

Projekt: Angewandtes magnetisches Schweben

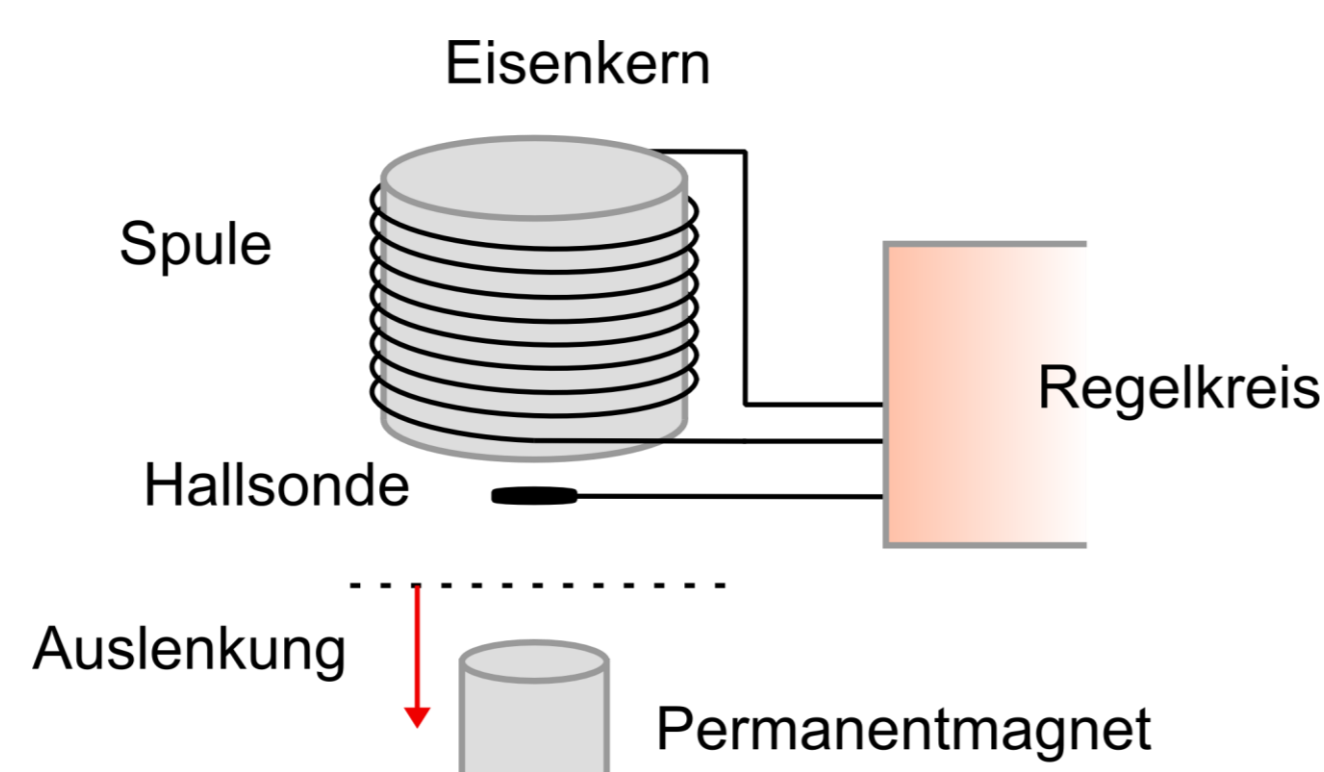
Praktikanten: Tobias Berkefeld, Patrick Haase, Nils Kanning, Steffen Klemer, Franziska Klingner, Daniel Schiepel

Betreuer: Dr. Martin Wenderoth

Einleitung:

