend entlang der Innenseite der Turbine fließt. Wenn sie in diese schräg angestellten Schaufeln eintritt, wird sie diagonal über diese hinweg weiter zur Mitte hin strömen (hier im Bild also nach rechts), so dass auf den Schaufelflächen der Druck gleichförmiger verteilt wird. Genau in diese Richtung diagonal-einwärts bzw. -vorwärts wird sie durch die schneller drehende Pumpe aus den Turbinenkanälen abgesaugt. Ohne wesentliche Richtungsänderung fließt also die Luft diagonal über die Sogseiten und durch die Öffnungen K auf diagonalen, spiralförmigen im Raum gekrümmter Bahn. Weil diese Öffnungen eigentlich 'zu eng' angelegt sind, ergibt sich dort eine hoch beschleunigte Strömung. An den Sogseiten der Turbinenschaufeln ist damit der statische Druck reduziert.

Diese Öffnungen geben nur der Luft entlang der Sogseiten die Chance zum vorzeitigen seitlichen Abfluss. Entlang der Druckseiten verteilt sich die Luft ebenfalls in diagonaler Richtung, diese Luft bleibt aber 'eingeklemmt' im Winkel zwischen Druckseite und geschlossener Mittelwand. Diese Luft kann auch nur verzögert durch den relativ engen inneren Abfluss A abfließen. An den Druckseiten lastet damit wesentlich höherer statischer Druck als an den Sogseiten.

Sechzehn Turbinenschaufeln weisen natürlich doppelt so große Oberfläche auf wie vorige acht Schaufeln. Die Druckdifferenz kann damit auf größerer Fläche wirksam werden. Es gibt damit aber auch doppelt so viele Öffnungen K. Wenn deren vordere Kanten gerundet oder leicht in die Turbinenkanäle hinein gekrümmt sind, ergibt sich eine praktisch rundum gleichförmige Strömung zur Pumpe hin.

In Bild 07.01.08 ist nun die Turbine mit den oben diskutierten Elementen komplett dargestellt, in etwas kleinerem Maßstab, links im Längs- und rechts im Querschnitt durch die Systemachse. Durch den weiten Einlass C fließt Luft in die sechzehn Kanäle zwischen den Turbinenschaufeln, passiert den geschlossenen Ring G der Mittelwand, wird teilweise und nur entlang der Sogseiten durch die Öffnungen K abgesaugt. Diese Öffnungen stehen relativ dicht nebeneinander und die diagonal austretende Luft ergibt insgesamt eine rundum gleichförmig drehende Strömung. Nur die restliche Luft entlang der Druckseiten fließt durch den inneren Auslass A ab.



In dieser Turbine findet damit ein Massedurchsatz auf sehr strömungsgünstigen Bahnen statt, auch bedingt durch die runde Form aller Oberflächen. Diese sind hier aber so einfach gestaltet, dass sie aus Metall-Blech zu bauen wären, optimal jedoch aus Kunststoff-Formteilen sehr leicht und ausreichend stabil zu bauen sind.

Optimales Windrad

Gängige Windräder mit ihren langen Flügeln bestreichen eine riesige Fläche, können aber die Windenergie nur mit drei schmalen Tragflächenprofilen nutzen. An der Sogseite der Profile wird die Strömung beschleunigt, an der Druckseite etwas verzögert und achteraus bilden sich damit beschleunigt eindrehende Wirbel. Diese wandern mit dem Wind nach hinten, ziehen aber auch Luft vor dem Windrad in kreisend turbulente Strömungen. Der nächste Flügel darf in diesen Bereich erst eintreten, wenn der ganze Wirbelzopf achteraus gewandert ist.

Wenn hinter dem Windrad eine Luftbewegung per Sog generiert wird, werden diese störenden Wirbel mit abgesaugt und es können mehr Flügel eingesetzt werden. Strömung per Sog lässt sich kostengünstig generieren und somit wäre ein Sog-Windrad sehr effektiv und unabhängig vom natürlichen Wind zu betreiben.

Jahrelang habe ich nach einer Lösung gesucht, aber das generelle Problem nicht wirklich lösen können: wenn man Luft von der Sogseite absaugt ist kaum zu vermeiden, dass zugleich Luft von der benachbarten Druckseite abgezogen wird. Erst diese diagonale Anstellung der Profile in Verbindung mit seitlichem Absaugen von Luft entlang der Sogseiten und dem getrennten Abfluss der Luft entlang der Druckseiten stellt die wirkliche Lösung dar.

Die Profile könnten sogar noch stärker gekrümmt sein als hier dargestellt. Da die Strömungen im wesentlichen diagonal über die Flächen streichen, erscheint die Krümmung länger gestreckt. Zudem gibt es bei Sog keinen Strömungsabriss. In jedem Fall aber sollten alle Strömungen entlang der Druckseiten in diesem Winkel zusammen gepresst werden. Die Druckdifferenz zwischen Sog- und Druckseite der Flächen ist damit wesentlich größer als an jedem frei drehenden normalen Windrad.

Letztlich nur experimentell zu ermitteln wird die optimale Relation der Querschnitte im Einlass-Bereich, der seitlichen Öffnungen und des Abflusses sein. Diese ist andererseits auch Abhängig von den Drehzahlen der Turbine und Pumpe und auch von der Konzeption der Pumpe, die nun zu diskutieren ist.

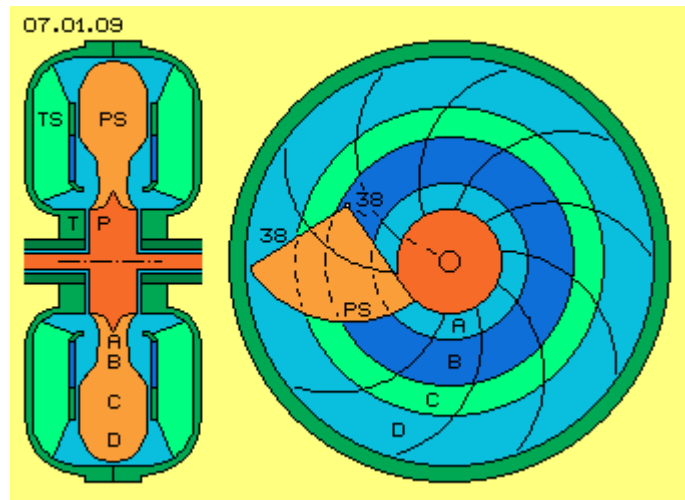
Grundkonzeption der Pumpe

Oben bei Bild 07.01.02 wurde die Spiral-Kanal-Pumpe beschrieben, deren Querschnittsflächen nach außen hin viel zu weit sind in Relation zum relativ engen inneren Einlass. Das wesentliche Merkmal dieser Pumpe ist also die seitliche Zufuhr von 'Falschluff'. Ohne zusätzlichen Kraftaufwand wird damit ein wesentlich größerer Massedurchsatz erreicht, weil diese Luft 'aus eigenem Antrieb' der zurückweichenden Sogseite folgt.

