

Würth - Schwungscheiben - Maschine

Erklärung der Bewegungsphänomene und Verbesserungsvorschläge von Prof. Alfred Evert

1. Prinzipielle Aufbau der Maschine

In Bild 1 ist der prinzipielle Aufbau dieser Maschine dargestellt. In einem Gehäuse (GE) ist ein Rotorträger (RT) drehbar um die Mittelachse (MA) gelagert. In diesem Rotorträger ist ein Rotor (RO) um seine Rotorachse (RA) drehbar gelagert. Bei einer Schwungscheibe ist zweckmäßig, daß die Masse des Gewichtes an möglichst großem Radius angeordnet ist, was hier durch die dick umrandeten Bereiche gekennzeichnet ist. Aus Symmetriegründen sind hier zwei Rotoren eingezeichnet. Der besseren Lagerung wegen sind auch zwei Rotorträger hier eingezeichnet.

In Bild 2 ist ausschnittsweise ein Querschnitt durch die Maschine dargestellt. Um die Mittelachse (MA) drehbar ist der Rotorträger (RT). In diesem ist der Rotor (RO) gelagert und drehbar um seine Rotorachse (RA). Der Rotorträger ist hier als Balken dargestellt, weil die Masse des Gewichtes außen am Rotor (im Bereich der dick gezeichneten Kreise) angeordnet sein soll.

Diese Maschine wird über die Mittelachse in Drehbewegung versetzt. Das Verhalten der, zunächst frei drehbaren, Rotoren soll nachfolgend untersucht werden.

2. Startphase

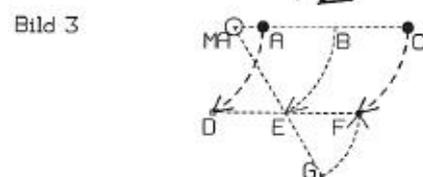
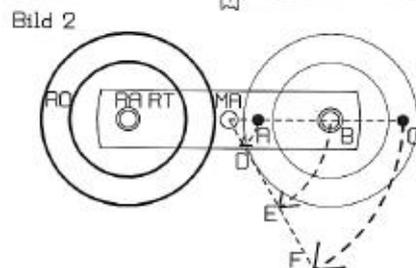
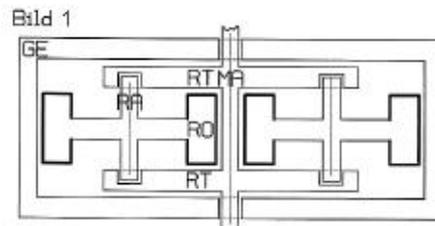
In Bild 2 ist links und rechts jeweils ein Rotor dargestellt. Im Rotor rechts sind zwei Punkte (A und C) hervorgehoben. Sie sollen stellvertretend für alle Massepunkte des Rotors nun beobachtet werden.

Der Rotorträger soll aus der Ruhelage beschleunigt werden, beispielsweise um die hier dargestellten 60 Grad in einer ersten Zeiteinheit. In Bild 2 ist zunächst unterstellt, daß der Rotor starr mit dem Rotorträger verbunden ist. Der Massepunkt A würde dann nach D transportiert, die Rotorachse von B nach E und der Massepunkt C nach F. Entsprechend dem Abstand zur Mittelachse würden damit diese Punkte unterschiedliche Wegstrecken zurücklegen müssen. Einer Beschleunigung jedoch wirkt die Masseträgheit entgegen.

In Bild 3 ist nun unterstellt, daß der Rotor im Rotorträger frei drehbar ist. Durch die Beschleunigung der Mittelachse überträgt sich diese Krafteinwirkung auf alle Punkte des Rotors. Alle Massepunkte besitzen prinzipiell gleiche Trägheit. Es ist also logisch, daß alle diese Punkte (A, B und C) durch die Krafteinwirkung der Beschleunigung gleich weite Wegstrecken zurück legen werden. Der beobachtet Durchmesser A-C würde damit nach D-F verlagert, also weiterhin in gleiche Richtung weisen.

Würth - Schwungscheiben - Maschine
Erklärungen durch Prof. Alfred Evert

EWL/DE/3
07.05.98



Dieser Bewegungsablauf ist schon mit einem einfachen Modell einwandfrei zu erkennen, lediglich die Reibung im Rotorlager wirkt im Prinzip wie obiger starrer Verbund.

Das bedeutet, daß bei einer Drehung des Rotorträgers in der Startphase der Rotor eine gleich große Drehung gegensinnig ausführt (hier von G nach F als Pfeil gekennzeichnet). Nach außen ist diese Drehung nicht sichtbar, weil beide Drehungen sich kompensieren. Darum weist ein Durchmesser des Rotors in dieser Startphase stets in gleiche Richtung. Zwischen Rotorträger und Rotor ist jedoch sehr wohl eine relative Bewegung gegeben. Außerdem wird damit natürlich der Rotor als ganzes in die neue Position bewegt.

3. Konsequenzen der Startbewegung

In Bild 4 sind die Konsequenzen dieser Bewegung in der Startphase dargestellt. Rechts ist der Rotor (RO) dargestellt, darauf die beiden beobachteten Massepunkte A und B. Diese Massepunkte beschreiben zunächst oben beschriebene Bewegung, welche einen Abschnitt eines Kreisbogens darstellt. Diese beiden Punkte beschreiben in der Startphase eine Kreisbahn (gestrichelt), hier um die Drehpunkte C bzw. D, mit einem Radius entsprechend dem Abstand zwischen Mittelachse und Rotorachse.