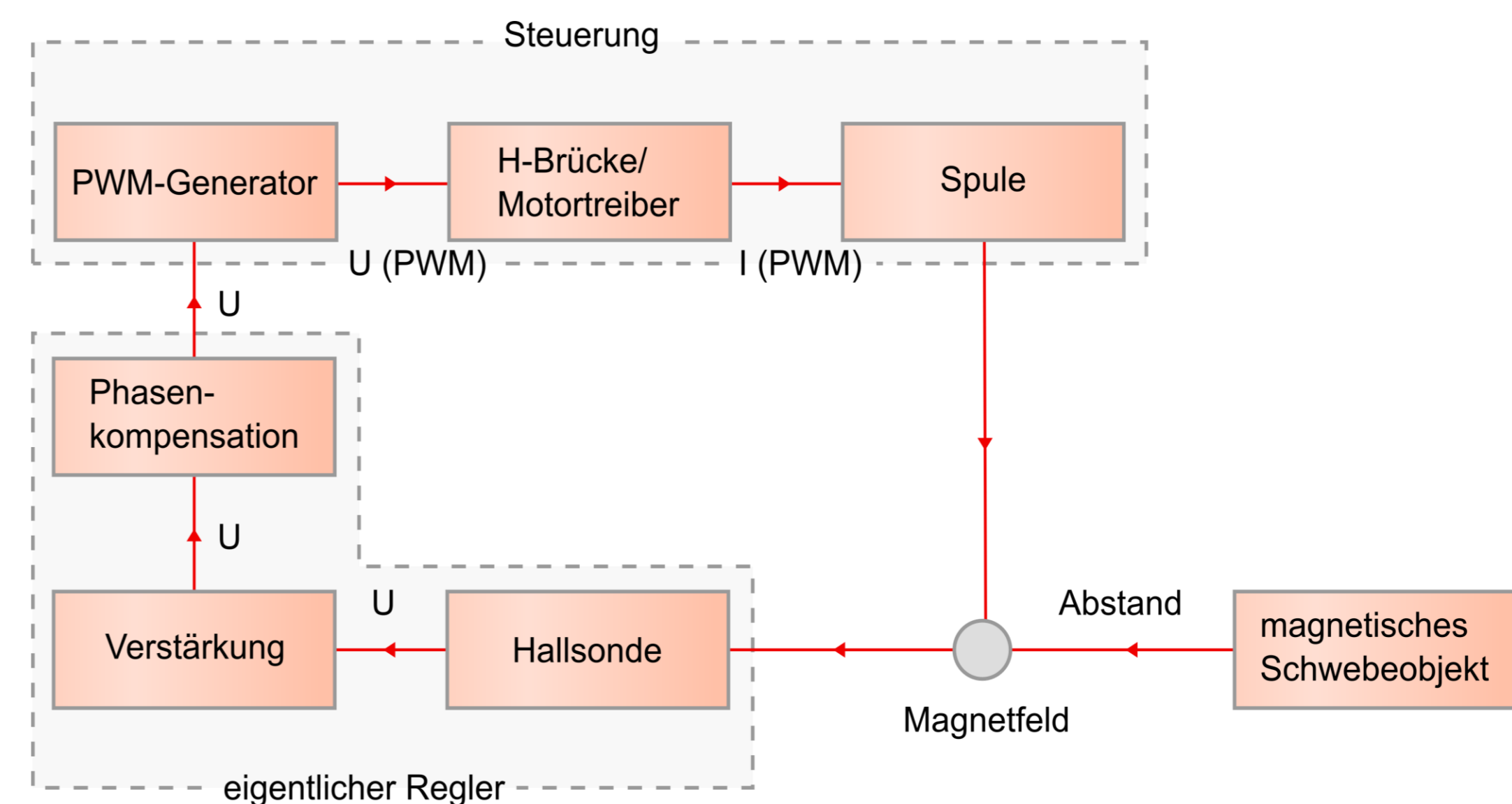
Es ist nicht möglich ausschließlich mit Hilfe von statischen ferro- oder paramagnetischen Effekten etwas schweben zu lassen. Dies besagt Earnshaws Theorem. Mit Hilfe einer aktiven Regelung klappt es dennoch.

In unserem Aufbau misst eine Hallsonde das resultierende Magnet-Feld einer Spule und eines Permanentmagneten. Entsprechend des gemessenen Feldes wird der Spulenstrom so geregelt, dass der Magnet an einer Stelle schwebt.

