

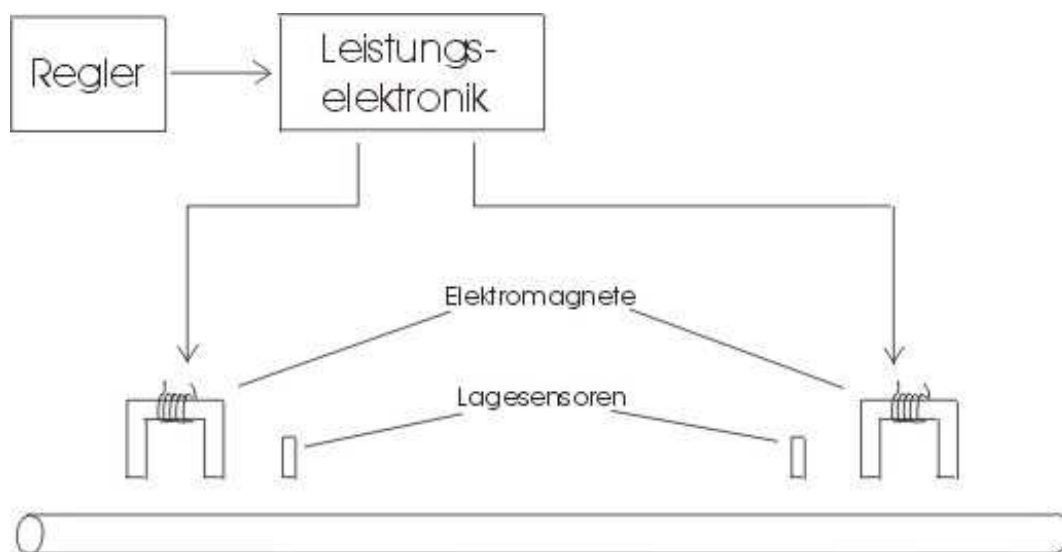
# MAGNETISCHES SCHWEBEN

## Rolf Gabel

Am Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen gibt es verschiedene Forschungsvorhaben zu dem Thema „Magnetisches Schweben“, daher wurde ein Schwebemodell mit aktiver elektromagnetischer Lagerung aufgebaut.

Ein solches System besteht aus einem oder mehreren Elektromagneten und der Welle als Schwebekörper, Leistungselektronik, welche die erforderlichen Ströme durch die Magnetspulen steuert, Sensorik zur Bestimmung der Wellenposition und somit der Größe der Luftspalte. Ein Regler wertet die Sensor- und Sollwertsignale aus und gibt Stromsollwerte an die Leistungselektronik, so daß der Schwebekörper in der Sollposition gehalten wird.

**Abb. 1** skizziert die Komponenten des aufgebauten Modells.



**Abb. 1:** Komponenten des Schwebemodells

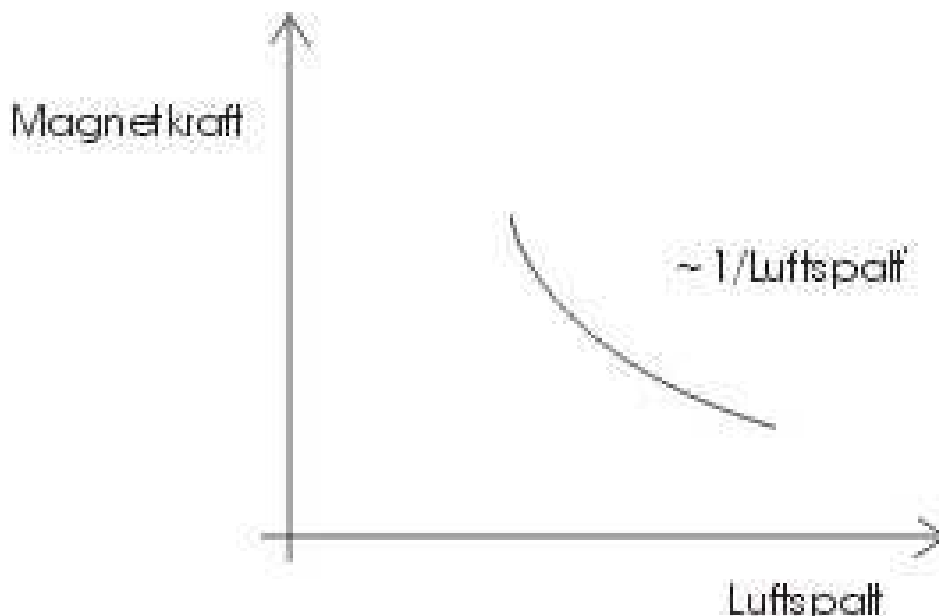
Die Lagesensoren bestehen aus induktiven Entfernungsmessern und geben eine dem Abstand proportionale analoge Spannung aus.