Tatsächlich beschreiben alle Massepunkte des Rotors eine solche Kreisbahn. Das bedeutet, daß durch die Beschleunigung alle Rotormassen in gleichem Maße beschleunigt werden - im Gegensatz zu obigem starrem Schwungrad mit den unterschiedlichen Wegstrecken. Insofern kann die gesamte Masse des Rotors als ein Massepunkt in der Rotorachse vereinigt angesehen werden.

Als eine erste wesentliche Konsequenz kann also festgestellt werden: In der Startphase bewegen sich alle Massepunkte des Rotors auf Kreisbahnen gleichen Radius, aber unterschiedlicher Mittelpunkte.

4. Auslösung der Gegendrehung

In Bild 5 sind als Linien die Trägheitsmomente verschiedener Massepunkte des Rotors eingetragen. Wenn sich der Rotor nach der Startphase auf oben beschriebener Kreisbahn bewegt, hier in einer Stellung rechts der Mittelachse, weisen alle Trägheitsmomente tangential zu ihrer jeweiligen Kreisbahn, hier also alle nach unten.

In Bild 6 sind wiederum die beiden repräsentativen Massepunkte A und B hervorgehoben. Ihre Trägheitsmomente weisen senkrecht nach unten in Richtung E bzw. F. Durch die Drehung des Rotors, hier beispielsweise um 60 Grad im Uhrzeigersinn, werden diese Massepunkte verlagert nach C bzw. D. Ihre neuen Trägheitsmomente würden dann in Richtung G bzw. H weisen. Obwohl die Massepunkte also parallel verlagert werden (der Rotordurchmesser weist noch immer in waagrechte Richtung), erfahren die Trägheitsmomente einen Richtungswechsel. Kennzeichen der Trägheit jedoch ist, sich einer solchen Richtungsänderung zu widersetzen.

Bild 4

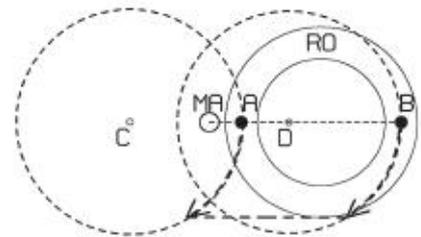


Bild 5

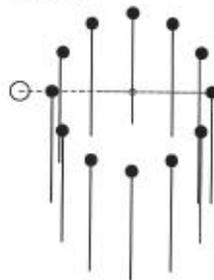
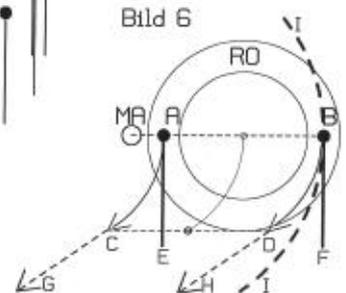


Bild 6



Alle Massepunkte erfahren diese Richtungsänderung. Im frei drehbaren Rotor könnten die Massepunkte durchaus der Richtung ihrer Trägheit folgen. Da gegenüberliegende Massepunkte dabei aber in gleiche Richtung streben, ergibt sich damit an der Rotorachse kein Drehmoment.

Nur bei einem Paar vergleichbarer Massepunkte ist das nicht gegeben: beim jeweils innen (A) und außen (B) befindlichen. Der innere Massepunkt A könnte sehr wohl der Richtung seiner Trägheit folgen und sich nach E bewegen. Der äußere Massepunkt B dagegen kann sich nicht nach F bewegen, weil er bereits am äußersten Rand (I) des Systems sich befindet. Die Radien zwischen Mittelachse und Rotorachse wie zwischen Rotorachse und Massepunkt B befinden sich auf gleicher Linie. Der Massepunkt B kann sich nicht weiter von der Mittelachse entfernen.

Die jeweils inneren Massepunkte A (während einer Drehung um die Mittelachse werden das alle Massepunkte des Rotors sein) werden also der Richtung ihrer Trägheit folgen und damit eine Drehbewegung des Rotors auslösen, gegensinnig zur Drehung des Rotorträgers.

Als ein zweiter wesentlicher Gesichtspunkt kann also gelten: es wird eine gegenläufige Drehbewegung des Rotors über Grund ausgelöst.

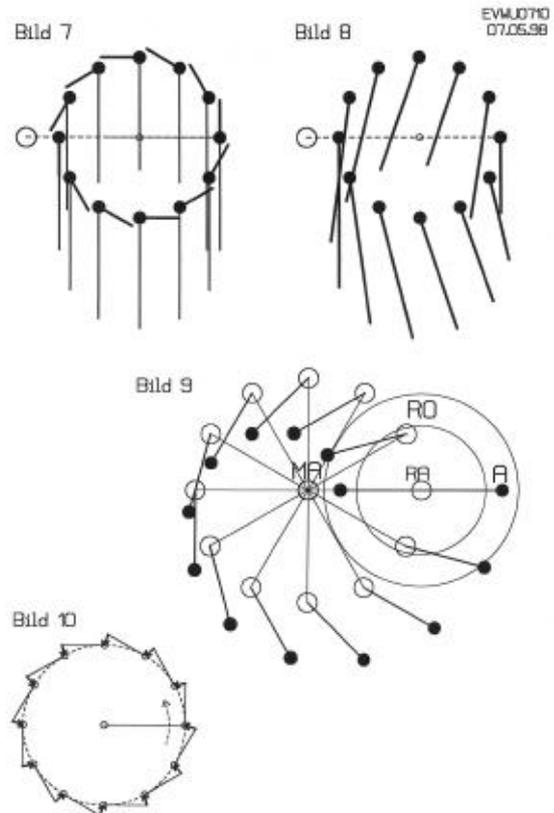
5. Asymmetrische Momente auf symmetrischen Bahnen