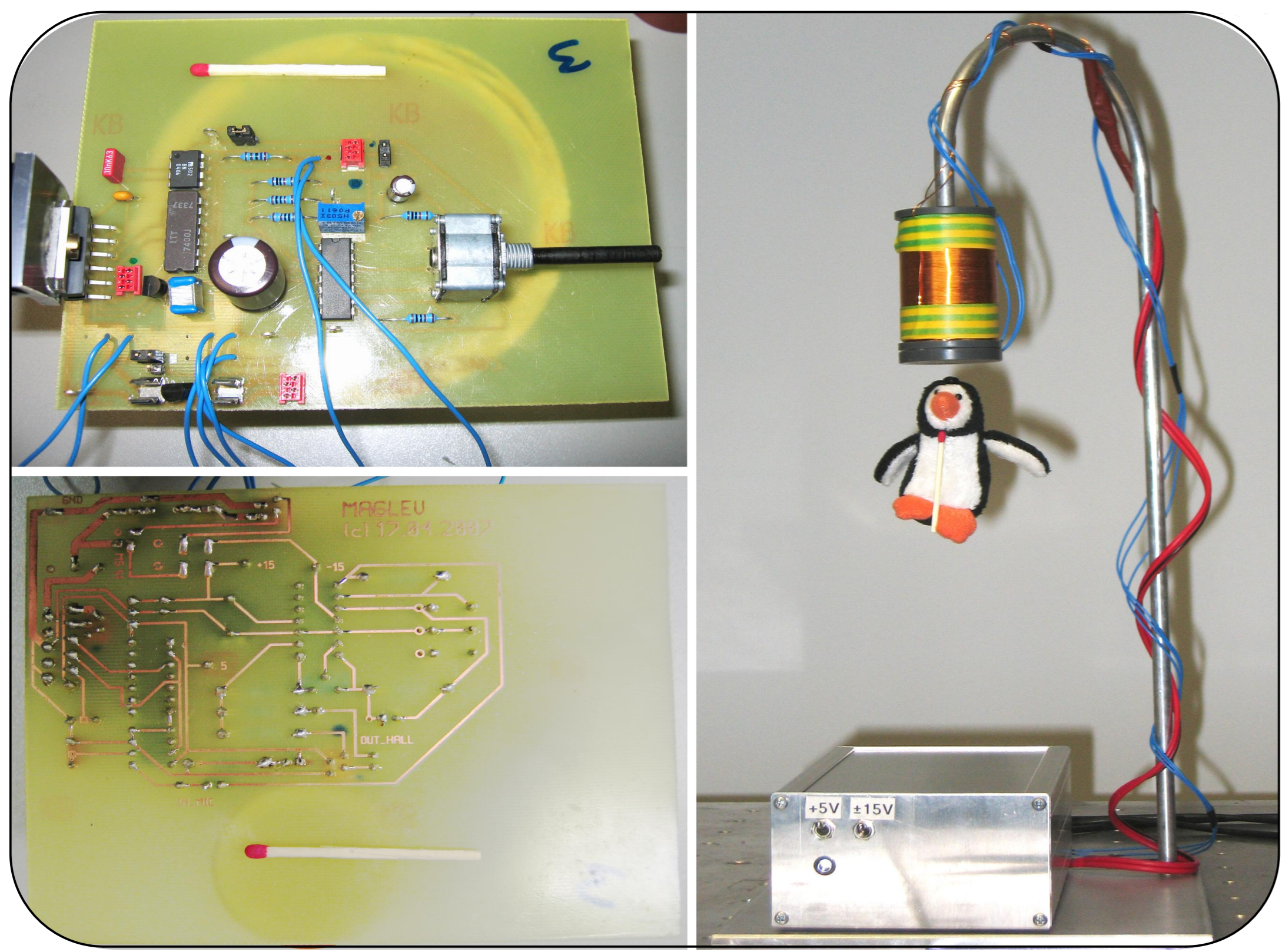


Funktionsprinzip:

Um den Abstand zwischen Magnet und Spule zu bestimmen, messen wir das resultierende Magnetfeld mit einer Hallsonde. Das Signal der Hallsonde wird an den Eingang einer Pulsweitenmodulation (veränderliche Rechteck-Spannung) gelegt. Dieses Signal wird an eine H-Brücke weitergegeben, die in Abhängigkeit vom Signal Stärke und Richtung des Spulenstroms steuert.

