

7. Heizung und Kühlung

◦In diesem Kapitel wird untersucht, wie viel Leistung wir verbrauchen, um die Temperatur unserer Umgebung zu regeln – zu Hause und in der Arbeit – und zum Erwärmen oder Kühlen von Lebensmitteln, Getränken, Wäsche oder Geschirr.



Fig.7.1: Eine Herde neuer Häuser

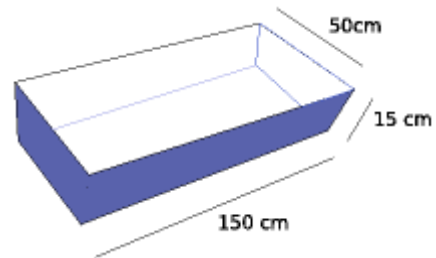


Fig.7.2: Wasser in einer Badewanne

Brauchwassererwärmung

Die größte Menge Warmwasser im Haushalt dürfte durch Baden, Duschen, Geschirrspülen oder Wäschewaschen verbraucht werden – das hängt vom persönlichen Lebensstil ab. Schätzen wir zuerst den Energieverbrauch eines heißen Bades ab:

Das Volumen einer Badewanne sei 50 cm x 15 cm x 150 cm \approx 110 Liter. Die Wassertemperatur liege bei 50°C und das Wasser komme mit 10°C ins Haus. Die Wärmekapazität von Wasser, die angibt, wie viel Energie erforderlich ist, um es zu erwärmen, ist 4.200 J pro Liter pro °C. Also ist die erforderliche Energie, um dieses Wasser um 40°C zu erwärmen:

$$4200 \text{ J/l/}^\circ\text{C} \times 110 \text{ l} \times 40 \text{ }^\circ\text{C} \approx 18 \text{ MJ} \approx 5 \text{ kWh.}$$

Ein Bad zu nehmen verbraucht also 5 kWh. Zum Vergleich: Zum Duschen (mit 30 Liter) benötigt man etwa 1,4 kWh.

Hot water:
12 kWh/d

Fig.7.5: Warmwasser insgesamt zu Hause und am Arbeitsplatz – einschließlich Baden, Duschen, Wäsche, Kochen, Geschirrspülen – macht etwa 12 kWh/d/p aus. Diese Box ist nicht schattiert, um zu zeigen, dass es sich um niederstufige thermische Energie handelt.

Wasserkocher und Kochherde

♦Deutschland◦ hat als zivilisiertes Land eine häusliche Stromversorgung mit 230 Volt. Daran kann man elektrische Wasserkocher anschließen, um ein bis zwei Liter Wasser in wenigen Minuten abzukochen. Ihre Leistung liegt bei 3 kW. Warum 3 kW? Weil das die größte Leistung ist, die eine 230 V Steckdose abgeben kann, ohne die erlaubten 13 A zu überschreiten. In Ländern mit 110 V Netz dauert es doppelt so lang, eine Tasse Tee zu machen.

Wenn ein Haushalt den Wasserkocher 20 Minuten am Tag in Betrieb hat, macht das eine mittlere Leistungsaufnahme von 1kWh pro Tag (Ich werde die folgenden Punkte „pro Haushalt“ abschätzen und 2 Personen pro Haushalt annehmen).

Eine kleine Platte eines Elektroherdes hat dieselbe Leistung wie ein Toaster: 1 kW. Schnellkochplatten leisten 2,3 kW. Benutzt man 2 Herdplatten für eine halbe Stunde täglich auf voller Stufe, sind das 1,6 kWh pro Tag.

Ein Mikrowellenherd hat seine Leistung meist auf der Vorderseite stehen: meiner sagt 900 W, verbraucht aber tatsächlich 1,4 kW. Benutzt man die Mikrowelle 20 Minuten täglich, sind das **0,5 W pro Tag**.

Die Bratröhre braucht mehr: etwa 3 kW bei voller Leistung. Benutzt man die Bratröhre eine Stunde täglich, und ist sie für die Hälfte der Zeit auf ihrer vollen Leistung, dann sind das **1,5 kWh pro Tag**.

