Prof. Dr.-Ing. Jürgen Klingenberg
Jürgen Klingenberg, geboren 1965 in Meißen, studierte Strömungsmechanik/Thermodynamik an der Technischen Universität Dresden und vertritt heute diese Fachgebiete sowie 3-d. CAD, Mathematik inklusive Computeralgebra und Informatik in der Lehre für Ingenieurstudenten an der Berufsakademie Sachsen.

Kontakt: Juergen.Klingenberg@ba-sachsen.de

Dipl. Wirtsch.-Ing. René Röthig M.A.
absolvierte nach einer Berufsausbildung zum KFZ-Mechaniker Studien mit den Abschlüssen Diplom-Wirtschaftsingenieur (Schwerpunkt: Kraft- und Arbeitsmaschinenbau) und Master of Arts (Schwerpunkt: Kommunalwirtschaft). Von 1995 bis 1999 folgten Tätigkeiten als leitender Angestellter in einem Dienstleistungs- und Handelskonzern. Zwischen 2000 und 2008 durchlief er verschiedene Leitungsfunktionen in der kommunalen Ver- und Entsorgungswirtschaft, davon vier Jahre als Prokurist. Seit 2009 ist er als Geschäftsführer der Stadtwerke Riesa GmbH (SWR), später auch Geschäftsführer bzw. Prokurist der Tochterunternehmen des SWR-Konzerns, tätig. Unter anderem engagiert er sich ehrenamtlich seit vielen Jahren als Vorsitzender und Vertreter der Praxispartner in der Koordinierungskommission bzw. im Örtlichen Beirat der Berufsakademie Sachsen am Standort Riesa.

Kontakt: rene.roethig@stw-riesa.de

Wohnung heizen bei Abwesenheit? Werbung an den Grenzen der Seriosität!

Jürgen Klingenberg | René Röthig

Entgegen weit verbreiteter Werbung kostet das Betreiben einer Wohnungsheizung bei Abwesenheit niemals weniger Energie als deren komplettes Ausschalten. In diesem Beitrag wird das anhand der Hauptsätze der Thermodynamik bewiesen und mit einer numerischen Simulation an einem Beispiel gezeigt.

Contrary to common claims, running a home heating system in the absence of the occupants never costs less energy than switching it off completely. The paper proves this assumption by applying the laws of thermodynamics and including the example of a numerical simulation.

In der kalten Jahreszeit tritt der Begriff der Behaglichkeitstemperatur in Räumen verstärkt in den Fokus und damit die Thermodynamik als Naturwissenschaft ins Leben eines jeden Einzelnen. Die im Folgenden diskutierte Problemstellung stellt ein hervorragendes Beispiel dafür dar, wie nützlich naturwissenschaftliche Bildung ist und wie sie schnell und unmittelbar auch wirtschaftlichen Nutzen bringt. Hinter diesem Begriff verbirgt sich zwar für Privatpersonen in erster Linie eine Betrachtung von finanziellem Aufwand im Vergleich zum gefühlten Nutzen gemäß der Fragestellung, ob einem der Effekt das dafür zu entrichtende Geld wert ist; es wird aber künftig zunehmend und notwendiger Weise auch der Aspekt betont werden müssen, wieviel sich die Menschheit insgesamt wert ist an Umweltbelastung in Form von Energieverbrauch. Insofern rückt dieses Problem aus dem bilateralen Verhältnis von Energielieferant und Verbraucher heraus ins gesamtgesellschaftliche Interesse!

Wohnung heizen bei Abwesenheit?

Wie macht man es richtig, wenn man im Winter die Wohnung für einen gewissen Zeitraum verlässt: Heizung laufen lassen, durch den Regler reduziert laufen lassen oder ganz ausschalten? Dazu beispielhaft einige typische Stimmen aus den Medien – wer hat solche Sätze nicht schon gelesen oder gehört:

„Wer tagsüber in der Arbeit sitzt, in den Urlaub fährt oder es einfach nachts etwas kühler in der Wohnung haben will, dreht gerne mal die Heizung ab – in der Annahme, dass damit Energie und somit bares Geld gespart wird. Aber stimmt diese These? Lieber Heizung ausschalten oder herunterregeln? Ob diese Methode sinnvoll ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab: dem Brennstoff, mit dem geheizt wird, die Isolierung der Wohnung oder die Größe des Zuhauses in etwa. Generell spart man Geld, je niedriger die Heizung eingestellt ist – schon ein Grad weniger senkt die Heizkosten um sechs Prozent. Allerdings ist es deshalb nicht gleich sinnvoller, die Wärmezufuhr komplett zu kappen, sobald sich für einige Stunden niemand im Wohnraum befindet. Oft ist es so, dass das Wiederaufheizen der Räume mehr Energie kostet als das Herauf- und Herunterregeln der Temperaturen.“ [1]