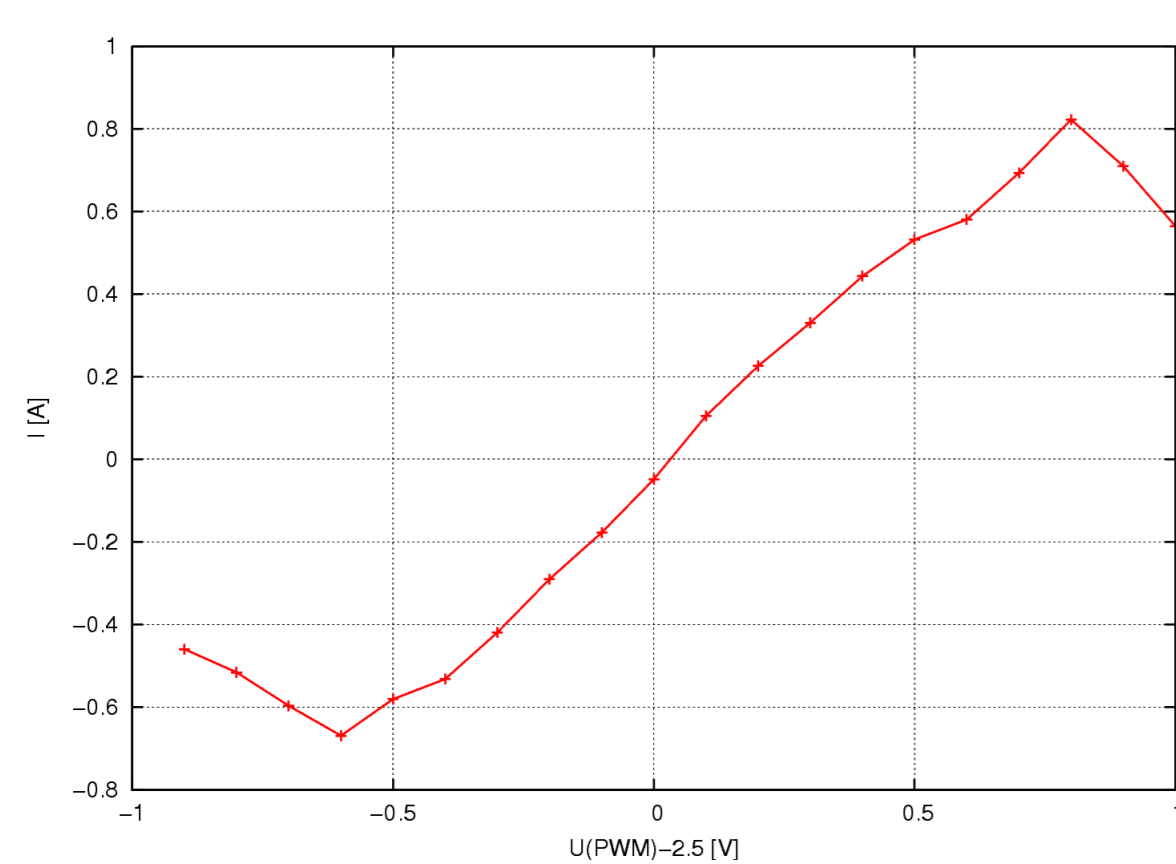


Es entsteht ein geschlossenes, schwingfähiges System. Tatsächlich beginnt der Magnet zu schwingen. Die Amplitude wird mit der Zeit immer stärker, bis der Magnet sich schließlich ganz an den Eisenkern heranzieht, oder aber herunterfällt. Um dies zu verhindern, ist es notwendig, den Steuerkreis um einen Regelkreis zu ergänzen. Mit Hilfe des Regelkreises wird eine Verstärkung sowie Phasenverschiebung zwischen dem Signal der Hallsonde und dessen Umsetzung in einen neuen Spulenstrom erreicht. Wenn die Phasenverschiebung richtig eingestellt ist, erfährt die Schwingung des Magneten eine Dämpfung und der Zustand ist stabil.