Hier nun ergibt sich dieser seitliche Zustrom aus den Öffnungen in der Mittelwand zwischen Turbine und Pumpe. Die Pumpe selbst braucht darum keine teilweise offene Seitenwand mehr bzw. die seitliche Begrenzung an den Druckseiten der Pumpe sind nur noch rudimentär ausgebildet. In Bild 07.01.09 ist die Grundkonzeption dieser Pumpe schematisch skizziert, links im Längs- und rechts im Querschnitt durch die Systemachse.

Die Welle der Pumpe P (dunkelrot) ist links und rechts in der Hohlwelle der Turbine T (dunkelgrün) gelagert. Im Raum zwischen den beiden Turbinenrädern TS (hellgrün) befinden sich die Pumpenschaufeln PS (hellrot) mit einer 'löffel-förmigen' Kontur.

Diese Schaufeln sind gekrümmt als Kreisbogen, wiederum mit einem Radius von 38 cm (siehe hellrotes Kreissegment), dessen Mittelpunkt 38 cm von der Systemachse entfernt ist. Zehn solcher Pumpenschaufeln sind hier eingezeichnet. Diese Pumpe soll Luft vorwiegend per Sog fördern und Sog breitet sich rückwärts in der Strömung widerstandslos aus. Diese zehn Schaufeln bieten entsprechend weiten Zwischenraum und sind damit vollkommen ausreichend.



Es sind hier Bereiche von A bis D gekennzeichnet, innerhalb welcher die Pumpenschaufeln unterschiedliche Funktion haben. Im Bereich A wird die Luft aus dem inneren Turbinenauslass erfasst und im Drehsinn beschleunigt (weil die Pumpe prinzipiell schneller dreht als die Turbine). Im Bereich B ist die Schaufel zunächst noch relativ schmal und lässt damit der aus den seitlichen Öffnungen der Turbine abfließenden Luft genügend Bewegungsraum. Aber auch hier wird durch die schnellere Drehung der Pumpe diese Luft im Drehsinn des Systems zumindest indirekt beschleunigt.

Weiter nach außen wird die Pumpenschaufel breiter und nimmt dann die ganze Breite zwischen den dort geschlossenen Mittelwänden ein. In diesem Bereich C wird die Luft nun vorwiegend durch die Sogseiten der Pumpenschaufel nach außen-vorwärts gezogen. Im Bereich D hält diese Sogwirkung an, andererseits wird die Luft nun gegen die Innenwand der Turbine gedrückt, so dass sie seitlich auseinander fließt zum Einlass des linken und rechten Turbinenrades.

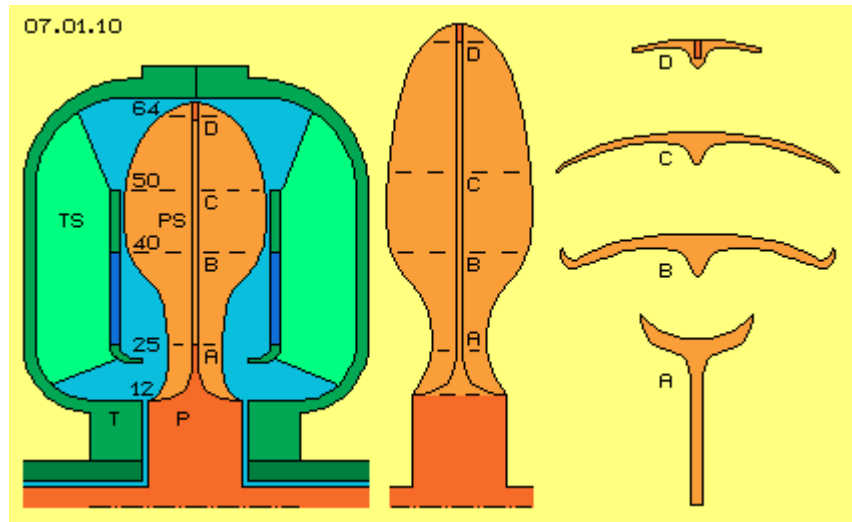
Sog-Löffel

In Bild 07.01.10 ist voriger Längsschnitt noch einmal in größerem Maßstab gezeichnet, auch vorige Bereiche A bis D sind gekennzeichnet und einige Radien eingetragen. Die Pumpenschaufeln sind so breit wie beide Turbinenräder, also rund 24 cm bzw. inklusiv eines Mittel-Steges etwa 25 cm. Da beide Turbinen-Hälften bei Radius 12 bis 22 cm jeweils etwa 3 cm zur Mitte hin reichen, ist die Pumpe von der Achse bis Radius 12 cm etwa 18 bis 19 cm breit.

Die Pumpenschaufeln reichen von Radius 12 cm bis nahe an die Innenwand der Turbine, also bis etwa Radius 64 cm nach außen, in radialer Richtung also rund 52 cm lang. Die kreisbogenförmig gekrümmte Länge der Pumpenschaufeln ist rund 60 cm und diese Abwicklung mit der damit etwas gestreckten Kontur ist in diesem Bild in der Mitte dargestellt. Rechts daneben sind Querschnitte durch die Pumpenschaufel an den jeweils gekennzeichneten Stellen skizziert, in vergrößertem Maßstab.