„Die Heizung abdrehen ist verlockend. Man sollte aber nachts oder wenn man unterwegs ist, die Heizkörper nicht komplett abdrehen. Wände, Decke und Fußböden kühlen dann zu stark aus und müssen mit viel Heiz-Energie wieder angewärmt werden. Hier sagen Energieberater: Man sollte die Temperatur um maximal fünf Grad absenken. Das entspricht einer der fünf Stufen auf dem Heizventil.“ [2]

„Beim Verlassen der Wohnung die Heizung abdrehen? Lieber nicht. Denn es kostet viel Energie, kalte Räume wieder aufzuheizen. … Wer beim Heizen Energie sparen will, sorgt für eine gleichmäßige Wärmezufuhr …“ [3]

„Bei längerer Abwesenheit darf die Wohnung nicht auskühlen. Der Energieaufwand, der nötig ist, um die durchgekühlte Bausubstanz wieder auf normale Temperaturen zu bringen, ist wesentlich höher, als eine konstant geringe Heizleistung während der Abwesenheit einzustellen.“ [4]

Bemerkenswert ist u.a., dass eines der Zitate sogar aus der Öffentlichkeitsabteilung eines Heiztechnik-Produzenten stammt, bei dem zum einen die Thermodynamik-Expertise zu Hause ist und dessen wirtschaftlicher Erfolg zum anderen in keiner Weise mit dem Energieverbrauch seiner Kunden wächst! Anders sieht es schon aus bei Energieversorgern. Hier ist aus rein wirtschaftlichen Erwägungen heraus ein gesundes Misstrauen angebracht!

Grundlagen aus thermodynamischer Sicht

Und nun einige Sätze dazu aus dem reichen naturwissenschaftlichen Fundus der Menschheit. Dabei handelt es sich um Grundsätze, die sich nicht nur bei der Erklärung von Effekten in Natur und Technik sondern auch bei der erfolgreichen Entwicklung von thermischen Maschinen als wahr erwiesen haben. In der Thermodynamik spricht man von Hauptsätzen.

So zwingt uns der 0. Hauptsatz, wonach ausschließlich die Temperatur darüber entscheidet, anzuerkennen, dass wir uns ein thermisches Ungleichgewicht schaffen wollen und aus gesundheitlichen Gründen auch müssen, wenn wir bei einer winterlichen Außentemperatur in Aufenthaltsräumen eine Behaglichkeitstemperatur um die 20°C anstreben – bei einem etwas darüber, bei einem etwas darunter, in jedem Fall aber deutlich über der Außentemperatur, und das auch dann, wenn es in Wintern durchschnittlich nicht mehr so kalt würde wie vielleicht vor 20 Jahren.

Dieses thermische Ungleichgewicht hat einen Wärmestrom zur Folge. Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt dabei eindeutig die Richtung: Stets vom System höherer zum System niedrigerer Temperatur. Der Wärmestrom $\dot{Q}$ (bemessen z.B. in kWh) kann dabei prinzipiell berechnet werden nach Gleichung (1):

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot (\vartheta_R - \vartheta_a) \tag{1}$$

Wie lange ein solcher Strom in Gang bleibt, beschreibt nun wieder der 0. Hauptsatz: Bis Raumtemperatur ϑ_R und Außentemperatur ϑ_a gleich sind. Das beinhaltet auch Gleichung (1). Die beiden Temperaturen kann man dabei gleichermaßen sowohl in °C als auch in K benutzen.

Dieser Tatsache wird in den obigen Zitaten leider nur teilweise Rechnung getragen, z.B.:

„Generell spart man Geld, je niedriger die Heizung eingestellt ist – schon ein Grad weniger senkt die Heizkosten um sechs Prozent.“

Das spielt auf den sogenannten Dauerzustand an, in der Technik auch stationär oder zeitlich unveränderlich genannt, also z.B. sonntags nachmittags beim Kaffeetrinken. Es erschließt sich aber in keiner Weise, warum man nun angesichts dieser Erfahrung wiederum bei Abwesenheit nicht die niedrigst mögliche Temperaturdifferenz empfiehlt? Bevor speziell auf die Besonderheiten von zeitlichen Veränderungen der Verhältnisse, die sogenannten instationären Vorgänge, und den 1. Hauptsatz der Thermodynamik eingegangen werden soll, muss aus Gleichung (1) noch der Proportionalitätsfaktor $k \cdot A$ erläutert werden.

