

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 Strömungs-Geschwindigkeit abtransportiert wird. Wie die folgenden Berechnungen zeigen, spielt dabei die Speicherfähigkeit des Transport-Mediums eine wichtige Rolle.

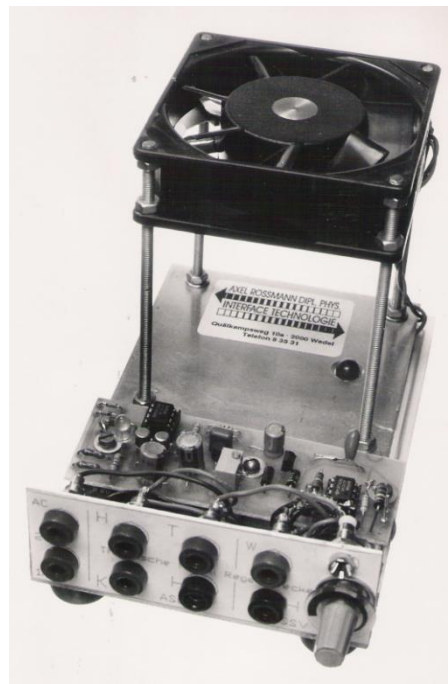


Abb. 13-20 Heizplatte mit Axial-Lüfter. Sie dient zum Aufbau von Temperatur-Regelungen. Unter der Heizplatte befinden sich die Heizwiderstände und der Temperatur-Sensor (Pt100).

Der Leistungs-Strom bei Konvektion

$$P_{Konv} = Q/t = Q/(m \cdot \Delta T) \cdot (m/V) \cdot (V/t) \cdot \Delta T = c \cdot \rho \cdot (V/t) \cdot \Delta T$$

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 5W, zusammen 22Ω) als Heizer. Im Abstand von 45mm ist der Lüfter angebracht (12V(DC), 1,8W, 80Ω). Die Heizung (24W) kann durch Gleich- oder Wechselspannung (24V) erfolgen. Sie wird durch eine LED angezeigt. Der Lüfter läuft mit Gleichspannung (24V).

Der elektrische Aufbau

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

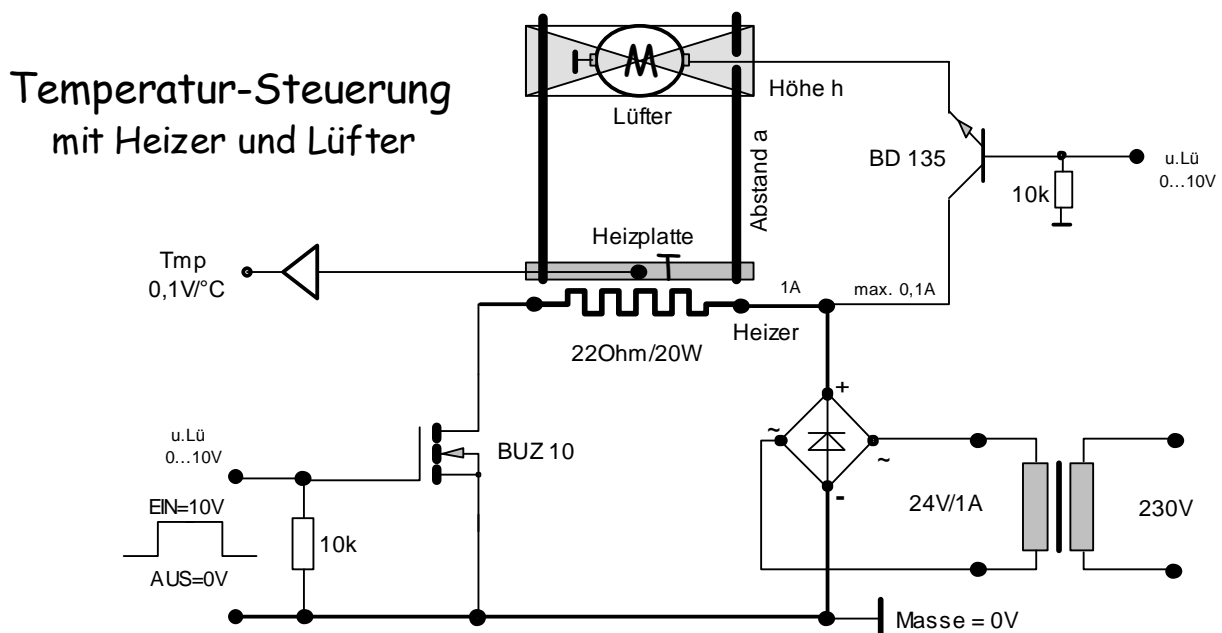


Abb. 13-21 Schema der Heizplatte mit Lüfter. Der Lüfter kann mit Spannungen von 0 bis 12V stetig betrieben werden. Der Heizer sollte für den quasi-stetigen Betrieb über einen Pulsweiten-Modulator angesteuert werden (siehe Kapitel 7 Elektronik\Schaltungstechnik).

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 0,1V/°C erfolgt. 0V bedeuten 0°C und 10V bedeuten 100°C.

Der Axial-Lüfter

Abmessungen: 80x80x36 (mm).