Durch den inneren Auslass der Turbine fließt maximal ein Viertel des umgesetzten Luftvolumens. Die Pumpe ist ab Radius 12 cm gerundet, so dass diese Luft entlang dieses Wulstes nach auswärts gelenkt wird. Die Pumpenschaufeln basieren auf diesem 'Schaufel-Fuß', der bis zum Radius 25 cm nach außen reichen kann. Die Schaufeln sind dort relativ schmal, beispielsweise nur 8 cm breit. Im Bild rechts unten ist der Querschnitt A der Schaufel dargestellt.

Die Kanten der Druckseiten (im Drehsinn vorn) weisen nach vorn und bilden eine Rinne. Hinten bilden diese Schaufeln einen Rücken, der bis zur nachfolgenden Schaufel reicht (voriger Schaufel-Fuß bis Radius 25 cm). Die Schaufeln erfassen



vorn in dieser Rinne eine Teilmenge der Luft. Der Abstand zwischen den Schaufeln ist dort aber schon rund 15 cm, so dass der größere Teil Luft nur indirekt bzw. durch die Rückseite der Pumpenschaufeln im Drehsinn mit gerissen wird. Die Pumpe muss generell keine 'ruhende Luftmasse' in Beschleunigung versetzen, vielmehr kommt auch dort innen die Luft schon diagonal und vorwärts drehend aus der Turbine.

Bis etwa Radius 40 cm nimmt die Breite der Schaufeln zu, von diesen 8 cm auf 24 cm, also um das Dreifache (wenn der mittige Steg nicht mitgerechnet wird). Zugleich erweitert sich dort der Umfang von rund 1.5 m auf rund 2.5 m. Die innen durch die Schaufel-Rinne erfasste Luftschicht ist an diesem Radius 40 cm viel dünner. Wie rechts bei Querschnitt B ersichtlich, wird die Luft nur noch durch eine kleine, nach vorn weisende Kante an dieser Druckseite gehalten.

Bei Radius 25 cm bildet die Schaufel praktisch den 'Löffel-Stiel'. Bis Radius 40 cm wird vorige Rinne 'umgestülpt', so dass nun die runde Außenseite des Löffels im Drehsinn nach vorn weist. Diese Pumpe ist im wesentlichen nicht auf Druck ausgelegt (wozu seitliches Abfließen nicht zweckdienlich wäre), vielmehr soll diese hohle Sogseite die Luft hinter sich her ziehen (und sie folgt widerstandslos dieser zurück-weichenden Wand).

Permanent drehender Ringwirbel

Zwischen Radius 25 cm und 40 cm greift die Schaufel durch zunehmende Breite in die Luftströmung ein. Entsprechend zum größeren Radius bewegt sich die Schaufel nach außen zunehmend schneller im Raum. Die Schaufel wird aber auch dort kaum Beschleunigung der Luft per Druck ausüben müssen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass im Bereich der seitlichen Öffnungen der Turbinen-Mittelwand die Luftströmung ihre maximale Geschwindigkeit im ganzen System aufweist - eben wegen des 'Düsen-Effekts' der eigentlich zu engen Öffnungen.

Die Pumpenschaufeln geben dieser Strömung zunächst genügend Raum, fügen sich dann zunehmend in diese Strömung ein und ziehen die Luft an ihren Sogseiten nach außen. Dieser Zug vorwärts-auswärts existiert auch im Bereich zwischen Radius 40 cm und 50 cm, dort entlang der geschlossenen Mittelwände. Wie rechts im Querschnitt C ersichtlich, bleibt die Krümmung des Schaufelprofils gleich, es gibt aber spätestens bei Radius 50 cm keine Begrenzung durch seitliche Kanten mehr.

Weiter nach außen wird die Wölbung flacher, wie der Querschnitt D etwa bei Radius 62 cm zeigt. Die Schaufeln werden zunehmend schmaler und geben die Luft frei in seitliche Richtung zum Einlass des linken und rechten Turbinen-Rades. Die dichteste und schnellste Strömung wird in einer rundum geschlossenen Schicht entlang der Turbinen-Innenwand fließen, von den runden 'Löffelspitzen' zur Seite geschoben. Dies erfordert wiederum nur geringen Kraftaufwand, weil der Gegendruck weitgehend radial-einwärts gerichtet ist.

Jeder kennt die Experimente mit den 'Rauchringen', die viele Meter weit im Raum vorwärts wandern und ihre Drehbewegung beibehalten bis zu einem Hindernis. Die Luft bewegt sich in diesem System ebenfalls in Ring-Wirbeln, allerdings mit zusätzlicher Drehung um die Systemachse. Entgegen üblichem 'Druck-Denken' muss die Pumpe hier keine wesentliche Beschleunigungs-Arbeit leisten, sie wirkt mehr wie ein 'Moderator' dieses Bewegungs-Prozesses.

Luft wird in diesem System nur verzögert durch das Aufstauen in den Winkeln der Turbinen-Druckseiten. Sobald diese Luft durch den inneren Turbinen-Auslass in den Bereich der Pumpe überwechselt, kann sie sich wieder 'entspannen', d.h. fließt von sich aus wieder beschleunigt vorwärts. An den Turbinen-Sogseiten wird die Luft beschleunigt, wie an jeder Tragflächen-Oberseite oder konvex gekrümmten Oberfläche. Die 'zu engen' Öffnungen in der Mittelwand behindern zwar einen Teil der Luft, nicht aber die Luft entlang der Turbinen-Sogseiten. Durch diese Düse fließt vielmehr die Luft besonders schnell.

Die Pumpe hat vorwiegend die Funktion, bestehende Strömung wieder vorwärts-auswärts zu richten und zum Turbinen-Einlass zu führen. Nur partiell ist dabei mechanische Beschleunigung erforderlich, im wesentlichen aber folgt die Luft aufgrund ihrer internen Bewegungsenergie in Form normaler molekularer Bewegung den zurück-weichenden Sogseiten widerstandslos - und muss dazu nicht durch die Druckseite der nachfolgenden Pumpenschaufel dorthin gepresst werden.

Im Sinne einer normalen Radialpumpe ist diese Spiral-Kanal-Sog-Pumpe eine 'Fehlkonstruktion'. Den kontinuierlichen Bewegungskreislauf der Luft in diesem System hält sie aber aufrecht mit minimalem Energie-Einsatz (der im wesentlichen für Reibungsverluste notwendig ist). Mit ein paar hundert Watt kann ein Antriebsmotor diese Pumpe von rund 130 cm Durchmesser fortgesetzt in Rotation halten.