Bild 7 stellt einerseits die Trägheitsmomente der Startphase dar, andererseits die Trägheitsmomente aufgrund dieser nun erfolgten Rotordrehung (als dicke Linien gekennzeichnet). In Bild 8 sind die Resultierenden daraus dargestellt. Innen addieren sich diese Momente, außen ergibt sich ein insgesamt geringeres Moment, hinten weisen die Momente einwärts, vorn weisen sie auswärts. Dieses Bild veranschaulicht, wie sich diese Drehbewegung weiterhin verstärken wird.

Das Bild 9 stellt den Bewegungsablauf dar, bei welchem der Rotor halb so schnell rückwärts dreht wie der Rotorträger vorwärts dreht. Der Rotorträger dreht sich hier um jeweils 30 Grad im Uhrzeigersinn, der Rotor jeweils um 15 Grad gegen den Uhrzeigersinn. Der Massepunkt A bewegt sich bei einer Umdrehung des Rotorträgers von einer äußeren zu einer inneren Position.

Normalerweise herrschen an einem Rotor symmetrische Verhältnisse. Bild 10 zeigt beispielsweise einen Rotor in Drehung gegen den Uhrzeigersinn. Seine Massepunkte weisen jeweils Trägheit in tangentialer Richtung auf. Das System muß stets eine Beschleunigung in Richtung Mittelachse bewirken. Aber alle Kraftlinien sind vollkommen symmetrisch zur Mittelachse. Beim Bewegungsablauf in Bild 9 dagegen ist Symmetrie in dieser einfachen Weise nicht mehr gegeben. Diese Beschleunigung in Richtung Mittelachse ist beispielsweise unterschiedlich in den jeweiligen Phasen.

In Bild 11 ist der Bahnverlauf der diversen Positionen dieses Massepunktes dargestellt. Nach dem Eindrehen erfolgt ein Ausdrehen, in diesem Sinne ist also wiederum vollkommene Symmetrie gegeben. Analoge Bahnverläufe zeigen alle Massepunkte, jeweils versetzt entsprechend ihrer Position auf dem Rotor.



In Bild 12 ist die eindrehende Phase dieses Bahnverlaufes als Geraden zwischen den zwölf Positionen eingezeichnet, die ausdrehende Phase als geglättete Kurve. Als gestrichelte Linien sind die jeweiligen Trägheitsmomente dargestellt. Alle Trägheitsmomente weisen nach außen. Die äußeren sind jeweils stärker als die inneren. Es sind einige Paare korrespondierender Massepunkte auf diesem Bahnverlauf eingezeichnet. Es ist hier jedoch nicht zu erkennen, daß eine weitere Verstärkung der rückläufigen Bewegung des frei drehbaren Rotors eintritt.

6. Der Würth-Effekt

Bei der Beschleunigung einer Schwungscheibenmaschine entsprechend Bild 1 wird also in jedem Fall erreicht, daß die Masse des Rotors einmal um die Mittelachse gedreht werden. Zudem wird erreicht, daß der Rotor entsprechend Bild 3 eine gegenläufige Drehung relativ zum Rotorträger erfährt. Es kann als sicher angenommen werden, daß diese Gegen-drehung entsprechend Bild 6 verstärkt wird.

Bei einer Umdrehung des Rotorträgers erfährt der Rotor also eine Umdrehung um die Mittelachse und mindestens eine Umdrehung um die Rotorachse, in Summe also mehr als zwei Umdrehungen. Nach außen ist die Drehung um die Mittelachse immer sichtbar. Als Drehung um die Rotorachse ist nach außen bzw. über Grund nur die Differenz beider gegen-sinnigen Drehungen sichtbar. Nach außen hin subtrahieren sich also beide Drehbewegungen.

Beim Abbremsen dieser Schwungscheibenmaschine kann die Energie der Drehung um die Mittelachse zurück gewonnen werden. Die Drehung des Rotors um seine Rotorachse wird davon nicht tangiert. Auch bei stehendem Rotorträger drehen die Rotoren weiter. In einer zweiten Phase kann darum die Energie dieser Rotordrehung um ihre eigene Achse gewonnen werden, also mindestens noch einmal die Energie einer weiteren Umdrehung.

Theoretisch müßte demnach ein Wirkungsgrad von über zwei gegeben sein.

7. Abbremsen der Gegendrehung

Bei der original Würth-Schwungscheiben-Konzeption wird versucht, diese Gegendrehbewegung des Rotors abzustoppen, um das bislang frei drehende System in ein starres System zu überführen. Auf dem Rotorträger sind zu diesem Zwecke Bremsbacken angebracht, und zwar auf der Innenseite des Rotors.

