

Leseprobe aus Kapitel 13 ‚Wärme-Technik‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter

strukturbildung-simulation.de

Wenn die vorher behandelten Kühlkörper zum Abtransport der Verlust-Leistung nicht mehr ausreichen, muss eine Zwangskühlung installiert werden. Sie verhindert durch Umwälzung des Kühlmittels einen Wärmestau.

13.1.1 Die Konvektions-Kühlung

Bei Konvektion überträgt sich die Wärme eines Festkörpers (z.B. Heizkörper) durch Stöße auf das umgebende Medium (Gas oder Flüssigkeit), die dann mit dessen Strömungsgeschwindigkeit abtransportiert wird. Wie die folgenden Berechnungen zeigen, spielt dabei die Speicherfähigkeit des Transport-Mediums eine wichtige Rolle.

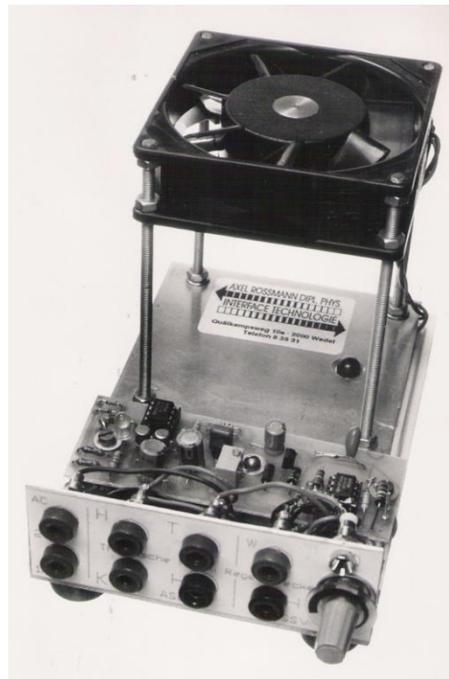


Abb. 13-20 Heizplatte mit Axial-Lüfter. Sie dient zum Aufbau von Temperatur-Regelungen. Unter der Heizplatte befinden sich die Heizwiderstände und der Temperatur-Sensor (Pt100).

Der Leistungs-Strom bei Konvektion

$$P.Konv = Q/t = Q/(m * \Delta T) * (m/V) * (V/t) * \Delta T = c * \rho * (V/t) * \Delta T$$

Freie Konvektion, wie sie z.B. bei Heizkörpern üblich ist, reicht in anderen Fällen nicht aus und ist auch zu langsam. Als Beispiel seien Thermoschränke genannt, in denen die Testobjekte Temperatur-Schocks ausgesetzt werden sollen. Die Lösung heißt **Zwangskonvektion** durch Lüfter. Um dies untersuchen zu können, hat der Autor eine **Heizplatte mit Axial-Lüfter** als reales Modell aufgebaut.

Die Anordnung wurde ohne vorherige Simulation gebaut. Daher ist zu überprüfen, welche **Erwärmung** durch den Heizer erreicht werden kann und wie viel mal schneller die **Abkühlung** mit Lüfter als ohne ist.

Der mechanische Aufbau

Unter einer **Aluminium-Platte** ($100 \times 90 \times 1.5 \text{ mm}^3$) befinden sich vier **Leistungs-Widerstände** (je 5 W , zusammen 22Ω) als Heizer. Im Abstand von 45 mm ist der Lüfter angebracht (12 V(DC) , $1,8 \text{ W}$, 80Ω). Die Heizung (24 W) kann durch Gleich- oder Wechselspannung (24 V) erfolgen. Sie wird durch eine LED angezeigt. Der Lüfter läuft mit Gleichspannung (24 V).

Der elektrische Aufbau

Der Heizer ($4 \cdot 5 \text{ W} = 20 \text{ W}$, zusammen 22Ω) soll der Einfachheit halber mit 24 V Wechselspannung betrieben werden. Dann zieht er etwa 1 A und leistet 24 W . Der Gleichstrom-Lüfter (12 V ; $1,8 \text{ W}$) benötigt maximal $0,15 \text{ A}$.