Microwave:
1400 W peak



Fridge-freezer:
100 W peak,
18 W average



Fig.7.3: ein Heiz- und ein Kühlgerät

Fig.7.6: 2kW Elektroofen

Gerät	Leistung	Zeit pro Tag	Energie pro Tag
Kochen :			
-Wasserkocher	3kW	1/3 h	1 kWh/d
-Mikrowelle	1,4 kW	1/3 h	0,5 kWh/d
-Elektroherd	3,3 kW	1/2 h	1,6 kWh/d
-Bratröhre	3 kW	1/2 h	1,5 kWh/d
Wäsche:			
-Waschmaschine	2,5 kW		1 kWh/d
-Wäschetrockner	2,5 kW	0,8 h	2 kWh/d
-Trockenschrank			0,5 kWh/d
-Wäscheleine			0 kWh/d
Geschirrspüler	2,5 kW		1,5 kWh/d
Kühlen:			
-Kühlschrank	0,02 kW	24 h	0,5 kWh/d
-Gefriertruhe	0,09 kW	24 h	2,3 kWh/d
-Klimaanlage	0,6 kW	1 h	0,6 kWh/d

Tabelle 7.4: Energieverbrauchswerte für Heiz- und Kühlgeräte, pro Haushalt

heiße Wäsche und heiße Teller

Waschmaschinen, Geschirrspüler oder Wäschetrockner verbrauchen allesamt um die 2,5 kW, wenn sie laufen. Eine Waschmaschine braucht etwa 80 Liter Wasser pro Füllung, die Energiekosten liegen bei 1 kWh bei einer Temperatureinstellung von 40°C. Hängt man die Wäsche in einen Trockenschrank¹¹, statt den Wäschetrockner zu benutzen, wird ebenfalls Wärme benötigt, um das Wasser zu verdunsten – doch nur etwa 1,5 kWh pro Ladung, statt 3 kWh.

¹¹ Die in Deutschland weitgehend unbekannteren Airing Cupboards / Trockenschränke – mit Heizung ausgestattete Schränke zum Trocknen von Kleidung – sind in England weit verbreitet und tragen entsprechend zum Energieverbrauch bei.

Zählen wir alle Schätzungen im Zusammenhang mit Warmwasser zusammen, kommen wir auf **12 kWh pro Tag pro Person**.

Warmluft – zu Hause und am Arbeitsplatz

Braucht man mehr Energie zur Bereitstellung von heißem Wasser und heißem Essen oder zum Erwärmen von Luft durch Radiatoren in Gebäuden?

Eine gute Möglichkeit zur Abschätzung der täglich benötigten Energie für Warmluft ist die Betrachtung elektrischer Heizungen, denn deren Leistungsangaben sind uns vertrauter. Die Leistung eines kleinen Heizlüfters ist 1 kW (24 kWh pro Tag). Im Winter benötigt man davon einen pro Person, um nicht zu frieren, im Sommer keinen. Im Mittel wären das dann 12 kWh pro Tag, die unbedingt benötigt werden. Doch die meisten Menschen benutzen mehr als unbedingt nötig und halten mehrere Räume gleichzeitig warm (Küche, Wohnzimmer, Flur, Bad etwa). Eine plausible Hausnummer für Warmluft-erzeugung wäre also etwa das Doppelte davon: **24 kWh pro Tag pro Person**.

Der dieses Kapitel begleitende Anhang E enthält eine detailliertere Betrachtung der Wärmeströme in Gebäuden. Dieses Modell ermöglicht Vorhersagen zu Energieeinsparpotentialen verschiedener Maßnahmen wie Verringerung der Raumtemperatur am Thermostaten, Doppelverglasung von Fenstern und so weiter.

Heizung im Freien und anderer Luxus

Es gibt einen wachsenden Trend zu Heizschirmen, die auch die Luft draußen erwärmen. Diese haben eine typische Leistung von 15 kW. Benutzt man diese ein paar Stunden am Abend, sind das zusätzliche **30 kWh pro Tag**.

Ein etwas bescheidenerer Luxus ist eine beheizte Bettdecke. Für ein Doppelbett benötigt die 140W; schaltet man sie eine Stunde an, sind das **0,14 kWh**.

Kühlung

Kühlschränke und Gefriertruhen

Wir kontrollieren nicht nur die Temperaturen von Warmwasser und der Warmluft, mit der wir uns umgeben, sondern auch die der kühlenden Schränke, die wir in unsere heißen Häuser quetschen. Meine Kühl-Gefrierkombination, in Fig.7.3 gezeigt, braucht durchschnittlich 18 W, das sind grob 0,5 kWh/d.