Beim Bremsvorgang wird damit der Drehimpuls des Rotors auf den Rotorträger übertragen. Der Rotor bewegt sich innen in gleiche Richtung wie der Rotorträger, also ergibt sich dort ein positives Moment, beispielsweise durch einen inne befindlichen Massepunkt des Rotors. Zugleich wird jedoch auch ein korrespondierender, außen befindlicher Massepunkt in seiner Relativbewegung zum Rotorträger abgebremst, dort allerdings in seiner gegenläufigen Bewegungsrichtung. Über die Rotorachse wird ein entsprechend negatives Drehmoment an den Rotorträger übertragen. Andere Paare korrespondierender Massepunkte wirken nur entsprechend ihrer tangentialer Trägheitskomponenten, welche in Summe ausgeglichen sind.

Die Experimente zeigen auch deutlich, daß sich bei diesem Abbremsvorgang kaum eine Änderung der Umlaufgeschwindigkeit des Rotorträgers ergibt. Beim Bremsen wird immer Energie vernichtet. Aber auch ein abruptes Abblocken der Rotorbewegung ergäbe keine komplette Übertragung der Rotorenergie auf den Rotorträger. Auf diese Weise kann also die Rotorenergie nicht geerntet werden.

Bild 11

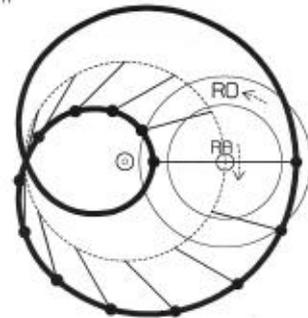
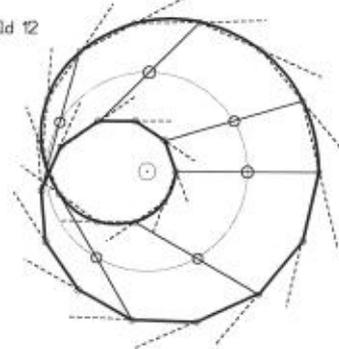
EVMU112
07.05.98

Bild 12



8. Energiegewinn

Wenn bei den Versuchen dennoch eine höhere Ausgabe- als Eingabeenergie festgestellt werden konnte, so hat dieses andere Ursache. Die Differenz resultiert dann aus dem unterschiedlichen Energieaufwand zur Beschleunigung eines starren gegenüber diesem flexiblen Rotorsystem.

Dazu wird zunächst unterstellt, daß der Rotor in Bild 2 starr verbunden ist mit dem Rotorträger. Die Massepunkte müssen dann jeweils entsprechend ihres Abstandes zur Mittelachse beschleunigt werden. Die Gesamtmasse aller Massepunkte kann ferner als vereinigt auf dem Radius der Rotorachse gedacht werden. Eine Beschleunigung dieser Gesamtmasse erfordert jedoch geringeren Aufwand.

Es sind nämlich mehr Massepunkte des Rotors außerhalb des Kreisbogens, den die Rotorachse beschreibt, als innerhalb dieses Kreisbogens. In den hier gezeichneten Massepunkten z.B. sieben außerhalb und nur fünf innerhalb. Es müssen mehr Massepunkte an größerem Hebel beschleunigt werden als an kleinerem Hebel - bezogen auf den Radius der Rotorachse um die Mittelachse. Hinsichtlich des Beschleunigungsaufwandes darf also beim starren Rotorsystem die Gesamtmasse gedanklich nicht als auf der Rotorachse vereinigt betrachtet werden.

Schon bei der in Bild 3 dargestellten Situation des flexiblen Rotorsystems ergibt sich jedoch, daß dann sämtliche Massepunkte nur um einen Radius entsprechend dem Abstand zwischen Mittelachse und Rotorachse zu beschleunigen sind, also auch die gesamte Masse mit diesem Radius. Bei einer höheren relativen Gegendrehung verringert sich dieser Aufwand nochmals.

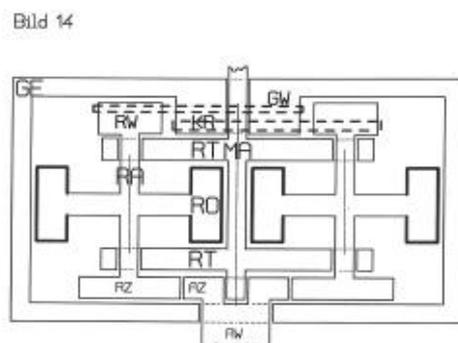
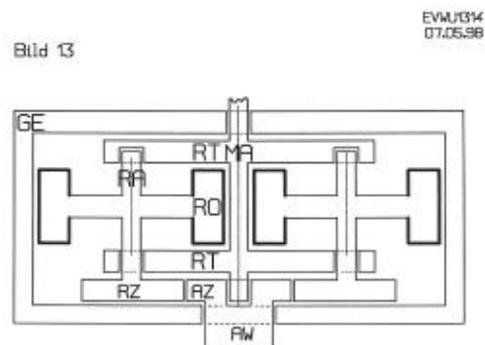
In Bild 12 sind die Trägheitsmomente von 24 Massepunkten dargestellt. Durch ihre Rückwärtsbewegung relativ zum Rotorträger bewegen sie sich auf langen Wegen außerhalb der Rotorachsenkreisbahn und tauchen nur relativ kurz in den Innenbereich ein. Durch obiges Abbremsen sind nun alle diese Trägheitsmomente verfügbar. In den Versuchen zeigt sich das beim Abbremsen durch einen kurzen Ruck in Drehrichtung des Rotorträgers. Danach geht das System in den starren Zustand über. Dieser 'Ruck' stellt jedoch nur die Differenz voriger Massepunkte innerhalb zu außerhalb des Rotorachsenkreises dar, keinesfalls die gesamte kinetische Energie der Rotordrehung.

