

Berechnungen zum Kühlschrank mit Lüfter

Dieter Drewanz

Dokument begonnen: Januar 2018

Dokument letzter Stand: Januar 2018

Kurzfassung:

Die Abwärme eines Kühlschranks könnte mit Lüfterunterstützung besser abgeführt werden und der Wirkungsgrad verbessert werden.

1 Einleitung

1.1 Vorgeschichte zum Dokument

Die Idee mittels zusätzlichen Lüfters den Wirkungsgrad zu verbessern, liegt bereits schon über 15 Jahre zurück. Den damaligen Berechnungen fehlte noch eine günstige Überprüfungsmöglichkeit es in die Praxis umzusetzen (geeignete günstige Leistungs- und Verbrauchsmesser, günstige Master/Slave-Steckdosen).

Ein Artikel auf elektronik-labor.de im Januar holte die Erinnerung wieder zurück und brachten mich auf den Gedanken die Berechnungen in ein Dokument zu packen.

1.2 Der Aufbau des Gerätes

Es handelt sich bei dem Gerät um einen ganz normalen stehenden Kühlschrank mit Tiefkühlfach von ungefähr 160-180cm Höhe. Auf der Rückseite befinden sich die Kühllamellen für die Wärmepumpe.

2 Die Berechnungen

Auf der Rückseite mit den Kühllamellen gibt es viele Möglichkeiten die normale

Wärmekonfektion nicht optimal auszunutzen. Im Testbetrieb zur Ermittlung der Verbrauchsdaten stehen diese relativ frei und die Normwand behält eine definierte Temperatur.

Bei einem Kühlschrank ging vor vielen Jahren der Thermostat defekt und der Austausch bei diesem Gerät war sehr umständlich. Nach ungefähr 7-8 Monaten war das Teil wieder defekt. Mittlerweile wußte ich, dass bei dem Modell eines deutschen Markenkühlschranks alle Thermostaten als Ersatzteile diesen Mangel hatten. So etwas passiert natürlich nur vor einem langen Wochenende, so dass kein Handwerker mehr zu bekommen ist und genügend Vorräte im Kühlschrank befinden. Kurzerhand wurde daher der Thermostat überbrückt und eine Zeitschaltuhr übernahm die Funktion. Es bewährte sich eine Einstellung von 15 Minuten je Stunde zu den Hauptnutzungszeiten und für warme Sommertage. Nachts und im Winter konnte der Zyklus etwas länger gewählt werden. Ich hatte zu dem Zeitpunkt bereits einen Leistungsmesser, dieser erfaßte aber nur die Scheinleistung. Mit diesen Einstellungen erreichte ich, dass die tägliche Scheinleistung den Werten entsprach, die ich mit funktionierendem Thermostat einmal ermittelt hatte. Im Durchschnitt ermittelte ich, dass der Kompressor 1/5 der Zeit läuft und 4/5 der Zeit eben nicht. Je nach Definition des Taktverhältnisses kann dies als 1:4 oder 1:5 angegeben werden.

Die Datenangaben für diese Kühlschränke lagen zwischen 250 bis 330 kWh pro Jahr. Im Sommer (warme Tage, Wohnung 23-26° C) maß ich mit einem besseren Leistungsmesser an einem späteren Kühlschrank 1kWh/Tg.

Die Leistungsaufnahme im Betrieb beträgt daher:

$$P = \frac{W_{\text{Tag}}}{t_{\text{on}}} = \frac{1 \text{ kWh}}{24 \text{ h} \cdot 1/5} = 208.3 \text{ W}$$

Der Kompressor arbeitet mit einer Leistungszahl von ungefähr 3 als Wertangabe. Ungefähr das dreifache der der aufgewendeten Arbeit wird als Wärme auf die Warmseite gepumpt.

$$P_{ab} = P \cdot 3 = 208.1 \cdot 3 = 625 \text{ W}$$

Auf der Rückseite wird ungefähr 20 bis 30° C wärmere Luft als die Raumluft abgegeben.