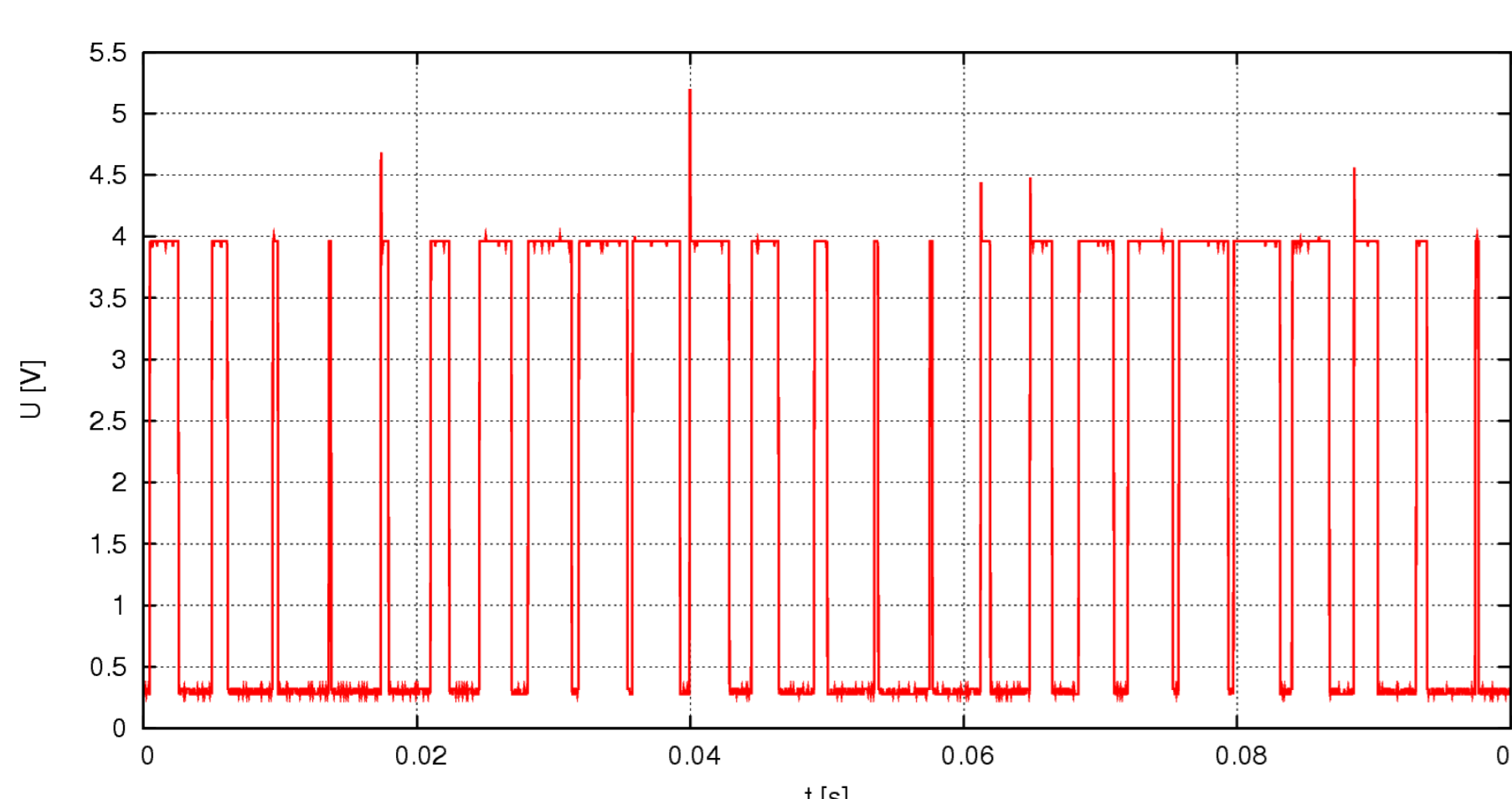


Steuerung:

Das Kernstück der Steuerung ist die Pulsweitenmodulation. Wie in der Abbildung zu sehen ist, hängt der effektive Spulenstrom linear von der Hallspannung ab. Als effektiven Strom bezeichnen wir einen Gleichstrom, der nötig wäre, um das gleiche Magnetfeld zu erreichen. Das Bild eines effektiven Magnetfeldes kann also trotz der Rechteckspannung aufrechterhalten werden.



