

Leseprobe aus Kapitel 5 ‚Magnetismus Teil 2/2‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

In dieser Leseprobe wird ein schwebender Magnet simuliert. Gezeigt wird der zeitliche Verlauf des Absinkens eines Magneten auf einen zweiten Magneten, der ihn gegen die Schwerkraft abstößt. Gesucht werden der Gleichgewichts-Abstand und die Dämpfung des Einschwing-Vorgangs.

Das Beispiel zeigt, wie gut auch nicht-lineare Systeme simuliert werden können.

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter strukturbildung-simulation.de

5.5.2 Ein schwebender Magnet

Zwei gleiche Magnete können so stark sein, dass sie die Erdanziehung überwinden und sich dadurch auf Abstand halten. Beim eingangs erwähnten Transrapid werden die abstoßenden Kräfte durch elektrische Ströme erzeugt.

Wie kompliziert die Dynamik dazu ist, zeigt das folgende Beispiel. Simuliert werden soll das zeitliche Verhalten beim Fallen eines Magneten gegen einen gleichen, aber entgegengesetzt gepolten Magneten. Gesucht werden der Abstand der Magnete im eingeschwungenen Zustand und der Einschwing-Vorgang beim Herunterfallen.

Zur Simulation eines schwebenden Magneten:

Als Versuchsobjekt wählen wir zwei Ringmagnete, die auf einen Kunststoff-Stab gesteckt werden. Für konstante Sink-Geschwindigkeit tauchen wir es in eine Flüssigkeit als Dämpfer. Zu deren Auswahl muss ihre Viskosität berechnet werden.

Gefordert wird die Sink-Geschwindigkeit. Sie soll etwa 1cm/s betragen. Gewählt wird ein Ringmagnet aus dem Shop ‚supermagnete‘: **R-15-06-06-N**. Er hat eine Höhe $H=6\text{mm}$, einen Durchmesser $D=15\text{mm}$ und eine Masse $m=6,8\text{g}$.

Ringmagnet

Artikel-ID:	R-15-06-06-N
Form:	Ring
Aussen-Durchmesser:	15 mm $=D=2R$
Innen-Durchmesser:	6 mm
Höhe:	$H=$ 6 mm
Toleranz:	+/- 0.1 mm
Gewicht:	$m=$ 6,8 g
Beschichtung:	vernickelt (Ni-Cu-Ni)
Magnetisierung:	N42
Haftkraft:	ca. 5,1 kg
max. Einsatztemperatur:	80°C

Quelle: supermagnete.com

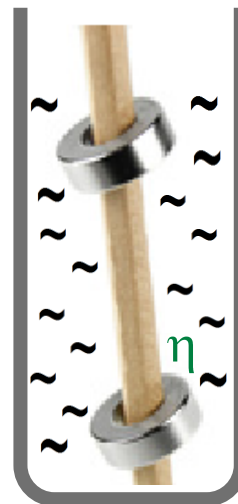


Abb. 4.4 Der Einschwing-Vorgang eines schwebenden Magneten: Die magnetische Kraft ist so groß, dass sie die Schwerkraft überwindet und den oberen zum unteren Magneten auf Abstand hält.

Folgende Fragen sind zu beantworten:

- Welcher Gleichgewichts-Abstand stellt sich ein?
- Welche Flüssigkeit ist zur Dämpfung geeignet?
- Wie groß muss der Durchmesser des Flüssigkeits-Behälters sein?

Die Dämpfung des fallenden Magneten

Nach einer kurzen Beschleunigungs-Phase bestimmen das Gewicht des Magneten und die Reibung – beschrieben durch die Reibungs-Konstante $k.R = F.R/v$ - die Sink-Geschwindigkeit v . Sie soll in der Größenordnung cm/s liegen.