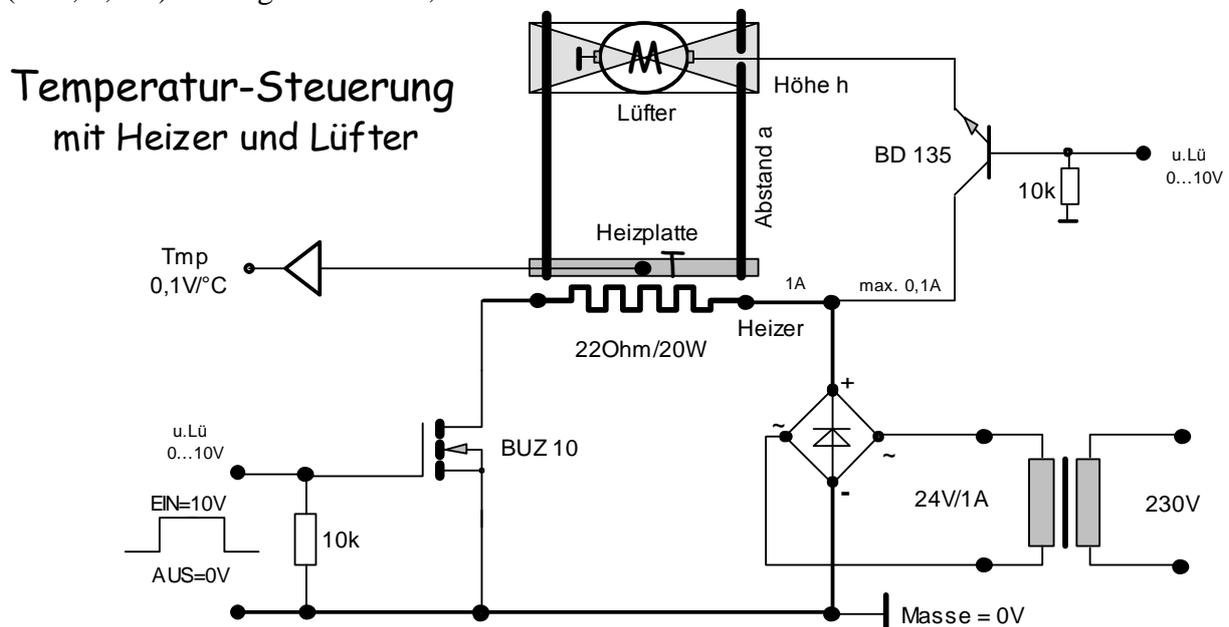


Abb. 13-21 Schema der Heizplatte mit Lüfter. Der Lüfter kann mit Spannungen von 0 bis 12V stetig betrieben werden. Der Heizer sollte für den quasi-stetigen Betrieb über einen Pulsbreiten-Modulator angesteuert werden (siehe Kapitel 7 Elektronik|Schaltungstechnik).

Die Anordnung soll später zum Aufbau von Temperatur-Regelungen dienen. Deshalb muss die Ansteuerung von Heizer und Lüfter standardisiert sein. Standard-Steuerspannung ist in der **Analog-Technik 10V** mit Strömen im mA-Bereich. Da hier Heizer und Lüfter größere Ströme benötigen, müssen Verstärker vorgeschaltet werden. Dazu dienen hier ein MOS-Fet (BUZ 10) für den Heizer und der bipolare Transistor (BD 135) für den Lüfter.

Transistoren werden im **Kapitel 7 Elektronik** erklärt. Hier werden sie nur als **Schalter** verwendet: **0V** am Steuereingang bedeutet **AUS** und **10V** am Steuereingang bedeutet **EIN**.

Zur Temperatur-Messung verwenden wir den Sensor Pt100, ein Temperatur-abhängiger Widerstand. Mittels Messverstärker wird daraus eine Spannung, die der Temperatur in °C proportional ist. Die zugehörige Schaltungs-Technik finden sie im **Kapitel 10 Temperatur-Messung**. Im Augenblick ist nur wichtig zu wissen, dass die Temperatur-Messung mit einer Konstanten von $0,1 \text{ V/}^\circ\text{C}$ erfolgt. 0 V bedeuten 0°C und 10 V bedeuten 100°C .

Der Axial-Lüfter

Abmessungen: 80x80x36 (mm).