Klimaanlagen – Air Condition

In Ländern, in denen die Außentemperaturen über 30°C steigen, betrachtet man Klimaanlage als Notwendigkeit, und die Energiekosten dieser Temperaturkontrolle können ziemlich hoch sein. Doch dieses Buch handelt von den Verhältnissen in Deutschland oder England, wo die Temperaturen selten Notwendigkeit für Klimaanlage bieten (Fig.7.8).

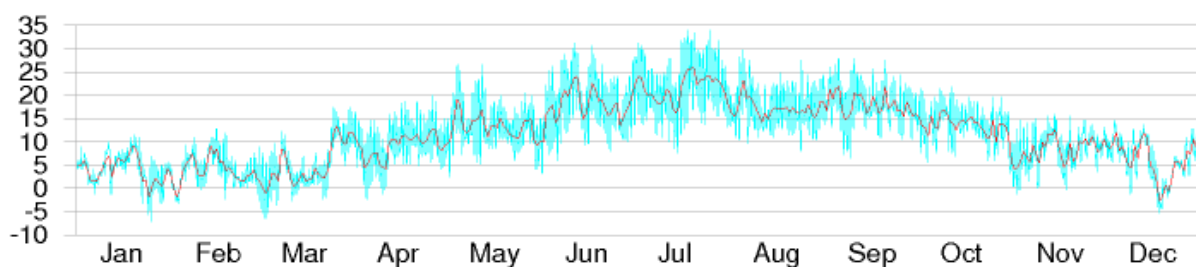


Fig.7.8: Temperatur in Cambridge, in °C, täglich (rot) und halbstündlich (blau) über das Jahr 2006.

Eine ökonomische Art des Air-Conditioning ist eine Luft-Wärmepumpe. Eine elektrische Anlage in Fenstermontage für einen einzelnen Raum braucht 0,6 kW Elektrizität und liefert am Wärmetauscher 2,6 kW Kühlleistung. Um einen Verbrauchswert für Deutschland abzuschätzen, nehme ich an, dass die Anlage an 30 Tagen des Jahres je 12 Stunden in Betrieb ist. An den betriebenen Tagen braucht sie 7,2 kWh, gemittelt übers Jahr **0,6 kWh/d**.

Die Abschätzung dieses Kapitels für die Energiekosten für Kühlung – 1 kWh/d pro Person – beinhaltet Klimaanlage und häusliche Kühlschränke. Auch Lebensmittel auf ihrem Weg vom Feld zum Einkaufskorb sind häufig gekühlt. Die Energiekosten der Nahrungskette werden aber erst später betrachtet, in Kapitel 15.

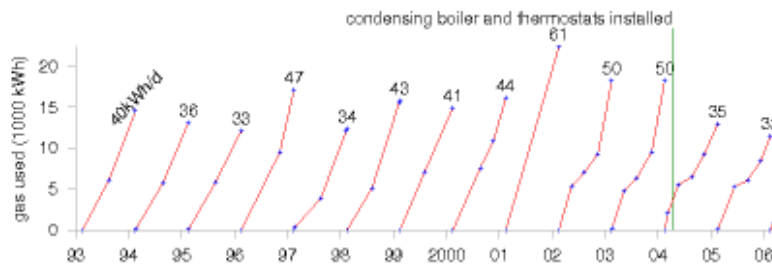


fig.7.10: mein häuslicher Gasverbrauch kumulativ, jedes Jahr von 1993 bis 2005, in kWh. Die Nummer oben an den Jahreslinien ist die mittlere Verbrauchsrate, in kWh pro Tag. Wenn Sie wissen wollen, was 2007 geschah, weiterlesen!

Gesamtbedarf Heizung und Kühlung

Unsere grobe Abschätzung der Gesamtenergie, die für Heizung und Kühlung (einschließlich Wohnung, Arbeitsplatz, Kochen) erforderlich ist, liefert uns **37 kWh/d pro Person** (12 für Warmwasser, 24 für Warmluft, 1 für Kühlung).

fig.7.7: (links) Heiße Luft insgesamt – einschließlich häusliche und berufliche Heizung – um die 24 kWh/d/p.

fig.7.9: (Mitte) Kühlung insgesamt, einschließlich Kühlschrank (Kühl-Gefrierkombination) und ein wenig Klimaanlage im Sommer – 1 kWh/d.

fig.7.11: (rechts) Heizen und Kühlen, etwa 37 Einheiten. Ich entfernte die Hintergrundfarbe für diese Box, um anzudeuten, dass sie für Leistung steht, die durch niederstufige Wärmeenergie geliefert werden kann.



