

Rekuperation – zurückgeschenkte Energie

Geschenke sind etwas Großartiges! Man kann vielen damit eine Freude machen. Besonders kleine Kinder, die noch unbefangen sind, bekommen glänzende Augen, wenn sie das Geschenkpapier aufmachen. Bei Erwachsenen dagegen mischt sich zur Freude mancherorts die Sorge, was man in angemessenem zeitlichen Abstand dem Schenkenden zurückschenken könnte. Großzügige Geschenke erwarten wir Erwachsene gar nicht mehr. Da ist es nicht verwunderlich, dass wir stutzig werden, wenn es auf technischem Gebiet Geschenke geben soll.

Es gibt sie wirklich – allerdings ist die Energie, die wir in ganz bestimmten Fällen durch Rekuperation zurückbekommen, zuvor mühsam aufgebaut worden: zum Beispiel beim Hochfahren auf einen Berg oder beim Beschleunigen. Plötzlich geht es aber bergab oder das Auto ist zu schnell, dann gibt es zuviel Energie, die wir mit der Bremse vernichten müssen. Nur Elektroautos können die Höhen- bzw. Schwungenergie (potentielle Energie bzw. kinematische Energie) wieder zu Strom machen und in die Batterien zurückspeisen. Genau das meint der Begriff Rekuperation. Bei allen Fahrzeugen mit Stromabnehmer (O-Bus, U-Bahn, elektrische Lokomotiven) dient das Netz als „Batterie“, so dass ein anderes Fahrzeug die zurückgewonnene Energie zu diesem Zeitpunkt nutzen kann. Das spart viel zusätzliche Energie und senkt die Kosten erheblich.

Diesel- und Ottomotoren dagegen können potentielle oder kinetische Energie nicht wieder in flüssigen Sprit verwandeln! Keiner dieser beiden absoluten Bestseller besitzt diese wunderbare Möglichkeit der Rekuperation!!!

Besitzt sie der Stirlingmotor???

Es ist bekannt, dass Stirlingmotoren auch dazu verwendet werden können, eine Wärmepumpe zu realisieren. Dabei treibt z.B. ein Elektromotor eine Stirlingmaschine an. Geschieht dies in der gleichen Drehrichtung wie beim Motorbetrieb, dann führt die Expansion im sonst beheizten Erhitzerkopf zu Eiseskälte, während der Kühler weiter überschüssige Abwärme – im Fall der Wärmepumpe – die nutzbare Heizenergie abführt.

Lässt sich daraus eine Rekuperation stricken? So noch nicht, aber so ähnlich. Wir brauchen auf jeden Fall einen heißen Erhitzer, der durch die Rekuperation zusätzlich erhitzt wird und einen Kaltteil, der durch die Rekuperation zusätzlich gekühlt wird, also eine Wärmepumpe in umgekehrter Richtung. Man müsste also mit einem Schalt-Getriebe den Rückwärtsgang einschalten. Nur ist diese Methode bei voller Fahrt etwas gewaltsam – um es gelinde zu sagen.

Aber es gibt noch eine zweite Chance. Man belässt die Drehrichtung des mechanischen Getriebes, kehrt dafür aber die Thermodynamik des Stirlings um. Das geht tatsächlich: Man muss nur die normale Voreilung des Verdrängers von 70°

Phasenwinkel gegenüber dem Arbeitskolben auf Null verschieben und dann weiter auf minus 70° Phasenwinkel schieben, so dass der Verdränger dem Arbeitskolben naheht. Bewerkstelligen kann man das Verschieben mit einem variablen Zahnriemen-Getriebe (Abb.1). Vorstellbar wäre folgendes Szenario:

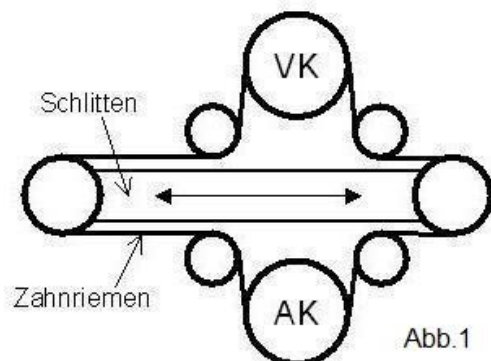
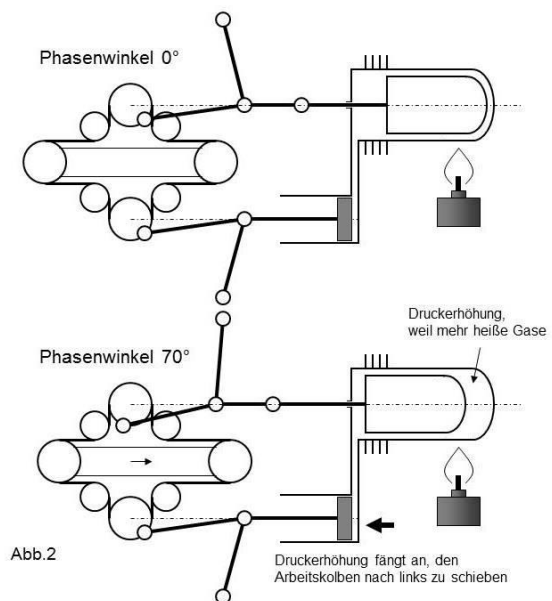
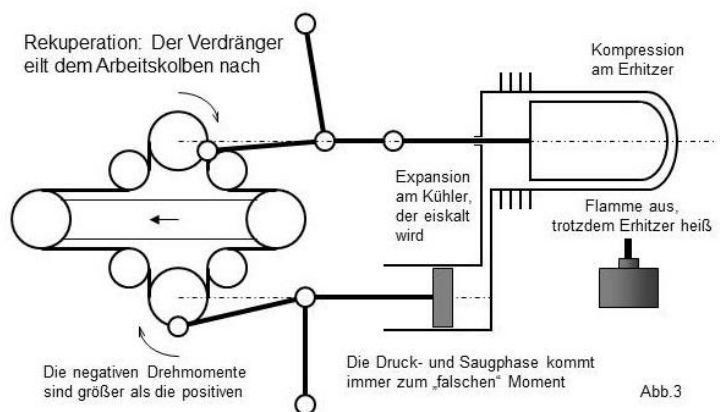


Abb.1

Auf einer Gleisstrecke ohne Oberleitung heizen Holzhackschnitzel oder Pellets einen Behälter mit flüssigem Metall, z.B. Zinn. Die Erhitzer eines Mehrzylinder-Stirlingmotors (siehe Abb.4) sind in dieses Flüssigmetall eingetaucht und werden auf Solltemperatur gebracht. Dann dreht der Zugführer eine Kurbel dreimal in Uhrzeigersinn, wodurch der Zahnriementrieb am Stirlingmotor von 0° auf 70° Phasenwinkel schaltet (Abb.2). Dadurch setzt sich der Zug in Bewegung. Das übliche Dieselgeräusch ist nicht zu hören, man nimmt nur das Rollen der Räder wahr. Über ein Doppelkupplungs-Getriebe gewinnt die Fahrt immer weiter an Geschwindigkeit. Schließlich hat der Zug seine Reisegeschwindigkeit erreicht. Der Zugführer dreht seine Kurbel zwei Umdrehungen zurück, wodurch der Phasenwinkel auf ca. 20° zurückgeht. Dadurch nimmt das Drehmoment merklich ab und der Zug beschleunigt nicht mehr. Außerdem hört die Beschickung mit Feuerholz fast auf, die Flamme geht in die Knie. Dann kommt der nächste Bahnhof in Sicht und es wird gar kein Schub mehr gebraucht – die Kurbel wird noch eine Umdrehung zurückgedreht – der Phasenwinkel liegt jetzt bei 0° . Die Feuerung wird abgestellt. Der Zug läuft im Leerlauf.



Dann muss gebremst werden. Dazu dreht der Zugführer die Kurbel weiter gegen die Uhrzeigerrichtung. Der Phasenwinkel wird negativ. Es setzt eine allmähliche Bremsung ein, die Rekuperation, die immer stärker wird, je weiter der Phasenwinkel gegen minus 70° geht und je weiter das Doppelkupplungs-Getriebe herunterschaltet. Der



Erhitzerkopf wird in dieser Zeit durch die Kompression - die jetzt bei ihm und nicht mehr im Kaltteil stattfindet – sehr heiß, von 500°C auf über 750° . Das flüssige Metall nimmt die Wärme auf und speichert sie in dem Behälter. Zur gleichen Zeit findet eine Expansion im Kaltteil des Stirlingmotors statt. Hatte das Kühlwasser vor der Rekuperation eine Temperatur von 90°C , so kühlt es sich jetzt auf 10° ab. Starke Pumpen pressen es nun durch den Kühler, damit sich in ruhigeren Ecken des Wasserkühlers kein Eis bilden kann. Die „Kälteenergie“ wird aus der Maschine entnommen und in einem Wassertank zwischengelagert. In der gesamten Zeit, in der das Wasser kälter als die Umgebungsluft ist, bleibt der Ventilator des Abwärmeregisters abgeschaltet, damit die wertvolle „Kälteenergie“ nicht verlorengeht.