Leichtbauweise

Diese Pumpe muss keine großen Druckkräfte auf die Luft ausüben, wohl aber muss sie ihren eigenen Fliehkräften stand halten. Die Bauelemente müssen entsprechend stabil gebaut und andererseits möglichst leicht sein. Diese Schaufeln könnten aus Metall-Blechen gefertigt werden, wobei allerdings die Formen immer in drei Dimensionen gekrümmt sind. Selbst dünne Bleche erhalten damit große Stabilität. Prinzipiell aber dürften Kunststoffe besser geeignet sein für diese runden Formen.

Bei diesen Pumpenschaufeln wird der 'Löffelstiel' besonders belastet, also der Bereich von Radius 12 cm bis etwa 40 cm. Nach außen sind die Schaufeln im Drehsinn rückwärts gebogen, so dass die Fliehkräfte an einem Hebelarm wirksam werden. Die ganze Pumpe könnte mittig als Scheibe angelegt werden, an der beidseits die hälftigen Schaufelblätter befestigt sind. In den Querschnitten ist diese durchgängige Scheibe als 'Schaufelfuß' nur bis

Radius 25 cm eingezeichnet. Weiter nach außen ist sie nur ansatzweise als Rücken an der Hinterseite der Schaufelblätter gezeichnet (wobei diese Verstärkungsrippe auch an der Vorderseite angeordnet sein könnte oder auch vorn und hinten an der Schaufel).

Im Querschnitt bei Radius 62 cm bis 64 cm könnten die Fliehkräfte durch einen umlaufenden Ring abgefangen werden (als dunkelrotes Rechteck markiert). Es ist also keine vollflächige Scheibe erforderlich, sondern Material nur für einen Ring ganz innen und ganz außen sowie die Längsrippe der Schaufelblätter. Wenn beispielsweise außen umlaufend ein Stahlband angebracht wird, erhält dieses Pumpenrad ausreichend Stabilität auch bei relativ leichter Bauweise. Pumpe und Turbine zusammen werden nur wenige Kilogramm schwer sein und trotz eines Durchmessers von bis zu 140 cm mit relativ hoher Drehzahlen zu fahren sein.

Druck-Differenzen

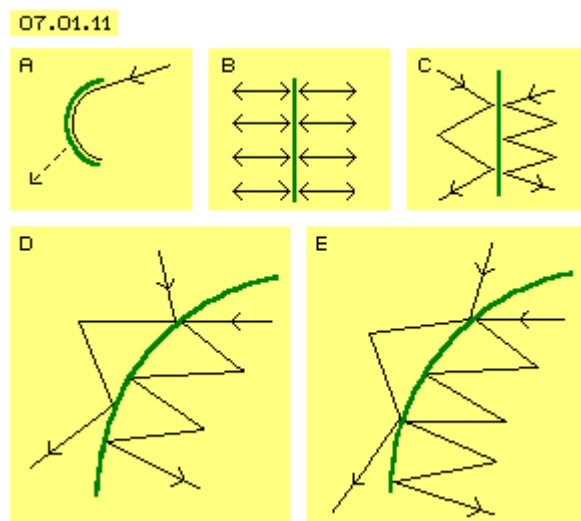
An sich sind diese Prozesse wohl bekannt, aber man muss sich immer wieder klar machen, welche große Differenz zwischen Druck- und Sog-Anwendung gegeben ist. In Bild 07.01.11 ist dieser Sachverhalt schematisch skizziert.

Bei A ist das Prinzip der Umsetzung von Strömungsdruck in mechanisches Drehmoment dargestellt, wie es beispielsweise bei einer 'Frei-Strahl-Turbine' zu nahezu hundert Prozent gelingt. Der Strahl wird an der runden Oberfläche der Turbinenschaufel (dunkelgrün) umgelenkt. Die Hälfte seiner Geschwindigkeit braucht der Strahl, um überhaupt der Schaufel folgen zu können, die andere Hälfte seiner Geschwindigkeit wird verzögert auf eben diese Turbinen-Geschwindigkeit. Das Wasser fällt dann per Gewichtskraft nach unten-vorwärts aus der Turbine.

Maximal nur die Hälfte der kinetischen Energie des Wasserstrahls ist somit in Drehmoment umsetzbar. Wenn kein völlig widerstandsloser Abfluss nach der Turbine gegeben ist (wie in praktisch allen anderen Anwendungen) ist noch weniger Energie nutzbar. Zudem bringt Luft zu wenig Masse auf die Schaufeln, so dass keine ausreichende Leistung erreicht wird.

Trotz der geringen Masse (bzw. Dichte) der Luft kann eine Strömung dennoch wirkungsvoll genutzt werden, wenngleich auf vollkommen anderer Basis. Dabei wird der Strömungsdruck nicht direkt in Drehmoment umgesetzt und die Strömung wird auch nicht verzögert. Basis ist vielmehr die 'Kraft' des normalen atmosphärischen Luftdrucks. Dieser ergibt sich nicht aus der Gewichtskraft der 'kilometer-hohen Luft-Säule' über uns, vielmehr aus der normalen molekularen Bewegung der Luft-Partikel (Details siehe Kapitel 05.13. 'Explosion / Implosion').

Bei B sind acht 'zitternde' Partikel skizziert, welche beidseits einer Wand (dunkelgrün) zwischen dieser und benachbarten Partikeln (links und rechts davon) hin und her gestoßen werden. Die Heftigkeit des Auftreffens auf die Wand wird durch die Geschwindigkeit der Molekül-Bewegung bestimmt, also durch deren Wärme. Die Häufigkeit des Auftreffens wird durch die Dichte der Luft bestimmt - und nur über diese trägt Gravitationskraft indirekt zum atmosphärischen Luftdruck bei.