Ob diese Abschätzung die richtige Größenordnung trifft, überprüfe ich mit einem Blick auf meinen privaten Gasverbrauch, der – gemittelt über 12 Jahre – 40 kWh pro Tag beträgt (Fig.7.10). Damals dachte ich, ich wäre ein ziemlich sparsamer Heizungsbenutzer, doch kümmerte ich mich wenig um meinen aktuellen Energieverbrauch. Kapitel 21 deckt auf, wie viel Energie ich sparte, nachdem ich anfang, darauf zu achten.

Da das Heizen ein großer Beitrag zum Verbrauchsstapel ist, mache ich die Gegenprobe mit der landesweiten Statistik. ♦Der Gesamtverbrauch aller Haushalte in Deutschland für Gebäudeheizung und Warmwasser lag 2004 bei 23 kWh/d/p. °Der englische Durchschnitt des häuslichen Verbrauchs für Heizung, Wasser und Kochen lag im Jahr 2000 bei 21 kWh pro Tag pro Person, und der Verbrauch im Dienstleistungssektor für Heizung, Kühlung, Verpflegung und Warmwasser bei 8,5 kWh/d/p. Das Heizen am Arbeitsplatz schätzen wir über die Gasrechnung der Universität von Cambridge von 2006-7 ab und erhalten 16 kWh/d pro Angestellten. Zählen wir diese Zahlen zusammen, ergibt das $21 + 8,5 + 16 \approx 45$ kWh/d, wenn man die Universität Cambridge als durchschnittlichen Arbeitsplatz betrachtet. Gut, das ist hinreichend nahe an unserer ersten Abschätzung von 37 kWh/d.

Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

- 58 Die Bratröhre braucht mehr: etwa 3 kW:** Es gibt offensichtlich einen weiten Bereich. Viele Bratröhren haben eine Maximalleistung von 1,8 bis 2,2 kW. Spitzenöfen reichen bis 6 kW. Der *Whirlpool AGB 487/WP 4 Hotplate Electric Oven Range* hat z.B. eine 5,9 kW Bratröhre und vier 2,3 kW Kochplatten. www.kcmltd.com/electric_oven_ranges.shtml, www.1stforkitchens.co.uk/kitchenovens.html
- 58 ein Trockenschrank... benötigt... etwa 1,5 kWh pro Ladung:** Ich habe das ausgerechnet, indem ich meine Kleidung wog: Eine Ladung Wäsche, 4 kg trocken, wog nach Entnahme aus meiner Bosch Waschmaschine 2,2 kg mehr (auch nach dem Schleudern). Die Verdunstungs-Wärmeenergie des Wassers bei 15 Grad ist etwa 2.500 kJ/kg. Für die Umrechnung in einen Tagesverbrauch nahm ich an, eine Person hätte alle 3 Tage eine Ladung Wäsche, und dass das Trocknen im Winterhalbjahr wertvolle Wärme dem Haus entzieht. (Im Sommer liefert der Trockenschrank einen kleinen Klimatisierungseffekt, weil das verdunstende Wasser das Haus kühlt.)
- 61 Der Gesamtverbrauch aller Haushalte in Deutschland für Gebäudeheizung und Warmwasser lag 2004 bei 23 kWh/d/p:** ♦670 TWh Jahresverbrauch, Quelle: Institut für Energie- und Umweltforschung: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3327.pdf>, 2007, S.30.
Der englische Durchschnitt des häuslichen Verbrauchs lag bei 21 kWh/d/p, und der Verbrauch im Dienstleistungssektor bei 8,5 kWh/d/p: °Quelle: Dept. of Trade and Industry (2002a).
- 61 Die Gasrechnung der Universität von Cambridge von 2006-7 liefert 16 kWh/d pro Angestellten:** Der Gas- und Ölverbrauch der Universität Cambridge (ohne Kollegräume) war 76 GWh. Ich definierte die Universität als Arbeitsplatz für 13.300 Menschen (8602 Festangestellte und 4667 Post-Docs). Der Stromverbrauch war übrigens bei 99,5 GWh. Quelle: University utilities report.