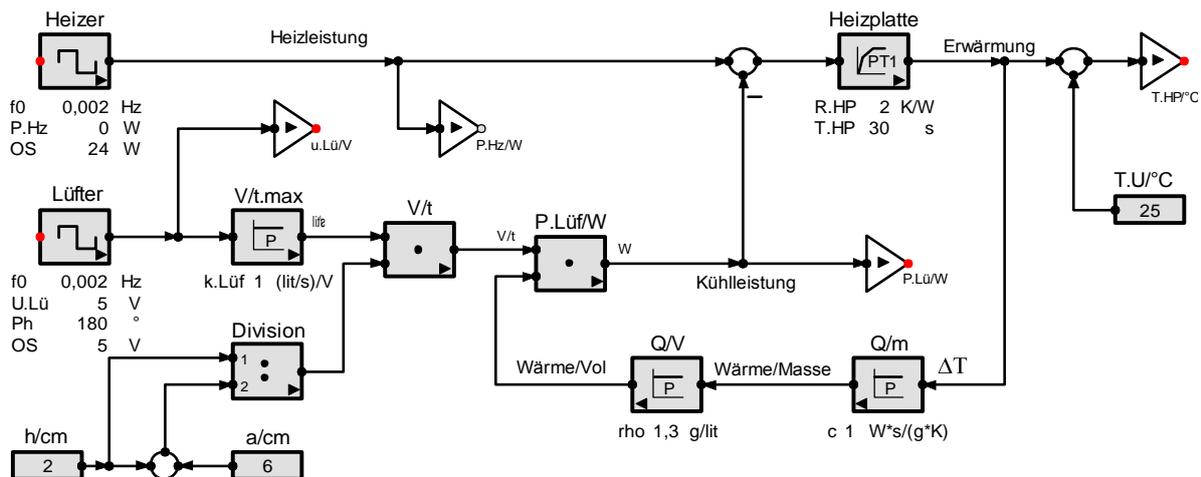
Der maximale Luftstrom ist Hersteller-Angabe: 36lit/s bei 12V -> die Lüfter-Konstante $k.Lü = 3(Lit/s)/V$.



Abb. 13-22 Lüfter führen Wärme von der Heizplatte an die Umgebung ab. Sie ist proportional zur Temperatur-Differenz ΔT und zur Lüfter-Drehzahl. Diese ist hier durch die Lüfterspannung einstellbar.

Die Struktur der Konvektions-Kühlung

Berechnet werden soll die Temperatur der Heizplatte in Abhängigkeit von der Leistung des Heizers und der Drehzahl des Lüfters.



Struktur 13-11 Heizplatte mit Lüfter. Die Erwärmung wird durch die elektrische Heizleistung eingestellt. Die Kälteleistung hängt von der Erwärmung und der Drehzahl des Lüfters ab.

1. Die Erwärmung der **Heizplatte** ist proportional zur Differenz aus der vom Heizer zugeführten und vom Lüfter abgeführten Leistung. Proportionalitäts-Konstante ist der **thermische Widerstand R.HP** der Heizplatte.
Zur Bestimmung von R.HP schalten wir den Heizer ein - hier P.Hz=24W - und messen die Erwärmung der Heizplatte: hier $\Delta T=48K$. Das Verhältnis ist der gesuchte **R.HP = 2K/W**
2. Bei dieser Gelegenheit können wir auch die thermische Zeitkonstante (hier T.th genannt) der Heizplatte bestimmen. Sie ist erreicht, wenn der Temperatur-Anstieg 63% des Maximalwerts erreicht hat. Hier sind das 30K.
Ist die Umgebung-Temperatur 25°C, messen wir die Zeit bis die Temperatur 55°C erreicht hat. Hier ergab sich **T.HP=30s**.

3. Als nächstes berechnen wir den Volumenstrom $V.0/t$ direkt am Lüfter. Er ist proportional zur Drehzahl und damit zur Lüfterspannung. Der Hersteller gibt die zugehörige Lüfter-Konstante an: hier $k.Lü = (V.0/t)/u.Lü = 1,5(Lit/s) \text{ pro Volt}$.
4. Der die Heizplatte erreichende Volumenstrom V/t wird umso geringer, je weiter sie vom Lüfter entfernt ist. Wenn man annimmt, dass sich der Luftstrom ab der **Lüfter-Höhe h** kugelförmig verteilt, wird V/t mit steigendem **Abstand a** der Heizplatte kleiner:

$$V/t(a) = (V.0/t) \cdot [h/(h+a)]$$
5. Aus dem Volumenstrom V/t des Lüfters kann die Kühlleistung $P.Lü$ des Lüfters berechnet werden: $P.Lü = (V/t) \cdot (W/V)$. Daher benötigen wir die **Volumen-Dichte Q/V** der Wärme-Energie des strömenden Mediums, hier Luft: $Q/V = c \cdot \rho$. c ist die spezifische Wärme-Kapazität. Sie kann Tabellenbüchern entnommen werden. Für Luft finden wir im Gieck, Z6 den Wert $c=1Nm/(g \cdot K)$ und die **Dichte $\rho=1,3g/Lit$** .
6. Die **Wärme-Dichte Q/m** hängt von der **Wärme-Kapazität c** der Luft ab und ist der Temperatur-Differenz ΔT zur Umgebung proportional: $W/m = c \cdot \Delta T$. Ueber die **Dichte ρ** der Luft ergibt sich zuletzt die benötigte **Volumen-Dichte W/V** der Wärme von Luft. Wir erhalten W/V aus der Massen-Dichte: $W/V = \rho \cdot W/m$. Die Luft-Dichte ρ kann derselben Tabelle (Gieck, Z6) entnommen werden: $c \cdot \rho = 1,3Ws/(K \cdot Lit)$.