In diesem Bild bei C fließt die Luft von oben nach unten entlang dieser Wand. Die Partikel zittern unverändert, nur verlagern sich die Kollisionen mit der Wand jeweils etwas nach unten. Rechts ist die Strömung langsam, ihr 'statischer Druck' seitlich gegen die Wand ist

etwas vermindert, dafür drückt die Luft mehr nach vorn in Strömungsrichtung. Links ist eine schnelle Bewegung skizziert, d.h. diese Partikel haben noch weniger Gelegenheit, auf die Wand zu schlagen, dafür üben sie mehr Druck nach vorn aus.

Je Zitterbewegung können die Partikel nur auf die Wand treffen oder in Strömungsrichtung vorwärts fliegen (bzw. eben mit anteiligen Bewegungskomponenten Druck ausüben). Die Differenz des vorwärts gerichteten Druckes (dynamischer bzw. Strömungs- bzw. Stau-Druck) der schnellen gegenüber der langsamen Strömung entspricht darum genau der Differenz ihres seitlichen (statischen) Druckes auf die Wand.

Geschwindigkeits-Differenz kommt automatisch auf, wenn eine Strömung in Richtung einer gekrümmten Fläche fließt, die Luft bei D also von oben-rechts gegen diese bogenförmige Wand anströmt. Die Leeseite (links) wird durch die Wand abgeschirmt, es entsteht dort relative Leere, in welche die Partikel längere Wege bis zur nächsten Kollision zurück legen können. Daraus ergibt sich beschleunigte Strömung. Die Partikel fliegen dabei keinesfalls schneller (wie bei Erhitzung). Sie kommen nur ungehinderter vorwärts in die Leere hinein und wenn viele in ziemlich gleiche Richtung fliegen, dann behindern sie sich auch weniger in diesem Vorwärtskommen. Sie treffen damit relativ selten gegen die Wand und generell auch in flacherem Winkel.

Umgekehrt wird auf der Luv-Seite (rechts) der verfügbare Raum für die dortigen Partikel etwas enger, d.h. sie treffen vermehrt auf die Wand, in steilem Winkel. Diese Partikel können letztlich nur nach unten abfließen und aufgrund dieser Umlenkung der Strömung ergibt sich ein gewisser seitlicher Schub auf die Wand.

Dieser Prozess findet beispielsweise am Segel statt und dort wird angenommen, dass dieser 'Winddruck' ein Drittel der Vortriebskraft ausmacht und zwei Drittel 'der Sog an Lee' beiträgt. Sog selbst aber bewirkt überhaupt keine Kraft, die relative Leere in Lee erlaubt nur höhere Geschwindigkeit und diese führt zu weniger statischem Druck auf dieser Seite des Segels. Die wirkliche Vortriebskraft resultiert ausschließlich aus dem relativ häufigeren Auftreffen molekularer Bewegung auf der Luv-Seite.

'Sog' bedeutet einen Bereich geringer Dichte, in welchem Partikel aus benachbarten Bereichen auf weniger Kollisionspartner treffen. In einer Strömung sind die Bewegungen mehrheitlich nach vorn gerichtet und darum treffen nachfolgende Partikel ebenfalls auf weniger Widerstand. Strömung hat also keinesfalls Wirkung nur nach vorn, sondern wirkt hinten wie Sog und wie dieser breitet sich der reduzierte Widerstand weit nach rückwärts aus. Die bei D skizzierte Strömung an der Lee-Seite 'zieht' darum auch Partikel aus ihrem Herkunftsbereich schneller hinter sich her. Bei E ist diese Wirkung beschleunigter Strömung durch flachere 'Zitter-Bewegungen' dargestellt.

Bei der Turbine dieses Spiral-Kanal-Windrades sind gekrümmte Schaufeln eingesetzt, entlang deren Sogseite vorige autonome Beschleunigung statt findet. Verstärkt wird dieser Effekt, indem aus den seitlichen Öffnungen Luft abgesaugt wird. Beides zusammen wirkt beschleunigend zurück bis in den Einlass-Bereich der Turbine. Dieser seitliche Abfluss entlang der Sogseiten wird durch die diagonale Anstellung der Schaufeln begünstigt. Umgekehrt wird damit zwischen Druckseite und geschlossener Mittelwand (im Drehsinn vor den Öffnungen) ein Winkel gebildet, in welchem die dortige Luft 'eingekeilt', die Strömung langsamer und damit die Differenz statischer Drücke nochmals größer wird.

Dieser Verzögerung an der Luv-Seite steht die Beschleunigung an der Lee-Seite entgegen, d.h. die anstehende Strömung wird nur differenziert, aber insgesamt nicht langsamer. Das nutzbare Druckgefälle wird also nicht durch Abbremsen der Strömung erreicht, sondern ist nur ein Nebeneffekt dieser Differenzierung. Der Nutzen ergibt sich ausschließlich aus einer

Manipulation der normalen Molekularbewegung - wobei deren kinetische Energie überhaupt nicht tangiert oder gar 'verbraucht' wird.

Mechanisches Drehmoment kann also einerseits aus Umlenkung und Verzögerung einer Strömung erreicht werden wie oben bei A schematisch dargestellt ist. Wenn z.B. eine Strömung von 20 m/s auf 10 m/s reduziert wird, tritt die Geschwindigkeit im Quadrat auf, also als Faktor $10^2 = 100$. Wenn entlang einer Wand eine Strömung mit 20 m/s gegeben ist und auf der anderen Wandseite von 10 m/s, so enthält die Druckdifferenz den Faktor $20^2 - 10^2 = 300$. Darum erzeugen beispielsweise die 'Schnell-Läufer' moderner Windkraftanlagen dreifach höhere Leistung als die (Langsam-Läufer) alter Windmühlen. Die Frage ist nun, welche Leistung dieses 'Spiral-Kanal-Windrad' als geschlossenes System mit autonom produziertem Wind erreichen kann.

Fläche und Hebelarm

Zu einzelnen Komponenten dieser Konzeption liegen durchaus experimentelle Daten vor, aber noch keine aus der Kombination dieser Pumpe und Turbine. Insofern können nachfolgende Beispiel-Berechnungen nur die zu erwartende Größenordnung aufzeigen. Eine relativ sichere Ausgangsbasis betrifft die wirksame Fläche und den Hebelarm.