Bei konstanter Geschwindigkeit ist die Reibungskraft $F.R$ gleich dem Gewicht $G = m \cdot g$ des Magneten. Deshalb muss $k.R$ an G angepasst werden. Das geschieht durch zwei Maßnahmen:

1. durch die Auswahl der Flüssigkeit, mit der das Fallrohr gefüllt wird und
2. durch den Abstand x von der Rohrwand zum Magneten, also durch den Rohrdurchmesser.

Wie groß der Abstand x zwischen der Innenwand des Rohres und dem Magneten sein muss, lässt sich mit dem Newtonsches Reibungs-Gesetz für scheibenförmige Gebilde berechnen:

$$F.R = \eta \cdot v \cdot D \cdot H / x$$

Mit

1. der Viskosität η (η =dynamische Zähigkeit) der Flüssigkeit
2. $D = 2 \cdot R$ ist der Durchmesser des Magneten
3. H ist seine Höhe (Dicke) und
4. x als Abstand zur Rohrwand.

Während des Sinkens ist die Reibungskraft $F.R$ gleich dem Gewicht $G = m \cdot g$ des Magneten. Für eine geforderte Sink-Geschwindigkeit v kann der Rohrabstand x errechnet werden:

$$x = (\eta \cdot v \cdot (D \cdot L) / (m \cdot g))$$

Die nebenstehende Tabelle zeigt die Viskositäten von den Flüssigkeiten Wasser und Glycerin und – zum Vergleich – die der Luft.

Für eine Sink-Geschwindigkeit $v = 10 \text{ mm/s}$ in der Flüssigkeit **Glycerin** muss der Rand-Abstand x des Ring-Magneten **20 μm** betragen (-> Feinmechanik).

Viskositäten:

Substanz	η in mPa·s
Wasser (20 °C)	1,00
Glycerin (rein)	1480
Luft	< 0,02

Abb. 5.5.2-1 Viskositäten im Vergleich

Die Rechnung zeigt,

- dass hier nur Glycerin als Dämpfungs-Flüssigkeit geeignet ist und
- dass der Rohr-Durchmesser um $2x = 40 \mu\text{m}$ größer als der Scheiben-Durchmesser sein muss.

Die Reibungskonstante $k.R$

Bei Simulationen muss die Reibungskraft $F.R = k.R \cdot v$ aus der Geschwindigkeit v errechnet werden. Dazu bestimmen wir die Reibungs-Konstante

$$k.R = G/v = \eta \cdot D \cdot L / x \sim 1/x$$

Zahlenwerte für den Magneten R-15-06-06-N:

Durchmesser $D = 15 \text{ mm}$, Masse $m = 6,8 \text{ g}$ -> Gewicht $G = m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 66 \text{ mN}$

$k.R = G/v = 6 \text{ mNs/mm}$.

Dieser Wert ist bei der Simulation des Sink-Vorgangs einzustellen. Die Vergrößerung von $k.R$ verkleinert die Sink-Geschwindigkeit, die Verkleinerung vergrößert die Geschwindigkeit. Das verschlechtert die Dämpfung des Einschwingvorgangs.

Von Interesse ist zweierlei:

- Wie groß ist der Abstand der Magnete?
- Wie lange dauert der Sink-Vorgang?

Simulation des fallenden Magneten

Gesucht wird der zeitliche Verlauf der Annäherung des fallenden Magneten an den erdfesten Magneten. Die Messgrößen des sinkenden und schwebenden Magneten werden nach der folgenden Struktur simuliert. Sie besteht aus einem magnetischen und einem mechanischen Teil, die anschließend erläutert werden.

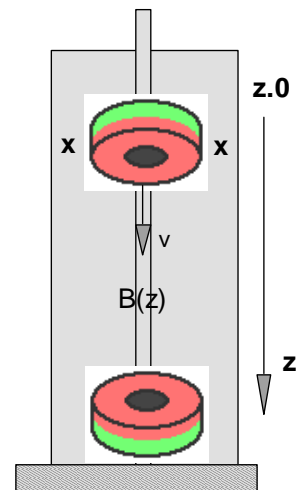


Abb. 5.5.2-2 Ausgehend von einem Anfangs-Abstand $z.0$ soll der zeitliche Verlauf $z(t)$ des herabfallenden Magneten berechnet werden.