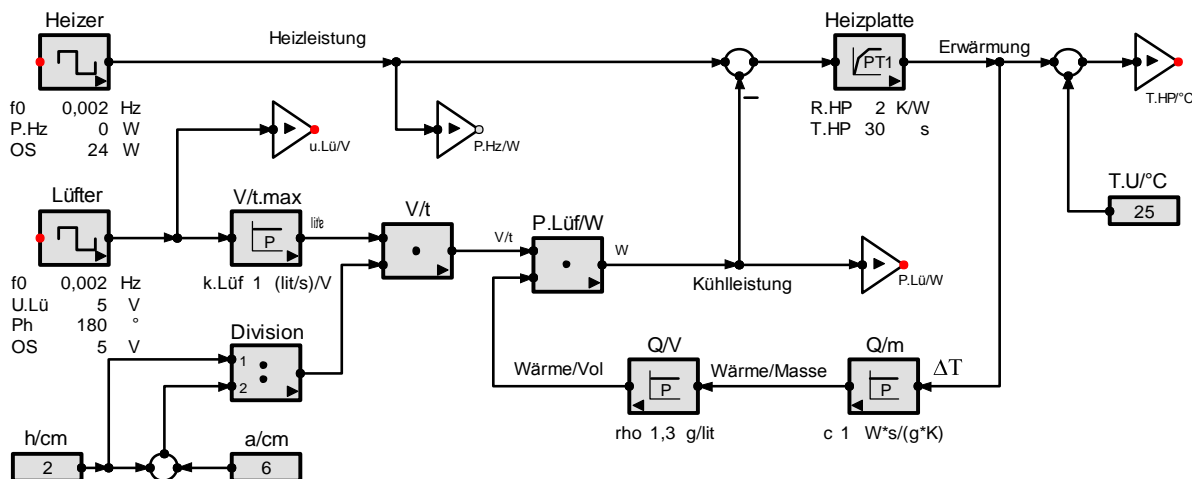
Der maximale Luftstrom ist Hersteller-Angabe: 36lit/s bei 12V -> die Lüfter-Konstante $k.Lü = 3(Lit/s)/V$.



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 **Hüfter-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: $W/m = c \cdot \Delta T$. Über 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

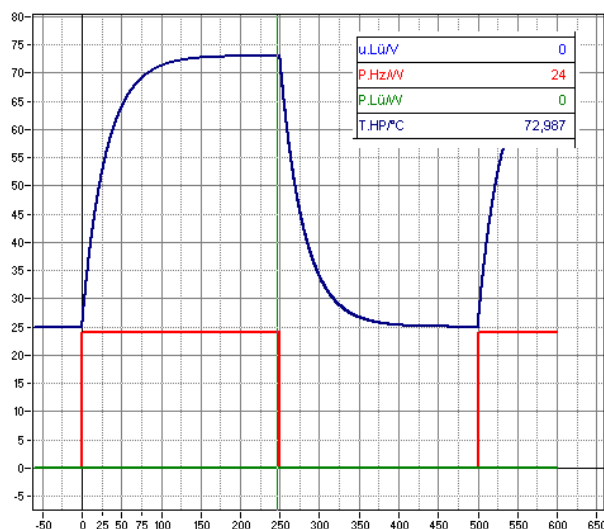


Abb. 13-23 Simulierter Temperaturverlauf bei Heizung ohne Kühlung: Erwärmung und Abkühlung erfolgen mit derselben Zeitkonstanten, hier 30s.

2. Heizer EIN; Lüfter AUS/EIN

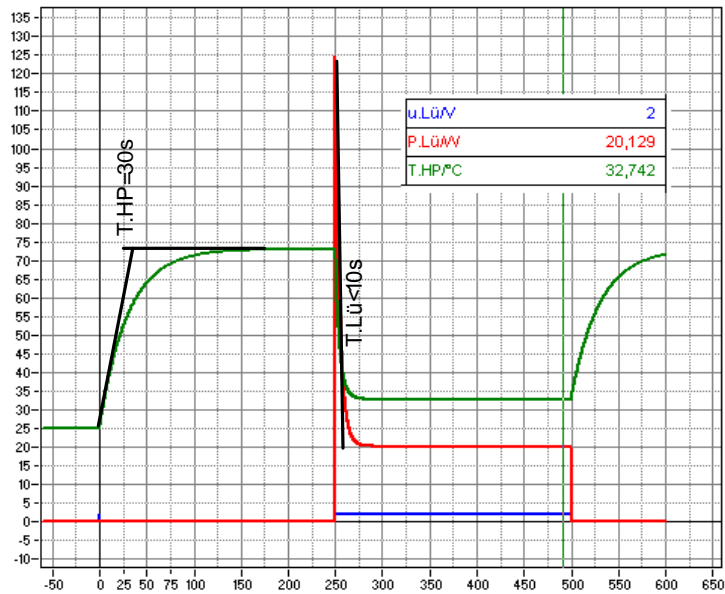


Abb. 13-24 Zuerst wird die Heizung eingeschaltet. Der Lüfter ist noch aus. Die Erwärmung erfolgt mit der Zeitkonstanten der Heizplatte ($T.HP=30s$). Nach 200s hat sie sich auf $75^{\circ}C$ aufgeheizt. Dann wird der Lüfter eingeschaltet. Die Abkühlung erfolgt wesentlich schneller, denn anfangs ist die 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.