9. Energieabnahme innen

Wenn der Rotor rückläufig ist, so ist innen die Bewegungsrichtung von Rotor und Rotorträger gleichsinnig. Prinzipiell muß also die Energie beider Bewegungen innen abgenommen werden. Sie darf jedoch nicht über den Rotorträger, sondern muß über den Rotor abgenommen werden.

In Bild 13 ist dazu die prinzipielle Bauweise der Maschine analog zu Bild 1 dargestellt. Ergänzt ist hier auf der Rotorachse ein Zahnrad (RZ). Außerdem ist eine Abtriebswelle (AW) dargestellt. Auf dieser Abtriebswelle ist ein Abtriebszahnrad (AZ) montiert. Beide Zahnräder sind hier mit gleichem Radius dargestellt. Beide Zahnräder stehen in Eingriff.

Wenn man nun gedanklich beide Bewegungen differenziert, so kann man zunächst den Rotor als feststehend zum Rotorträger betrachten. Es wird dann durch den Zahneingriff eine Umdrehung des Rotorträgers umgesetzt in eine Umdrehung der Abtriebswelle. Umgekehrt wird bei einem fest-stehenden Rotorträger eine Umdrehung des Rotors (innen gleichsinnig wirkend)



in eine weitere Umdrehung der Abtriebsachse umgesetzt (wenn wie hier die Radien der Zahnräder gleich groß sind).
Praktisch wird dieser Prozeß synchron ablaufen, also beide Drehbewegungen gleichzeitig auf die Antriebswelle übertragen werden.

Um diese Aussage zu bestätigen, wäre also die Versuchsanordnung entsprechend zu ändern. Die Zahnräder müßten ständig in Eingriff stehen. In der Beschleunigungsphase müßte jedoch das bremsende Element des Abtriebes ausgeschaltet bzw. abgekoppelt bzw. ausgekuppelt sein. In der Bremsphase dagegen müßte die Rotationsachse freilaufend geschaltet sein. Theoretisch müßte etwa doppelt so viel Energie abzuführen sein wie zu investieren ist.

10. Synchronisation eins zu zwei

Wie oben dargestellt ergibt sich durch die Masseträgheit schon in der Startphase (Bild 3) eine Drehung des Rotors gegensinnig zum Rotorträger und in gleicher Größenordnung. Die Rückdrehung wird sogar verstärkt (Bild 6) durch die unterschiedlichen Möglichkeiten des Rotors entsprechend der Trägheitskomponenten sich zu bewegen. Wie beim Kreisel ergeben sich aber Störfaktoren, so dass nicht stets ein runder Lauf gewährleistet ist. Damit ist auch nicht sicher, daß sich die Rückdrehung des Rotors kontinuierlich verstärken wird. Es wird darum sinnvoll sein, die Gegenbewegungen zwangsgesteuert ablaufen zu lassen in einem optimalen Übersetzungsverhältnis, beispielsweise eins zu zwei.

In Bild 14 ist dazu die Maschine nochmals dargestellt inklusive obigem Abtrieb analog Bild 13. Oben an den Rotorachsen sind zusätzliche Rotorwellen (RW) eingezeichnet. Auf gleicher axialer Ebene ist auch eine im Gehäuse feststehende Welle (GW) dargestellt. Der Radius der Rotorwelle ist halb so groß wie der Radius der Gehäusewelle. Über beide läuft ein Keilriemen (KR). Bei der Drehung des Rotorträgers wird damit der Rotor in gegenläufig Drehung versetzt. Eine Umdrehung des Rotorträgers erzeugt zwei gegensinnige Umdrehungen des Rotors.

Anstelle dieses Keilriemengetriebes kann man sich auch einen Innenzahnkranz vorstellen, auf welchem der Rotor mit einem Zahnrad abrollt. Wenn der Radius des Rotorzahnrades halb so groß ist wie der Radius dieses Innenzahnkranzes, rollt der Rotor auf einem Umfang des Zahnkranzes zweimal ab. Andere Getriebe zu diesem Zweck wären ebenso denkbar.

Mittels eines solchen Getriebes wird also erreicht, daß bei einer Umdrehung des Rotorträgers der Rotor zwei gegensinnige Umdrehungen ausführt. Nach außen erscheint allerdings der Rotor nur eine Umdrehung dabei auszuführen. Das Übersetzungsverhältnis könnte also eins-zu-minus-zwei gleich eins-und-minus-eins bezeichnet werden

11. Verkürzte Bahn

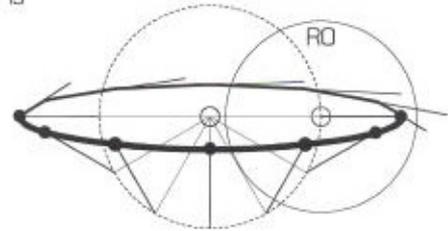
In Bild 15 ist der Bahnverlauf eines Massepunktes des Rotors bei dieser Übersetzung dargestellt. Während der Rotorträger sich im Uhrzeigersinn um 30 Grad dreht, dreht sich der Rotor gegensinnig um 60 Grad. Die Bahn zeigt damit eine flache elliptische Form. Die Trägheitsmomente im flachen Teil sind nahezu parallel zur Bewegungsrichtung. An den spitzen Teilen erfolgt die rasche Umlenkung.