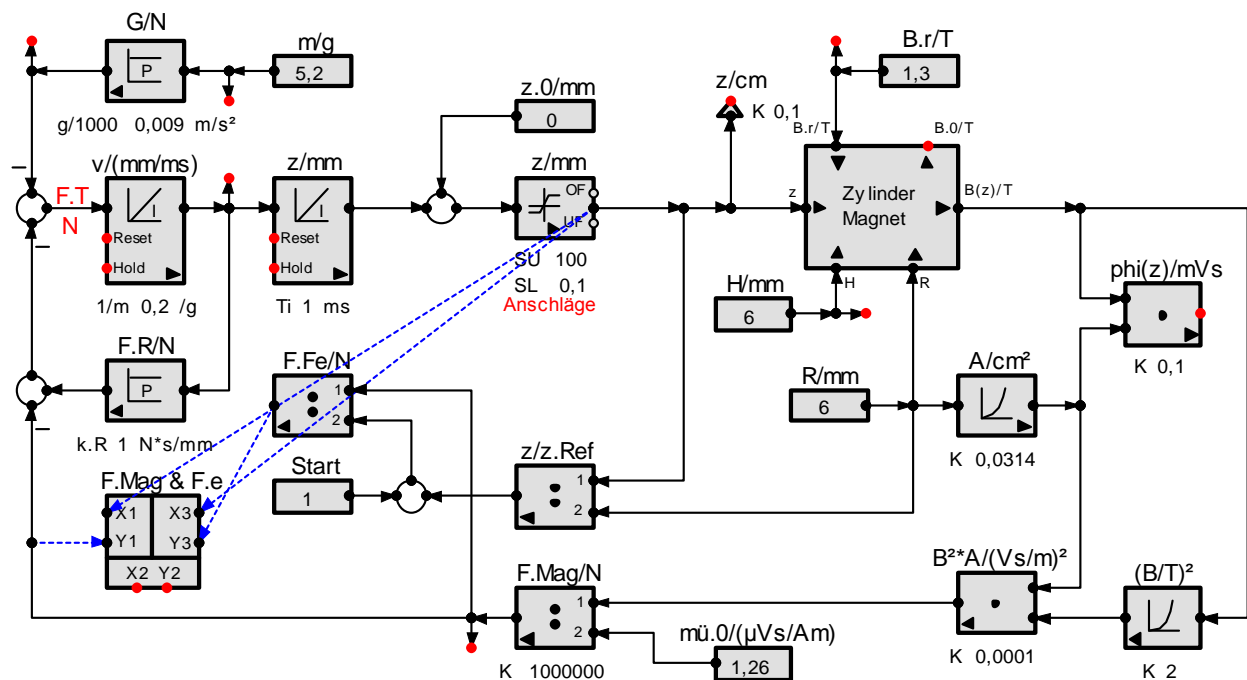


Abb. 5.5.2-3 Die Struktur des schwebenden Magneten

Erläuterungen zur Gesamt-Struktur:

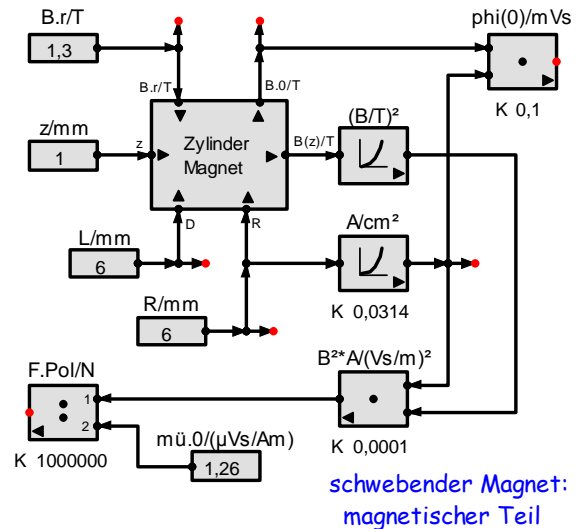
Der magnetische Kreis scheint eine Mitkopplung zu sein, denn $F.Mag$ wird eingangsseitig subtrahiert. Das stimmt jedoch nicht, denn der Zylinder-Magnet invertiert: größere Abstände z verkleinern die Flussdichte $B(z)$.