Alles, was bei einer konstanten Temperaturdifferenz den Wärmestrom beeinflussen kann, muss in diesen Term bestehend aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten k (in $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}}$) und der Begrenzungsfläche A (in m^2) der beiden Systeme einfließen. Dazu zählt allem voran (Zitat von oben) „die Isolierung der Wohnung“, dicht gefolgt von der „Größe des Zuhauses“, und davon speziell die Flächen der Außenwände, bestehend z.B. aus Wänden, Türen und Fenstern, und dem Verhältnis von gut zu schlecht isolierten Flächen. Um vielfältige Bauwerke besser berechnen zu können, kann man beides vereinigen zum Wärmedurchgangswiderstand R_k in K/W, also Temperaturdifferenz pro Watt Wärmestrom, nach Gleichung (2):

$$R_k = \frac{1}{k \cdot A} \tag{2}$$

Damit wird Gleichung (1) zu Gleichung (3):

$$\dot{Q} = \frac{\vartheta_R - \vartheta_a}{R_k} \tag{3}$$

und bekommt damit eine analoge Form zur bekannten elektrotechnischen Gleichung: Strom ist gleich Spannung geteilt durch Widerstand, hier Wärmestrom ist gleich Temperaturdifferenz geteilt durch Wärmedurchgangswiderstand. Und tatsächlich kann anschließend ebenfalls analog zur Elektrotechnik durch Berechnung von Reihen- und Parallelschaltungen für vielgestaltige, real ausgeführte Bauwerke ein Ersatzwiderstand bestimmt werden.

An dieser Stelle soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass der Wärmedurchgangswiderstand R_k als Schlüsselparameter zum Energiesparen in modernen Gebäuden extrem hoch ausgeführt wird, anders als im bewusst einfach gehaltenen Zahlenbeispiel weiter unten in diesem Bericht.

Auskühlen und Aufwärmen – Berechnung instationärer Vorgänge

Nun ist aber weiterhin vom Auskühlen und Wiederaufheizen der Räume inklusive Wände, Decken, Fußböden usw. die Rede. Das betrifft auch jegliche Einrichtungsgegenstände, wie z.B. Möbel, Aquarien und Teppiche. Kühlt sich die Luft im Raum ab, geben diese ebenso einen Wärmestrom an die Luft ab, bis sie die Lufttemperatur erreicht haben, und genau so lange nehmen sie bei Erwärmung der Raumluft einen Wärmestrom auf. Die transferierten Wärmemengen zur Temperaturänderung von einem Grad unterscheiden sich dabei zwischen unterschiedlichen Materialien. Das kommt zum Ausdruck in der Stoffeigenschaft der spezifischen Wärmekapazität c, gemessen in J/(kg·K). Für die hier dargelegte Untersuchung kann ein mit den Teilmassen $m_{1,2,\dots}$ gewichteter mittlerer Wert für alle Gegenstände und Wände inklusive der Luft im Innenraum benutzt werden nach Gleichung (4):

$$c_{ges} = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots}{m_{ges}} \tag{4}$$

Der Zusammenhang zwischen der zu transferierenden Wärmeenergie Q und der Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ kommt in Gleichung (5) zum Ausdruck:

$$Q = c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \Delta\vartheta \tag{5}$$

Mit Auskühlen und Aufwärmen bezeichnet man Prozesse, die abhängig von der Zeit und damit instationär verlaufen.

Nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik kann Energie weder entstehen noch verschwinden. In Anwendung auf den vorliegenden Fall verursacht der Wärmestrom $\dot{Q}$ aus (3) eine Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ nach (5) und führt somit auf Gleichung (6):

$$\dot{Q} = \frac{\vartheta_R - \vartheta_a}{R_k} = \frac{dQ}{dt} = -c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \frac{d\vartheta_R}{dt} \tag{6}$$

Darin ist bereits berücksichtigt, dass sich an den Stoffen mit ihren Massen und Wärmekapazitäten sowie an der Außentemperatur während des betrachteten Vorgangs nichts ändert. Nach der Umformung (7) resultiert daraus eine Bestimmungsgleichung für den Temperaturverlauf über der Zeit für Abkühlprozesse (8).