Die Turbinenschaufeln sind rund 60 cm lang, als wirksam ist aber nur die Länge von 25 cm in radialer Richtung zwischen Radius 25 cm und 50 cm angesetzt. Die Schaufeln sind diagonal angeordnet, die wirksame Fläche ist aber nur die Breite von 12 cm. Die projizierte Fläche einer Schaufel ist also $25 * 12 = 300 \text{ cm}^2$. Die jeweils sechzehn Schaufeln beider Turbinen-Hälften ergeben somit $2 * 16 * 300 = 9600 \text{ cm}^2$, also eine Gesamtfläche von fast einem Quadratmeter.

Die Schaufeln weisen nur innen in radiale Richtung, bei Radius 50 cm aber z.B. im Winkel von 45 Grad zur radialen Richtung. Eine auf diese Fläche drückende Kraft wirkt nur innen im Drehsinn des Systems, außen nur mit Faktor 0.7. Insgesamt wird hier darum ein Faktor von 0.85 angesetzt, gleichbedeutend mit einer komplett radial stehenden Fläche von rund 0.8 m^2 .

Die Kraft wirkt an einem Radius von 25 cm bis 50 cm, die stärkeren Kraftkomponenten aber innen. Als gewichteter Mittelwert wird hier Radius 33 cm angesetzt, die Länge des wirksamen Hebelarms also mit 0.33 m angenommen.

Druck-Differenz und Drehmoment

Der dynamische Druck bzw. Strömungsdruck wird nach der Formel $P = 0.5 * \text{Dichte} * \text{Geschwindigkeit im Quadrat}$ berechnet. Als Dichte der Luft wird hier 1.2 kg/m^3 angenommen. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von z.B. 20 m/s ist der Strömungsdruck $P = 0.5 * 1.2 * 20^2 = 240 \text{ kg/ms}^2$. Bei einer Geschwindigkeit von 30 m/s ergeben sich 540 kg/ms^2 . Wenn Strömungen dieser Geschwindigkeiten beidseits entlang einer Wand streichen, ist die Differenz beider dynamischen Drücke gleich der Differenz des statischen Andrucks, hier also $540 - 240 = 300 \text{ kg/ms}^2$. Dieser Druck wirkt auf obige Fläche von 0.8 m^2 mit einer Kraft $F = 300 * 0.8 = 240 \text{ N}$. Diese wird wirksam an obigem Hebelarm von 0.33 m, so dass ein Drehmoment $M = 240 * 0.33 = 80 \text{ Nm}$ anliegt.

Da in diesen Berechnungen die Geschwindigkeit im Quadrat eingeht, steigt dieses Drehmoment bei Strömungen höherer und differenzierterer Geschwindigkeiten progressiv an. Bei 45 m/s ist $P = 0.5 * 1.2 * 2025 = 1215 \text{ kg/ms}^2$, also 675 kg/ms^2 mehr als bei 30 m/s, die auf die wirksame Schaufelfläche wirksame Kraft also $F = 675 * 0.8 = 540 \text{ N}$ und am Hebelarm wird damit ein Drehmoment von $M = 270 * 0.33 = 180 \text{ Nm}$ wirksam (gegenüber vorigen 80 Nm).

Strömung, Drehzahl, Leistung

Die letztlich resultierende Leistung der Maschine ist stark abhängig von der Drehzahl der Pumpe und Turbine, sowie den relativen Strömungsgeschwindigkeiten, die dabei erreicht werden. Einen Einblick in die Zusammenhänge kann folgendes Beispiel geben.

Wenn die Pumpe mit 1500 rpm dreht, finden 25 Umdrehungen je Sekunde statt. Der Umfang am Radius 65 cm ist rund 4 m, so dass die Pumpe eine Strömung von rund 100 m/s liefert. Wenn die Turbine mit 900 rpm gefahren wird, finden 15 Umdrehungen je Sekunde statt. Bei Radius 50 cm ist der Umfang rund 3 m lang, der Einlass zur Turbine dreht also mit 45 m/s im Raum. Die Luft aus der Pumpe tritt mit einer Relativ-Geschwindigkeit von 55 m/s in die Turbinen-Kanäle ein.

Die Luft an den Druckseiten der Turbinenschaufeln wird etwas verzögert durch den relativ engen mittigen Auslass, und fließt entlang der Druckseite im Mittel beispielsweise mit 45 m/s. Umgekehrt wird die Strömung in den relativ engen seitlichen Öffnungen aufgrund 'Düsen-Effekt' stark beschleunigt. Wenn die Pumpe außen am weiten Umfang die Luft mit 100 m/s im Raum vorwärts bewegt, wird sie aus dem engen inneren Raum Luft mit wesentlich höherer Geschwindigkeit ansaugen. Das mag seltsam erscheinen, aber Luft fliegt bis zur Schallgrenze hinter jeder zurückweichenden Wand her und, wie oben nochmals erwähnt, wirkt dieser Sog in der Strömung zurück.

Es wird in diesen 'Düsen' zumindest eine Geschwindigkeit von ebenfalls 100 m/s herrschen (bei vorsichtiger Betrachtung). Relativ zur Turbinenschaufel fließt Luft also am Einlass mit 55 m/s ein und unten mit 100 m/s seitlich ab. Als Mittelwert über die gesamte wirksame Fläche können 75 m/s angenommen werden. An der Druckseite der Schaufel fließt Luft also mit nur 45 m/s entlang, an der Sogseite aber mit 75 m/s.

Wie oben bereits ermittelt ergeben 45 m/s einen Staudruck von 1215 kg/ms^2 . Bei Geschwindigkeit 75 m/s ist $P = 0.5 * 1.2 * 5625 = 3375 \text{ kg/ms}^2$, die Differenz also 2160 kg/ms^2 , wirksam auf der Fläche von 0.8 m^2 mit der Kraft $F = 2160 * 0.8 = 1728 \text{ N}$ und am Hebelarm von 0.33 m wirksam als Drehmoment $M = 1728 * 0.33 = 576 \text{ Nm}$.