Der magnetische Teil berechnet die zentrale Flussdichte $B(z)$ und die Kraft des Magneten als Funktion des Abstands z zwischen den beiden sich abstoßenden Magneten.

Dazu werden die oben erklärte Funktion $B(z)$ und die magnetische Kraftgleichung benötigt. Pro Pol gilt

$$F.Pol = A \cdot B(z)^2 / \mu_0.$$

Abb. 5.5.2-4 Die Berechnung einer Polkraft



Der mechanische Teil errechnet sich aus der beschleunigenden Kraft

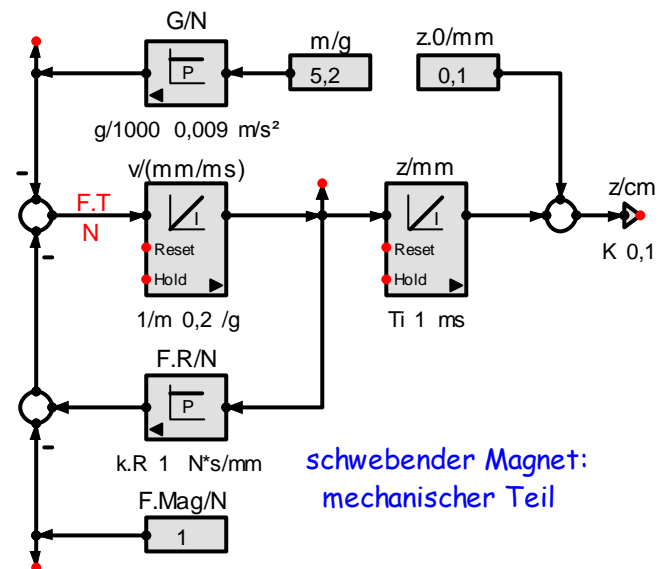
$$F.T = G - F.Mag$$

durch eine Integration der Beschleunigung $a = F.T/m$.

Durch Integration der Beschleunigung erhält man die **Geschwindigkeit v** und durch nochmalige Integration die **Wegänderung z**.

Der Anfangswert $z.0$ ist frei wählbar.

Abb. 5.5.2-5 Berechnung des Abstandes z eines schwobenden Magneten



Die optimale Reibungs-Konstante ist hier 1Ns/mm. Das ist viel größer als der vorher berechnete Wert von 0,06Ns/mm. Der Grund dafür ist der magnetische Kreis, der das System entdämpft. Das muss durch erhöhte Reibung kompensiert werden.

Die **Simulations-Ergebnisse** zum absinkenden Magneten aus einer Höhe $z_0=50\text{mm}$:

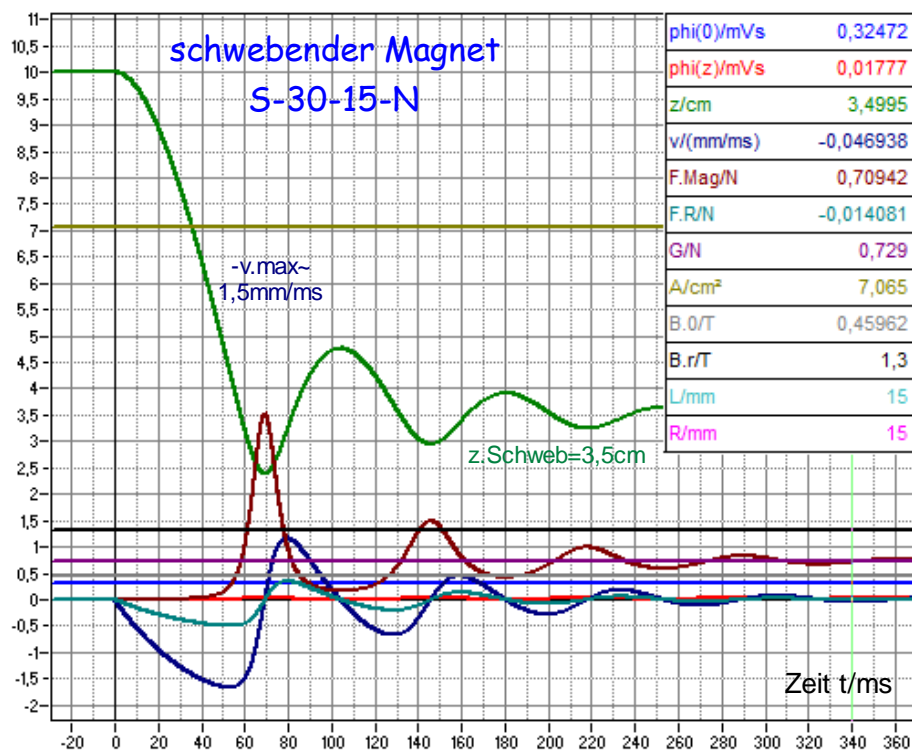


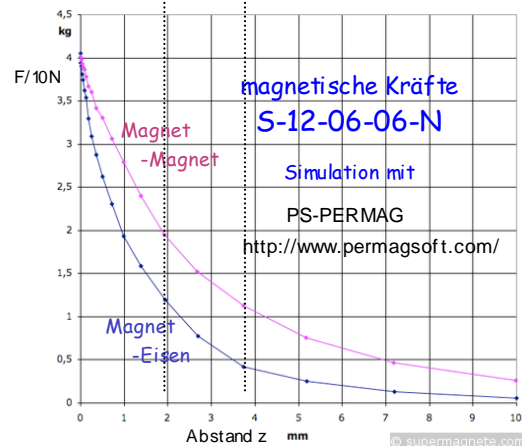
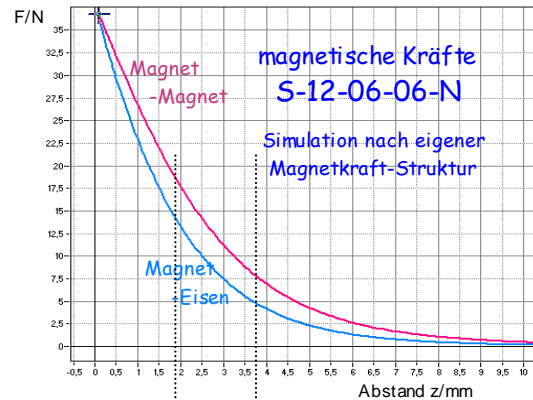
Abb. 5.5.2-6 Der Einschwing-Vorgang beim Fallen eines Magneten auf einen abstoßenden Pol

Vergleich der simulierten Magnetkräfte

mit den von der Firma Webcraft für einen Supermagneten gemessenen Werten:
 oben: die mit der Struktur von Abb. 5.5.2-3 errechnete Magnet-Kraft
 unten: die mit einem Programm der Fa. PERMAG simulierte Magnet-Kraft

Der Unterschied beträgt maximal 20% vom Messwert. Welche Simulation der Realität näher kommt, müsste durch Messung überprüft werden. Danach müssten die Simulationen verfeinert werden.

Abb. 5.5.2-7 Die Kraft von einem Magneten auf Eisen und zwei Magneten gegeneinander als Funktion des Abstands: oben die simulierten Werte, unten die mit einem kommerziellen Programm errechneten Werte.



Quelle: supermagnete.com