Die Massepunkte in Bild 15 sind außen am Rotor, aber noch innerhalb des Randes des Rotors dargestellt. In Bild 16 ist die analoge Situation dargestellt, allerdings sind hier die Massepunkte am Rande des Rotors angeordnet. Der Bahnverlauf wird damit zu einer Geraden. Hier ist die Umlaufbahn außen als durch einen Zahnkranz (ZK) begrenzt dargestellt. Innerhalb dessen rollt der Rotor (RO) ab. Jeder Massepunkt auf dem Umfang des Rotors beschreibt dann nur mehr eine Bahn auf einem Durchmesser des Zahnkranzes.

Während eines Umlaufs auf dem Zahnkranz führt der Rotor zwei Umdrehungen aus. Bei zwei Umdrehungen des Rotors führen normalerweise alle Massepunkte die Wegstrecke von $2 * 2 * R * \pi$ aus, bei $R=1$ also etwa 12.6. Hier allerdings laufen alle Massepunkte einmal durch den Durchmesser des Zahnkranzes hin und einmal zurück, also acht mal R , also einen Weg von 8.

Beim Beschleunigen muß also lediglich die Arbeit von 8 (mkp) erbracht werden. Im System stecken aber damit 12.6 (mkp), also ein Faktor von 1.57. Möglicherweise sind diese durch innen angeordnete Abnahme wie oben beschrieben heraus zu holen in der Bremsphase.

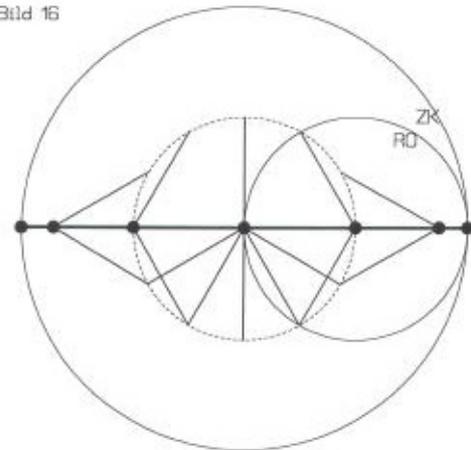
Bild 15



12. Optimale Trägheitsrichtung

Eine theoretische Erklärung hierfür könnte folgende sein. Jedes System strebt den Zustand geringsten Widerstandes an. Dieses wird hier erreicht, indem anstelle von Kreisbahnen, einrollenden oder ausrollenden Spiralbahnen oder auch obiger Ellipsen hier jeder Massepunkt den kürzest möglichen Weg geht, lediglich eine Gerade.

Bild 16



Zum ändern erfordert jede Änderung der Trägheitsrichtung Energie. Beim Rad leistet diese Arbeit die Speiche durch Zug und sie erscheint nach außen nicht, da vollkommen symmetrisch. Bei vorigen asymmetrischen Bahnverläufen ergaben sich jedoch unterschiedliche Drehmomente und -Richtungen. Hier allerdings muß das System keine Arbeit zur Umlenkung der Trägheitsrichtung leisten. Jede positive und negative Beschleunigung erfolgt in gleiche Richtung. Die Umkehr der Richtung erfolgt senkrecht zum Radius, drückt also auf das Rotorlager bzw. den Zahnkranz am Ende jeder Bahn.

13. Überhang

Man könnte nun aber auch die Massepunkte noch weiter außen am Rotor anbringen. In Bild 17 ist in etwas verkleinertem Maßstab wiederum obiges Übersetzungsverhältnis dargestellt. Der große Kreis stellt die Umlaufbahn (den Zahnkranz) dar, der kleine Kreis einen Rotor mit halb so großem Radius. Zwei korrespondierende Massepunkte sind hervorgehoben, verbunden durch die dicke Linie. Die kleinen Kreis bzw. Linien kennzeichnen die Bewegung dieser Massepunkte bzw. Verbindungslinie.

Bild 17

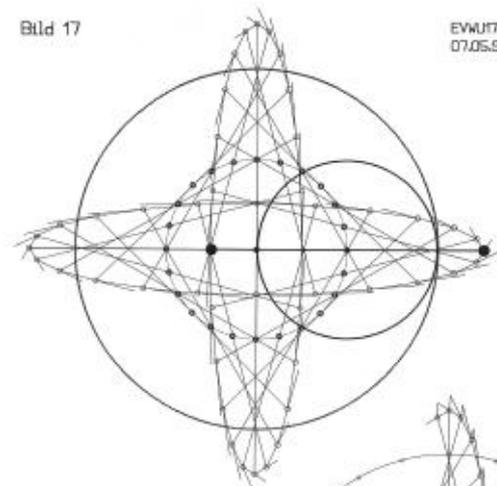
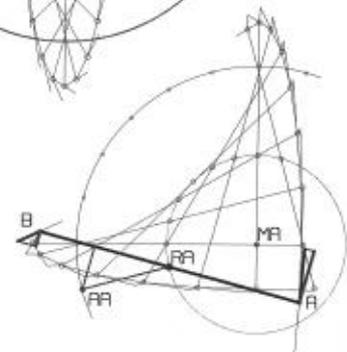
EVL1718
07.05.98

Bild 18



Die Massepunkte beschreiben wiederum eine langgestreckte elliptische Bahn. An den langen flachen Streckenabschnitten ist die Trägheitsrichtung nahezu identisch mit dem weiteren Bahnverlauf. Nur an den spitzen Enden findet die wesentliche Umlenkung statt. Die über die Ellipse hinausragenden Linien zeigen das jeweilige Trägheitsmoment an. Die Trägheitsmomente korrespondierender Massepunkte sind dabei stets unterschiedlich hinsichtlich Richtung wie Kraft.