Die Leistung wird berechnet nach Formel Drehmoment * Drehzahl / 9550. Bei obiger Turbinen-Drehzahl von 900 rpm ergibt sich eine theoretische Leistung $P = 576 * 900 / 9550 = 54.3 \text{ kW}$. Zum Antrieb werden nur ein paar hundert Watt erforderlich sein, während mechanische Reibung und interne Wirbel die Leistung auf zwei Drittel bzw. rund 36 kW reduzieren können. Selbst wenn nur die Hälfte mit rund 27 kW als Dauerleistung übrig bliebe, ist das mehr als ausreichend für die Energie-Versorgung eines Wohnhauses.

In folgender Tabelle ist vorige Berechnung mit den Drehzahlen 1500 / 900 rpm von Pumpe / Turbine aufgelistet (Spalte 3), wobei für Antrieb und sonstige Verluste etwa ein Drittel der theoretischen Leistung angesetzt wurde. Daneben sind entsprechende Werte bei 1200 / 720 rpm von Pumpe / Turbine dargestellt, wo etwa 20 kW verfügbar sind (Spalte 4). Selbst bei den geringen Drehzahlen von 900 / 540 rpm ist noch mit einer Netto-Leistung von rund 7 kW zu rechnen (Spalte 5). Die Schwelle für autonomen Betrieb dürfte bei etwa 600 / 360 rpm gegeben sein (Spalte 6).

Diese Berechnungen gehen von vorsichtigen Schätzungen aus, können aber nur die generelle Größenordnung vermitteln. Lediglich ein Ergebnis dürfte klar erkennbar sein: dieses Spiral-Kanal-Windrad bringt schon bei moderaten Drehzahlen ausreichend Leistung z.B. für die Energie-Versorgung eines Hauses - wobei höhere Drehzahlen oder größeres Bauvolumen die Leistungsgrenze weit nach oben rücken.

Nur experimentell wird sich die beste Relation der Drehzahlen von Pumpe und Turbine ermitteln lassen, wobei das Optimum in verschiedenen Drehzahlbereichen durchaus

unterschiedlich sein kann. Wenn die Turbine relativ langsam dreht, fließt die Luft schneller in die Schaufeln, d.h. höhere Druckdifferenzen ergeben sich, andererseits ist das Drehmoment bei kleiner Drehzahl geringer. Hier wurde eine Relation von 5 : 3 als ein vermutlich brauchbarer Mittelwert angenommen.

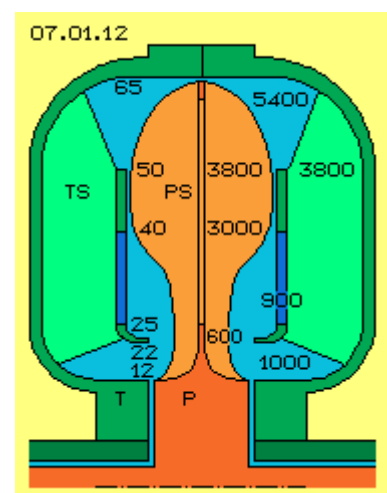
| | | | | | |
|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Drehzahl - Pumpe/Turbine | rpm | 1500 / 900 | 1200 / 720 | 900 / 540 | 600 / 360 |
| V - Pumpe/Turbine/Einlass | m/s | 100 / 45 / 55 | 80 / 36 / 44 | 60 / 27 / 33 | 40 / 18 / 22 |
| V - Druckseite / Sogseite | m/s | 45 / 75 | 36 / 62 | 30 / 45 | 20 / 30 |
| P - Druckseite / Sogseite | kg/ms ² | 1215 / 3375 | 778 / 2306 | 540 / 1215 | 240 / 540 |
| P - Differenz stat. Druck | kg/ms ² | 2160 | 1528 | 675 | 300 |
| Druck F = P * 0.8 m ² | N | 1728 | 1222 | 540 | 240 |
| Moment M = F * 0.33 m | Nm | 576 | 407 | 180 | 80 |
| Leistung theoretisch | kW | 54.3 | 30.7 | 10.2 | 3.0 |
| Antrieb und Verlust | kW | 18.3 | 10.7 | 3.2 | 2.0 |
| Leistung real etwa | kW | 36.0 | 20.0 | 7.0 | 1.0 |

Mysteriöse Beschleunigung

Manchem mag die 'wundersame Beschleunigung' der Strömungsgeschwindigkeit an der Sogseite mysteriös erscheinen. Niemand wundert sich aber über den Drehmoment-Erhaltungssatz: ein um eine Achse rotierender Festkörper bekommt selbstverständlich höhere Winkelgeschwindigkeit, wenn er auf kürzeren Radius geführt wird. Auch hier wird Luft in der Turbine von außen nach innen geführt, aber das ist nicht die eigentliche Ursache der Beschleunigung. Luft weist keine Trägheit wie ein Festkörper auf, sondern jeder einzelne Luft-Partikel fliegt trägheitsgemäß immer in seine momentane Richtung. Er kommt weiter voran im Raum, wenn Kollisionen seltener sind, also immer in Richtung relativ geringer Dichte oder zu einer schnellen Strömung hin. Luft fliegt gegebenenfalls auch 'um die Ecke'.

Entscheidend für die Bewegungsrichtung der Luft ist also die Dichte der benachbarten Bereiche. Unterschiedliche Dichtebereiche kommen in dieser Maschine durch differenzierte Querschnitte zustande und natürlich besonders durch die Bewegung der Pumpen-Sogseiten. In Bild 07.01.12 ist ein Querschnitt durch die Maschine nochmals dargestellt und rechts sind Größenordnungen von Querschnittsflächen in Quadratzentimeter eingesetzt, für eine Hälfte der Maschine.

Zwischen Radius 65 cm und Radius 50 cm wechselt die Luft aus dem Bereich der Pumpe zur Turbine. Dort steht ein großer Querschnitt von rund 5400 cm² zur Verfügung (weil die Luft bevorzugt außen an der Wand entlang fließt, könnte die Mittelwand auch etwas weiter nach außen reichen). Bei Radius 50 cm und einer Breite von 12 cm ist der eigentliche Einlass zur Turbine mit rund 3800 cm² gegeben.



Die Luft entlang der Druckseiten fließt erst ganz innen ab zwischen Radius 12 cm und 22 cm. Diese Querschnittsfläche ist rund 1000 cm², d.h. nur maximal ein Viertel aller Luft wird dort innen von der Turbine zur Pumpe überwechseln. Bei Radius 25 cm ist der Umfang rund 1.5 m, die Schaufeln der Pumpe sind dort nur etwa 4 cm breit und erfassen damit eine Querschnittsfläche von maximal 600 cm². Das entspricht in etwa vorigen 1000 cm², weil die Pumpe rund 1.6 mal schneller dreht.