Auf dem letzten Meter vor dem Stillstand im Bahnhof werden die mechanischen Bremsen dazugeschaltet. Dies ist auch dringend nötig, denn nach dem Stillstand würde der Zug – da ja der thermische Rückwärtsgang eingeschaltet ist – sich tatsächlich von alleine rückwärts bewegen, und das mit vollem Schub! Denn nun hat der Stirlingmotor ein übergroßes Temperaturgefällen zwischen Heiß und Kalt – natürlich auch ideal zum erneuten Anfahren des Zuges in die richtige Richtung. Wenn nach wenigen Minuten der Zug abfahrbereit ist, wird der Phasenwinkel wieder auf plus 70° gebracht und ab geht die Post! Wer sein Stirlingmodell schon mal mit Übertemperatur gestartet hat, weiß, was jetzt passiert: der Motor droht regelrecht durchzugehen! Sollte die Beschleunigung des Zuges all zu heftig sein, kann man aber in diesem Fall die Kurbel etwas zurückdrehen.

Eine Rekuperation ist mit dem Stirlingmotor also durchaus möglich. Natürlich nicht nur bei der Bahn, sondern auch beim Auto. Allerdings ist der Rollwiderstand zwischen Gummirädern und Asphaltboden so hoch, dass sich ein Auto mit Rekuperation nur bei roter Welle oder im Mittelgebirge lohnt (ca. 30%

Energieersparnis,

ähnlich wie beim Elektroauto mit Rekuperation).

Die Brennstoff-Ersparnisse bei der Bahn dürften viel höher liegen. Der Rollwiderstand zwischen Stahlrad und Stahlschiene ist derartig gering, dass sich eine Rekuperation für jeden Zug lohnen würde, vor allem wenn ständig Bahnhöfe bedient werden müssen. Die Brennstoff-Ersparnis kann hier bis zu 70% betragen! Damit ist der Stirlingantrieb dem Dieselantrieb hoffnungslos überlegen. Auch der batteriebetriebene Elektroantrieb hat hier keine Chance, weil die Zyklenfestigkeit bei elektrischen Batterien begrenzt ist – bei Flüssigmetall-„Batterien“ dagegen gibt es keine Alterung! Bestechend ist aber vor allem die enorme Brennstoff-Ersparnis.

Unter diesen Umständen ist es nicht nachzuvollziehen, dass es keine Institute zur Entwicklung von Stirlingmotoren bei der Bahn gibt, keine Vorlesungen auf Akademien der Bahn und keine Firmen, die von der Bahn für die Produktion dieser Motoren nominiert sind. Und das alles vor dem Hintergrund, dass das Zeitalter der fossilen Brennstoffe unwiederbringlich zu Ende geht. (Biodiesel ist in großem Stil nicht wirklich eine Alternative und wird dann ebenfalls unerschwinglich teuer sein.)

Die Entwicklungszeit für ein völlig neues Produkt dieser Größe bis zur Serienproduktion dauert ca. 20 Jahre. Die Zeit drängt. Warum noch warten...

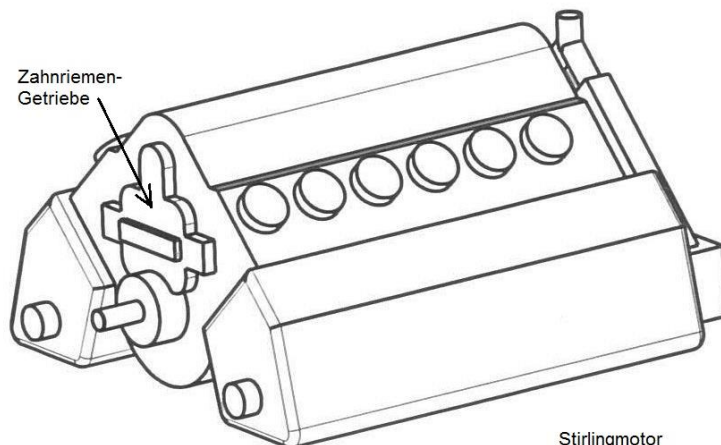


Abb.4

Stirlingmotor
für Lokomotiven auf Strecken
ohne elektrische Oberleitung