Die Leistungselektronik besteht aus Stromregler und Steller. Der Stromregler erhält von dem Regler ein analoges Stromsollwertsignal und steuert den Steller so an, daß der geforderte Strom durch die Magnetspulen fließt.

Wie in **Abb. 1** skizziert werden zwei Elektromagnete eingesetzt, ein reiner Elektromagnet und ein Hybridmagnet, in dessen Eisenkreis ein Permanentmagnet (PM) eingebaut ist. Der PM bewirkt eine ständige Magnetkraft, auch

wenn kein Strom durch die Magnetspule fließt. Auf diese Weise läßt sich das Lager für einen Arbeitspunkt einstellen, der für das Schweben notwendige Energieaufwand im Arbeitspunkt wird verringert. Der Strom durch die Magnetspule bewirkt je nach Polarität eine Verstärkung oder eine Abschwächung der Magnetkraft des PM. Durch den im Vergleich zum reinen Elektromagneten kleineren Strom können die Magnetspulen und die Leistungselektronik kleiner dimensioniert werden.

Der Regler ist notwendig, da das Magnetlagersystem instabil ist, eine Auslenkung vom Arbeitspunkt bewirkt also keine Rückstellkraft. Physikalisch wird das instabile Verhalten durch den Zusammenhang von Magnetkraft  $F_M$  und Luftspalt  $\delta$  beschrieben, die Magnetkraft ist antiproportional zum Quadrat des Luftspalts:  $F_M \sim 1/\delta^2$ .



**Abb. 2:** Magnetkraft  $F_M$  in Abhängigkeit vom Luftspalt  $\delta$  bei konstantem Strom

Im Arbeitspunkt ist die Magnetkraft gleich der Gewichtskraft des Schwebekörpers, beide Kräfte kompensieren sich und der Körper schwebt.

Eine Auslenkung von diesem Gleichgewichtspunkt hat zur Folge, daß Magnet- und Gewichtskraft nicht mehr gleich groß sind.

Vergrößert sich der Luftspalt, wird die Magnetkraft schwächer, der Schwebekörper fällt weiter ab. Erfährt der Schwebekörper dagegen eine Auslenkung in Richtung Elektromagnet, verringert sich der Luftspalt und die Magnetkraft steigt an, so daß der Schwebekörper weiter in Richtung des Elektromagneten gezogen wird.

Ein Regler kann diesen Effekt ausgleichen, indem er den Strom entsprechend an die neue Position anpaßt, zusätzlich im Magnetlager Rückstellkräfte aufbaut und den Schwebekörper so in den Arbeitspunkt zurückführt.

Implementiert ist der Regler auf einem Mikrocontrollerboard mit einem C167-Mikrocontroller. Zu dem Board gehört eine Signalanpassung, die als Schnittstelle zwischen Mikrocontrollerboard und den weiteren Komponenten (Leistungselektronik, Sensoren) dient. Hier werden die Signale umgeformt und gegebenenfalls gefiltert.

Die auf dem Mikrocontrollerboard laufende Software enthält die Regleralgorithmen für einen PID-Regler. Ein PID-Regler besitzt, wie der Name besagt, einen Proportional- (PA), einen Integral- (IA) und einen Differentialanteil (DA).

Der PA bewirkt eine dem Fehler proportionale Stromänderung. Der Fehler ist die Differenz zwischen Soll- und Istwert. Durch den PA entsteht im wesentlichen die Rückstellkraft, um den Schwebekörper in die Sollage zu führen.

Der DA verleiht dem Regler eine dämpfende Eigenschaft, so werden starke Überschwinger durch den PA vermieden.

Der IA minimiert stationäre Fehler, womit im wesentlichen kleine aber dauerhafte Abweichungen von der Sollage ausgeregelt werden.

Der Regler berechnet abhängig vom Lagesollwert, Lageistwert und den vorangegangenen Fehlerwerten die erforderlichen Spulenströme und erzeugt das Stromsollwertsignal für die Stromregler.

Das hier beschriebene Schwebemodell demonstriert eine magnetische Schweberegung. Durch den komponentenweisen Aufbau können leicht Änderungen an einem bestehenden System getestet und entwickelt werden. So ist für die Zukunft die Verwendung von anderen Regleralgorithmen möglich oder es können leicht andere Wegaufnehmer an diesem System getestet werden. Die Ergebnisse lassen sich anschließend auf andere Schwebesysteme übertragen.