Damit ist die Struktur der Heizplatte mit Konvektions-Kühlung mit allen Konstanten bestimmt und die Simulation kann starten.

Tests:

Um den Einfluss von Heizer und Lüfter auf die Heizplatten-Temperatur $T.HP$ zu erkennen, variieren wir immer nur einen Einfluss, während der andere konstant bleibt.

Wir beginnen mit dem Heizer:

1. Heizer EIN/AUS; Lüfter AUS

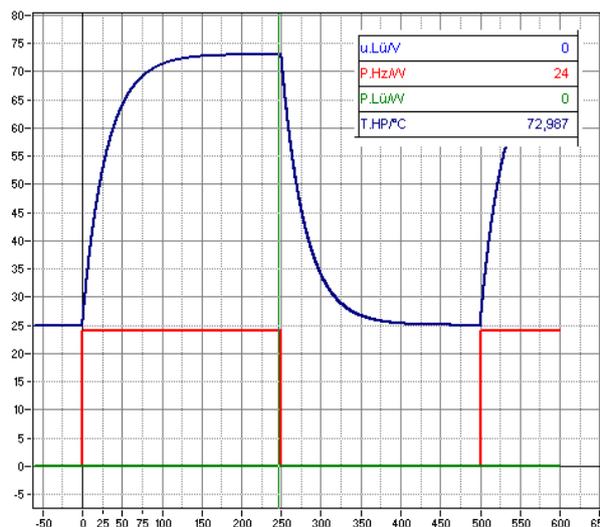


Abb. 13-23 Simulierter Temperaturverlauf bei Heizung ohne Kühlung: Erwärmung und Abkühlung erfolgen mit derselben Zeitkonstanten, hier 30s.

2. Heizer EIN; Lüfter AUS/EIN

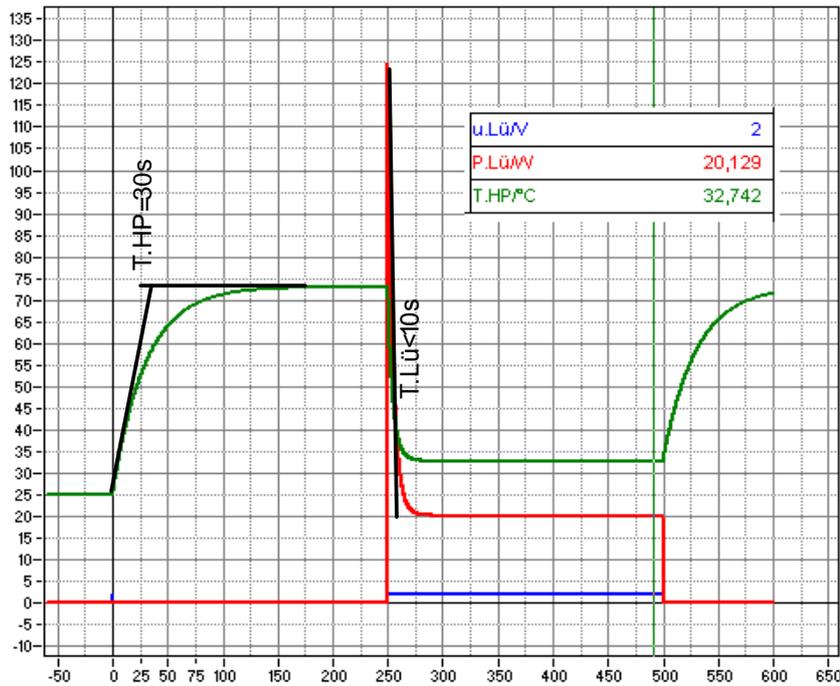


Abb. 13-24 Zuerst wird die Heizung eingeschaltet. Der Lüfter ist noch aus. Die Erwärmung erfolgt mit der Zeitkonstanten der Heizplatte ($T_{HP}=30s$). Nach 200s hat sie sich auf $75^{\circ}C$ aufgeheizt. Dann wird der Lüfter eingeschaltet. Die Abkühlung erfolgt wesentlich schneller, denn anfangs ist die Temperatur-Differenz zur Umgebung hoch und die Abkühlung wird durch den Wärme-Abfluss bei höheren Temperaturen unterstützt ($T_{Lü}<10s$).

Bei dieser Simulation wurde die benötigte Kühl-Leistung mit einer Lüfter-Spannung von 2V erzielt, einem Sechstel der Nennspannung. Das bedeutet, dass der Lüfter überdimensioniert ist. Er könnte aber auch in größerem Abstand zur Heizplatte angebracht sein.