Als Konvektionsgeschwindigkeit wurde ungefähr 10cm/s ermittelt für einen Spalt von 10x60cm. Die Fläche des Gitters beträgt ungefähr 1 qm.

Die Luft kann ungefähr pro Kubikmeter folgende Energie als Abwärme abführen:

V = Luftvolumen zur Ableitung der Abwärme (m^3/s)

Q = Abwärme (kW)

c_p = Spez. Wärmekapazität von Luft ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$), 1,006 (bei 24°C, 1000mbar)

ρ = Luftdichte (kg/m^3), 1,17 (bei 24°C, 1000mbar)

Δt = Temperaturdifferenz (Abluft - Zuluft) (K)

$$Q = V \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta t = 0.1 \text{ m} \cdot 0.6 \text{ m} \cdot 0.1 \text{ m/s} \cdot 1.006 \text{ kJ/kgK} \cdot 1.17 \text{ kg/m}^3 \cdot 30 \text{ K} = 212 \text{ W}$$

$$V = 0.1 \text{ m} \cdot 0.6 \text{ m} \cdot 0.1 \text{ m/s} \cdot 3600 \text{ s} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Achtung: Hier wurde das Taktverhältnis noch nicht berücksichtigt.

Ein Teil der Abwärme scheint noch über folgende Wege abgeführt zu werden:

1. Lüftströmung seitlich des Abwärmegitters.
2. Wärmeabstrahlung seitlich des Abwärmegitters.
3. Wärmestrahlungsaufnahme der Wand, die während der Ruhephasen abgeführt wird.
4. Wärmeaufnahme des Metallgitters, die während der Ruhephasen abgeführt wird.

Wenn der Verputz auf einer Fläche von 1qm ungefähr 1cm tief angewärmt würde, dann ergäbe eine Überschlagsrechnung das eine $\Delta 10^\circ$ Erwärmung der Wand soviel Energie aufnimmt, wie 13m³ Abluft mit $\Delta 30^\circ$ Erwärmung (oder 40m³ mit $\Delta 10^\circ$).

Um die Abwärme komplett über die Abluft während der Betriebsphasen des Kompressors abzuführen, ergäbe sich aus dem Vergleich der beiden Werte ($P_{ab}=625\text{W}$, $Q=212\text{W}$) die Notwendigkeit die Luftabfuhr zu verdreifachen, also 63 m³/h. Sollte zusätzlich die Temperaturdifferenz halbiert werden, würde mindestens 126 m³/h als Lüfterleistung benötigt werden.

Technische Daten einiger Lüfter (PC-Lüfter):

1. 4x4cm, 12V, 0.9W, 7m³/h
2. 6x6cm, 12V, 1.6W, 42m³/h
3. 8x8cm, 12V, 1.4W, 60m³/h
4. 12x12cm, 12V, 2.4W, 98 m³/h
5. 12x12cm, 12V, 2.0W, 114 m³/h (Papst)
6. 12x12cm, 24V, 9.2W, 234 m³/h
7. 12x12cm, 240V, 15W, 145 m³/h

Aufgrund der Wirkungsgrade eignen sich am besten Lüfter der Spannung von 12V und mit der Größe 8x8 bis 12x12 cm. Wenn es Probleme gäbe mit der örtlichen Anbringung, könnte noch auf Lüfter des Formates 6x6cm ausgewichen werden. Betrieben werden sollten die Lüfter über ein sparsames Schaltnetzteil um deutlich weniger Leistung als die Lüfter für Netzspannung zu verbrauchen.

Zwei Lüfter 12x12 cm (Spalte 5) wären nach den Berechnungen ausreichend für diese Anwendung.

Mit diesen Lüfterwerten könnten die Messungen des Artikels vielleicht doch noch insgesamt positiv abschließen.