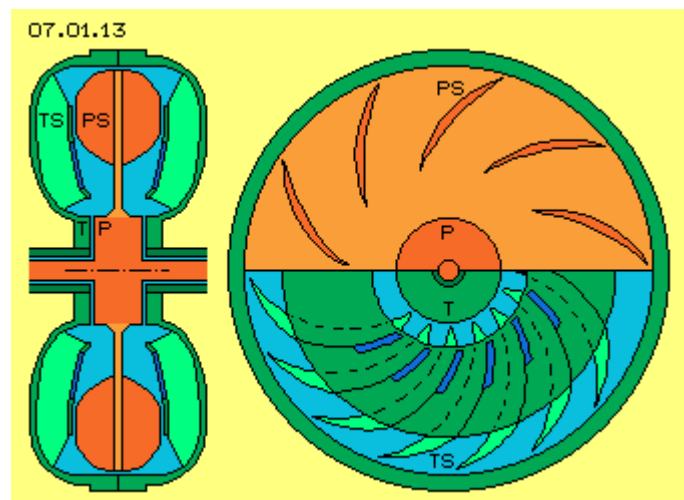
Weiter nach außen weitet sich die Pumpenschaufel aus, so dass sie bei Radius 40 cm die volle Breite von 12 cm erreicht. Dort wird Luft auf einer Querschnittsfläche von rund 3000 cm² erfasst. Davon stammen maximal 1000 cm² aus dem inneren Abfluss und Luft für rund 2000 cm² muss aus den seitlichen Öffnungen der Mittelwand kommen. Jede Öffnung ist ca. 15 cm lang und 4 cm breit, hat somit eine Fläche von rund 60 cm² und die Gesamtfläche der sechzehn Öffnungen ist dann rund 900 cm². Die Pumpe bietet nicht nur die doppelte Querschnittsfläche an (vorige 3000 - 1000 = 2000 cm²), sondern dreht dort wiederum 1.6 mal schneller an den Öffnungen entlang - und in diese Leere hinter den Sogseiten der Pumpe fliegen die Luftpartikel hinein. Darum ergibt sich an den Sogseiten der Turbinenschaufeln mindestens die in obiger Rechnung unterstellte Geschwindigkeit.

Nach außen hin erweitert sich die Querschnittsfläche der Pumpe nochmals auf 3800 cm², so dass auch dort weiterhin Sog wirksam bleibt, bis die Luft praktisch mit Pumpendrehzahl entlang der Turbinen-Innenwand gleitet, wiederum schneller als sich diese im Raum bewegt. Die Luft bleibt an diesem äußeren Radius nicht kleben, der Sog in den Düsen der Öffnungen reicht vielmehr durch die Turbine zurück bis zu deren äußerem Einlass.

Diese Konvektions-Strömung wird einerseits erreicht, indem an den Pumpen-Druckseiten ein Teil der Luft nach außen-vorwärts gedrückt wird. Zum andern wird an den langsamer drehenden Turbinen-Druckseiten Luft nach innen gedrückt. Der wesentliche Teil dieses Kreislaufes wird aber durch die Sogseiten sowohl der Pumpe wie auch der Turbine geleistet - und als reiner Nebeneffekt wird die Vortriebskraft an den Turbinen-Schaufeln für externe Zwecke genutzt.

Optimal zu Weihnacht

Die hier aufgezeigten Prinzipien können natürlich auf vielfältige Weise technisch realisiert werden. In Bild 07.01.13 ist beispielsweise links ein etwas veränderter Querschnitt dargestellt und rechts ein Längsschnitt, oben durch den Bereich der Pumpe und unten durch den Bereich der Turbine.



Bei der Pumpe könnte 'weniger mehr' sein, z.B. indem der innere Bereich weitgehend frei gehalten ist und die Pumpenschaufeln erst weiter außen ansetzen. Wie oben schon erwähnt, könnte eine von innen nach außen durchgängige Scheibe eingesetzt werden, an welcher beidseits jeweils eine Hälfte dieser Schaufeln angebracht ist. Obiger 'Löffel-Stiel' und die komplizierten Kanten würden damit entfallen. Die Schaufelblätter würden durchgängig löffel-förmige Wölbung aufweisen mit der Rundung im Drehsinn vorn.

Wie oben ebenfalls angedeutet und im Querschnitt ersichtlich, ist die Mittelwand der Turbine etwas weiter nach außen geführt, dort auch etwas zur Seite gerückt, so dass sie insgesamt schräg steht und damit der prinzipiell diagonalen Strömung besser entspricht. Im Längsschnitt ist die Diagonal-Stellung der Turbinenschaufeln (hellgrün) angedeutet. In der Mittelwand (dunkelgrün) sind die seitlichen Öffnungen (dunkelblau) wiederum markiert. Aus diesen Öffnungen (wie auch aus dem inneren Turbinen-Auslass) tritt nun die Luft zunächst in den freien Innenraum der Pumpe ein, um dann von dem zurück-wirkenden Sog der Pumpenschaufeln nach außen-vorwärts gezogen zu werden.

Viele Jahre lang habe ich immer wieder versucht, ein autonom arbeitendes Windrad zu entwickeln. Für mich war längst klar, dass die Nutzung Freier Energie nur eine Frage der Organisation von Bewegungsabläufen ist. Die im System enthaltene Energie darf dabei nicht ver-braucht, sondern nur Nebeneffekte dürfen für externe Zwecke 'miss-braucht' werden.

Mit dieser Konzeption des 'Spiral-Kanal-Windrades' scheint mir diese Organisation ausreichend gelungen und mein Job ist damit getan. Andere dürfen / müssen nun Arbeit investieren für die weitere Optimierung und Produktion dieses 'Windrades im Keller'. Weihnachten 2007 steht vor der Tür und wie oben angesprochen, zu Weihnacht 2008 hoffentlich ein Bausatz vor meiner Tür.

07. Fluid-Maschinen