In Bild 18 ist dazu nur der Quadrant oben links dargestellt und eine Verbindungslinie hervorgehoben. Der Rotorträger weist in dieser Position in Richtung 285 Grad, der Rotordurchmesser in 255 Grad, nach jeweils 15 Grad gegenläufiger Drehung werden beide in Richtung 270 Grad zeigen. Daran anschließend wird der Massepunkt A nach oben wandern und dabei verzögert. Der Massepunkt B wird daran anschließend nach rechts unten wandern und beschleunigt.

Die Trägheitsmomente sind hier eingezeichnet und die Komponente senkrecht zur Verbindungslinie ausgewiesen. Das Trägheitsmoment von A überwiegt bei weitem das von B. Es ist ferner die Frage, ob hier gleich lange Hebel um die Rotationsachse zu beachten sind, oder aber der Rotor um einen Drehpunkt auf seiner Auflage (AA) am Zahnkranz als schwenkend zu betrachten ist.

14. Hebelarme

In Bild 19 ist die Darstellung aus Bild 18 wiederholt dargestellt, zunächst oben links die gleiche Position hervorgehoben. Das innere Trägheitsmoment zieht nach oben, so wie sich auch die Rotationsachse verlagern muß. Das äußere Trägheitsmoment zieht nach außen, so wie auch die Rotationsachse noch etwas nach rechts wandern muß (Drehung des Rotorträgers im Uhrzeigersinn stets unterstellt, des Rotors gegensinnig).

Mitte links ist die Situation nach jeweils 15 Grad Drehung hervorgehoben. Die Trägheit innen zieht weiter nach links (wie die Rotorachse wandern muß). Die Trägheit außen zieht nach außen (was durch die Rotorachse aufgefangen wird) bzw. nach unten (also im Sinne der Rotordrehung).

Auch die Trägheitsmomente unten links bzw. dann unten rechts unterstützen die Dreh- bzw. Wanderbewegung des Rotors. Bei der Situation Mitte rechts wird deutlich, wie die Trägheit innen in Richtung der neuen Position drängt und dabei noch abgebremst wird, genau in die Richtung in welcher die Rotorachse bzw. der korrespondierende Massepunkt wandern muß. Analog dazu ist die Situation oben rechts.

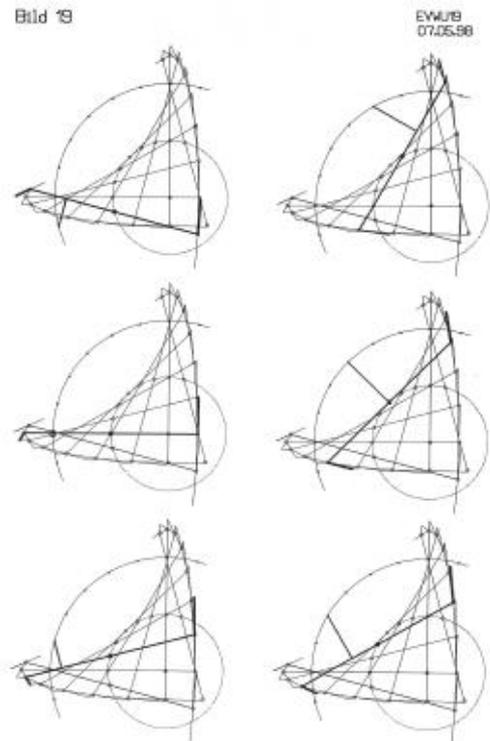
Also selbst bei gleich langen Hebelarmen wirkt die Trägheit der Massepunkte in positivem Sinne. Entsprechend leicht wird ein solches System zu beschleunigen sein bzw. entsprechend effektiv wird das Abgreifen der gespeicherten kinetischen Energie sein.

Als Lotrechte auf die Verbindungslinien ist hier jeweils der jeweilige Drehpunkt dieser 'Wippe' auf der Umlaufbahn (des Zahnkranzes) eingezeichnet. Wenn man diese Drehung um diesen Punkt unterstellt, so wirken diese Momente nochmals günstiger.

Nun müßte man viel rechnen - oder einfach bauen. Aber diese Version ergibt eine ungünstige Bauform, weil keine Mittelachse hier zu installieren wäre. Ähnliche Bahnverhältnisse lassen sich jedoch auch bei anderem Übersetzungsverhältnis erreichen.

15. Nahezu gerade Bahnverläufe

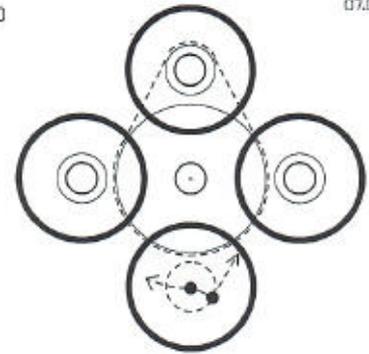
In Bild 20 ist eine Maschine mit vier Rotoren dargestellt. Der Rotorträger ist nicht eingezeichnet. Die Masse der Rotoren soll auf den dicken Kreislinien angeordnet sein. Dünn eingezeichnet ist eine Gehäusewelle und oben eine Rotorwelle mit Radien drei zu eins, gestrichelt ein Keilriemen. Bei einer Umdrehung des Rotorträgers würde damit der Rotor drei gegenläufige Umdrehungen ausführen.