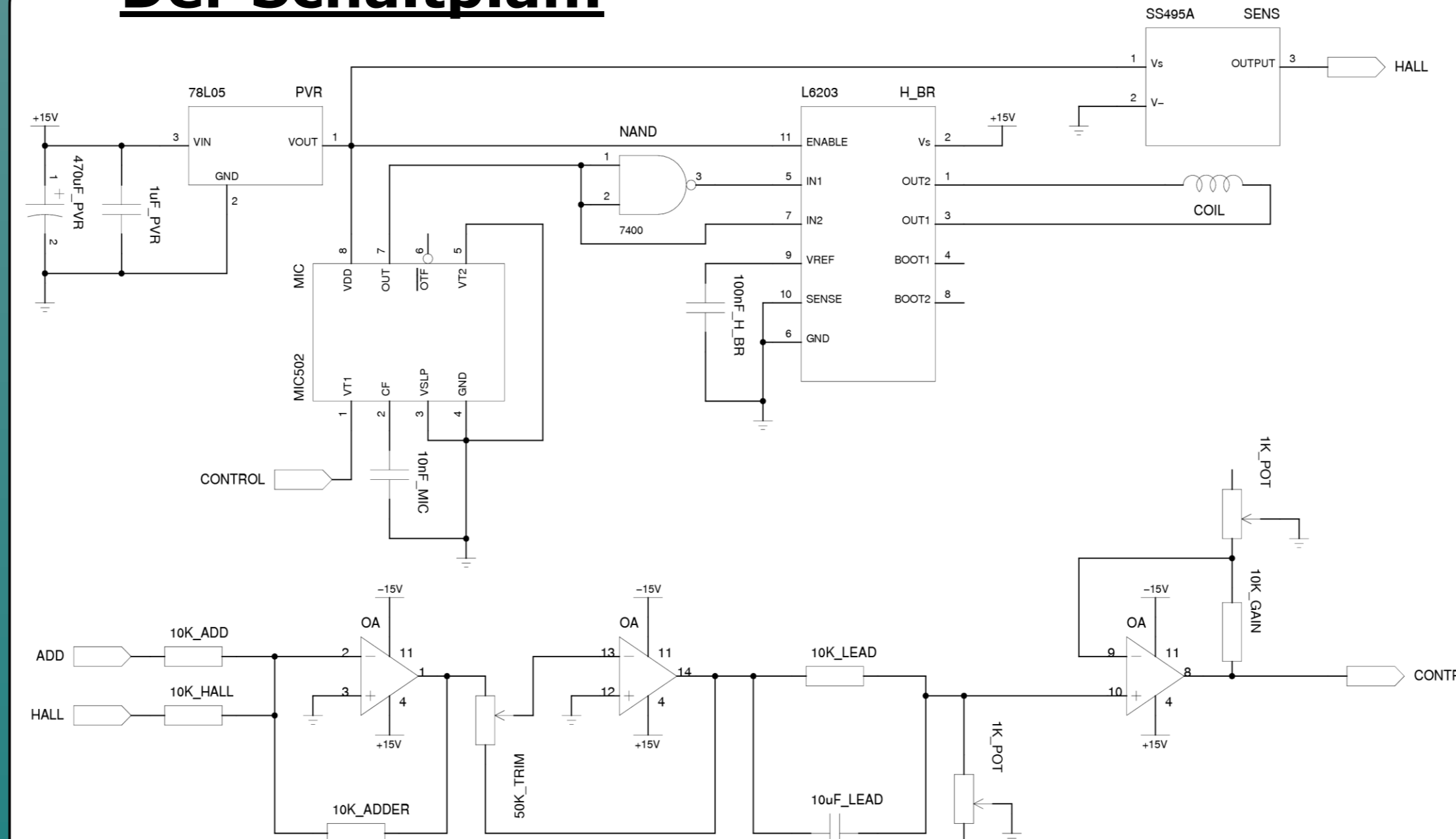
Das folgende Bild zeigt eine PWM, die aus einer Sinusspannung resultiert.



Regelung:

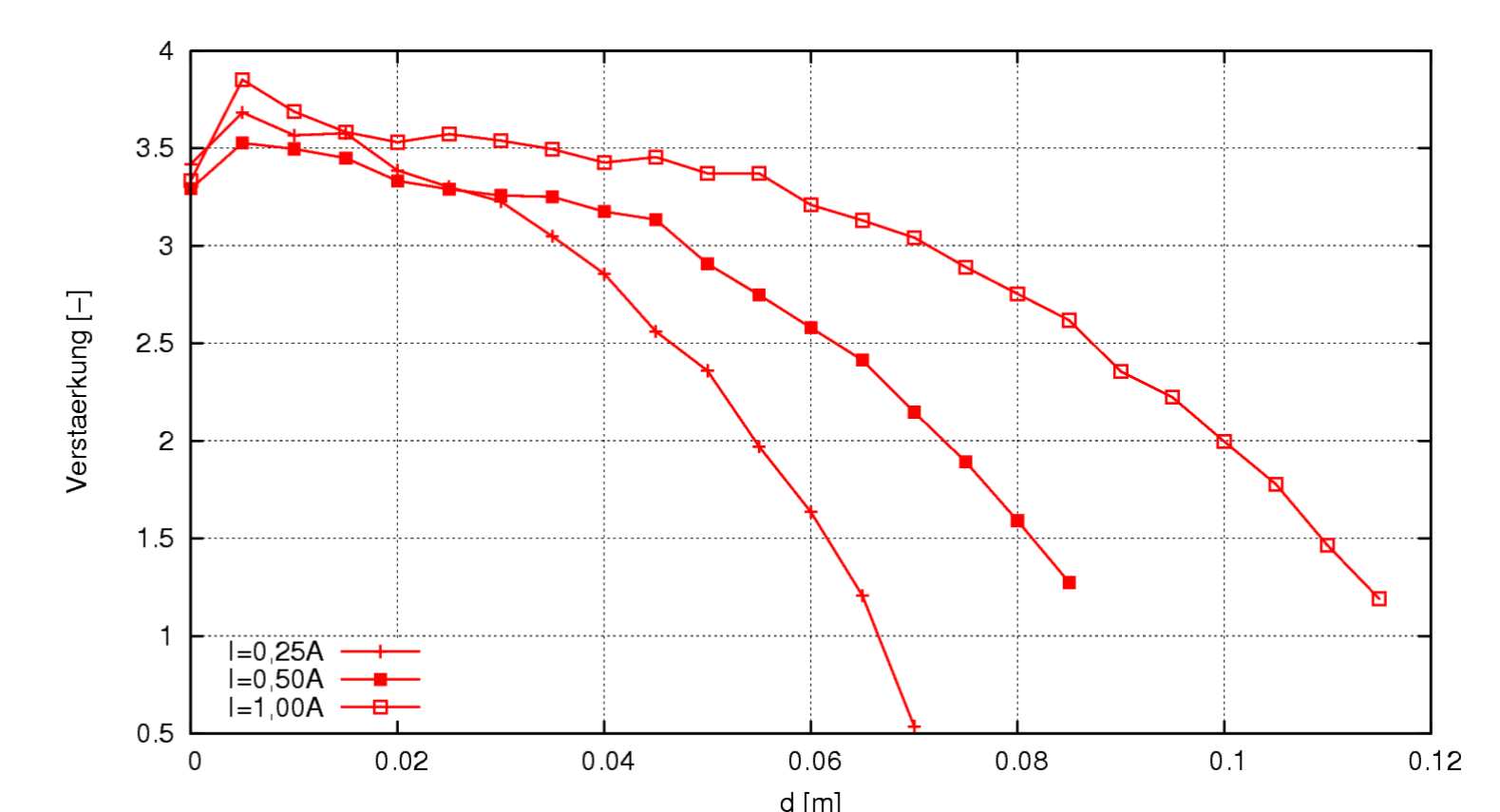
Der Regelkreis ermöglicht es, dass Signal der Hallsonde zu verstärken und eine Phasenverschiebung zu erzeugen. Die Möglichkeit zur Verstärkung ist notwendig, um das Gewicht des Magneten, die Spulengeometrie und Temperatur-Effekte in Einklang zu bringen. Wenn dies erreicht ist, ist (instabiles) Schweben möglich. Hierbei kommt ein regelbarer 50kΩ-Widerstand zum Einsatz. Durch Verstärkung und Phasenverschiebung (mittels Kondensatoren und regelbaren Widerständen) wird das Aufschwingen unterdrückt. Optimale Einstellungen können durch Bode-Diagramme ermittelt werden.

Der Schaltplan:



Schwierigkeiten:

Um zu verhindern, dass die Bauteile durchbrennen, ist es notwendig, den Strom zu begrenzen. Um dennoch ein ausreichendes Magnetfeld zu erhalten haben wir Eisenkerne und eine hohe Wicklungszahl verwendet. Dadurch wurde der Strom von $>2A$ auf $0.5A$ gesenkt. Es stellte sich heraus, dass die Feldverstärkung außerhalb der Spule sehr viel schwächer ist, als in ihr. So verstärkt der Eisenkern das Feld im Außenraum etwa um den Faktor 3 und nicht um $\mu_{r,Eisen} \approx 1000$, wie wir erwartet haben.



Ein bisher ungelöstes Problem ist die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur der Spule. Dadurch ist die optimale Einstellung des Regelkreises von der Temperatur und folglich von der Betriebsdauer und der Umgebung der Spule abhängig.