In der Beschleunigungsphase (der gestrichelte Pfeil im Uhrzeigersinn) wirkt eine Kraft tangential an der Rotorachse. Damit entsteht ein Zug am Keilriemen (der gestrichelte Pfeil). Die Richtung der Resultierenden daraus entspricht der Bahnlinie aller Massepunkte in der wesentlichen Beschleunigungsphase. Es ist hier die Frage, was als Drehpunkt zu betrachten ist: die Rotationsachse oder der Ansatzpunkt dieser Zugkraft oder der äußerste Radius dieser Rotorwelle.

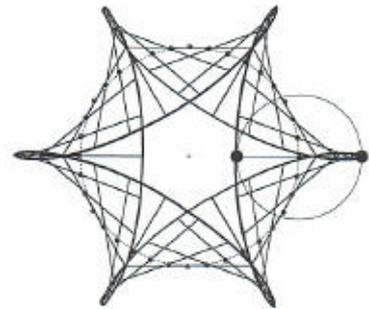
In Bild 20 unten ist ein Rotor als Kreis markiert, sind zwei seiner Massepunkte hervorgehoben und durch eine Linie verbunden. Der Bahnverlauf beider Massepunkte ist dargestellt sowie die Bewegung dieser Rotordurchmesser. Es wird auch hier also erreicht, daß die Trägheitsmomente nahezu vollkommen in Richtung der nächsten Position weisen und nur ein sehr spitzes Umlenken außen und vollkommen gegen die Rotationsachse gerichtet erfolgt. Es ergeben sich damit die oben diskutierten Verhältnisse der Trägheitsmomente korrespondierender Massepunkte bzw. der Hebelverhältnisse (mit der offenen Frage nach dem wirklichen Drehpunkt dieses Systems).

Bild 20

EVL20
07.05.99

16. Seinlassen, Rechnen oder Experimentieren

Im Prinzip ist diese Maschine noch immer entsprechend der Konzeption in Bild 14. Einerseits ist das schlicht und einfach ein Getriebe, etwas unsinnig konstruiert, in welchem schlicht und einfach die Hebelgesetze gelten. Mit einem Getriebe kann die Drehrichtung geändert werden und die Drehzahl, nicht aber das Drehmoment. Insofern kann man das Projekt einstellen.



Andererseits wird bei einem normalen Getriebe kein Wert gelegt auf die Masseverteilung und es müssen in aller Regel auch keine Trägheitsmomente beachtet werden aufgrund der prinzipiell symmetrischen Anordnungen bzw. Abläufe. Aber gerade dieses soll ja in der Würth-Schwungscheiben-Maschine im Vordergrund stehen, zudem das Beschleunigen und Abbremsen. Wobei bislang das Ableiten der investierten Energie das Problem war.

Prinzipiell scheint logisch, anstelle einer Beschleunigung in eine Richtung zwei Bewegungen in gegenläufige Richtung anzustreben. Es spricht auch einiges dafür, daß der Gegenlauf sich automatisch aufgrund Trägheit ergibt, also relativ geringen Energieeinsatz erfordert. Bei obigen Verbesserungsvorschlägen wird im Prinzip erreicht, daß die Beschleunigung außen praktisch auf null reduziert wird, damit nur die 'billiger' zu erzielende Beschleunigung innen-herum erfolgen muß. Zum andern wird die Kraft dabei stets in die Richtung eingesetzt, welche der bestehenden Trägheitsrichtung weitgehend entspricht (nach Würth: man muß im Fallen beschleunigen, weil dann die 'Schwere' gleich null ist.)

Wenn auf diese Weise Beschleunigung von Masse mit relativ geringem Aufwand erreicht wird, dann aber im wesentlich durch die Gegenläufigkeit der Bewegungen. Daraus ergibt sich logischerweise, daß das Ausleiten der Energie so erfolgen muß, daß beide Bewegungsrichtungen sich addieren. Das kann hier nur bedeuten, daß die Kraft innen am Rotor abgegriffen werden muß.

Ein anderer Grund für einen Energieüberschuß könnte durch die Asymmetrie der Trägheitskräfte bei diesen Bahnverläufen gegeben sein. Es ist sehr positiv, wenn große Trägheitskräfte in Richtung der weiteren Bewegung weisen. Es ist weniger gravierend, wenn relativ kleine Trägheitskräfte in die 'flasche' Richtung weisen und Umlenkung erfordern, zumal wenn diese gegen die Achse läuft.

Man müßte nun viel nachdenken und per Formeln rechnen (ist nicht schwierig, nur extrem aufwendig). Oder man probiert es einfach. Dann aber gleich mit guten Lagern und sauberen Technik

des Ein- und Auskuppelns. Es macht keinen Sinn, die Beschleunigungs- und Bremsphase separat zu testen und dann keine Lösung des Einspeisens bzw. Ableitens der Energie zu haben. Andererseits: wenn mit diesen Verbesserungsvorschlägen ein Effekt zu erzielen ist, dann müßte er auch bei ständig eingekuppeltem Input wie Output gegeben sein.

Dieses ist mein Beitrag, den ich zur Zeit zu dieser Thematik zu leisten vermag.

Evert

07.05.1998

Anläßlich eines Meetings am 16.05.1998 bei Felix Würth in Hessdorf wurde diese Ausarbeitung vorgelegt und diskutiert.