$$\vartheta_R - \vartheta_a = -R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \frac{d\vartheta_R}{dt} \tag{7}$$

$$R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \dot{\boldsymbol{\vartheta}}_{\boldsymbol{R}} + \boldsymbol{\vartheta}_{\boldsymbol{R}} = \boldsymbol{\vartheta}_{\boldsymbol{a}} \tag{8}$$

Bei Gleichung (8) handelt es sich um eine inhomogene Differentialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten für den zeitlichen Verlauf der Raumtemperatur ϑ_R (t) (rote Hervorhebung). Die Inhomogenität besteht aus einer zeitlich konstanten Außentemperatur (blaue Hervorhebung). An dieser Stelle wäre eine Ergänzung des Rechenmodells z.B. zur Berücksichtigung tageszeitlicher Schwankungen möglich. Das ist für den Untersuchungsgegenstand dieses Beitrags aber unerheblich. Um den Fokus nicht wesentlich von der Thermodynamik abgleiten zu lassen auf die Mathematik, wird die Lösung nach Abbildung 1 mit einem Computeralgebrasystem herbeigeführt. Die Temperatur zu Beginn des Abkühlvorgangs bei t = 0 wird ϑ_{R0} genannt.

$dgl{:=}rk \cdot cges \cdot mges \cdot \theta r' + \theta r = \theta a$

$cges \cdot mges \cdot rk \cdot \theta r' + \theta r = \theta a$

$ab{:=}\theta r(0) = \theta r0$ $\qquad \theta r(0) = \theta r0$

$\mathrm{deSolve}(dgl \text{ and } ab, t, \theta r)$

$\theta r = (\theta r0 - \theta a) \cdot e^{\frac{-t}{cges \cdot mges \cdot rk}} + \theta a$

Abbildung 1: Lösung der Differentialgleichung (8) mit einem TI-Nspire (CAS) Taschenrechner, dgl … Differentialgleichung, ab … Anfangsbedingung

Das Ergebnis lautet (Gleichung 9):

$$\vartheta_R(t) = (\vartheta_{R0} - \vartheta_a) \cdot e^{-\frac{1}{R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges}} \cdot t} + \vartheta_a \tag{9}$$

Gleichung (9) beschreibt einen Vorgang, der bei t=0 mit ϑ_{R0} beginnt und bei t→∞ sich asymptotisch an ϑ_a annähert. Bei $\vartheta_R = \vartheta_a$ ist der Vorgang beendet.

Im Aufwärmvorgang speist die Heizung einen Wärmestrom $\dot{Q}_H$ ein. Dieser wird benutzt, um das Gesamtsystem inklusive Wände, Decken, Fußböden, Möbel, Aquarien, Teppiche usw. und die Luft im Innenraum zu erwärmen. Sobald jedoch an der Außenwand eine Temperaturdifferenz auftritt, fließt dadurch ein Teil des Wärmestroms nach außen ab. Das kommt in Gleichung (10) zum Ausdruck:

$$\dot{Q}_H = \underbrace{c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \dot{\vartheta}_R}_{\text{Erwärmung}} + \underbrace{\frac{1}{R_k} \cdot (\vartheta_R - \vartheta_a)}_{\text{Abfluss nach außen}} \quad (10)$$

Im Rechenmodell soll ein Heizkörper zum Einsatz kommen, der während des gesamten Aufheizvorgangs einen konstanten Wärmestrom $\dot{Q}_H$ abgibt. Dem kommt ein elektrisch betriebener Heizkörper am nächsten. Dieses Zeitverhalten steckt zusätzlich zum Verhalten der Außentemperatur in der Inhomogenität von Gleichung (11) (dort blaue Hervorhebung). Nach Umstellung liegt mit (11) wiederum eine inhomogene Differentialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten für den zeitlichen Verlauf der Temperatur vor (rote Hervorhebung), deren Lösung nach Abbildung 2 mit einem Computeralgebrasystem ermittelt werden kann. Die Temperatur zu Beginn des Aufwärmvorgangs bei t = 0 wird wiederum ϑ_{R0} genannt.

$$R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges} \cdot \dot{\vartheta}_R + \vartheta_R = R_k \cdot \dot{Q}_H + \vartheta_a \quad (11)$$

```
dgl:=rk· cges· mges· θr'+θr=rk· qph+θa          cges· mges· rk· θr'+θr=qph· rk+θa
ab:=θr(0)=θr0                                                          θr(0)=θr0
deSolve(dgl and ab,t,θr)
                                       -t / (cges· mges· rk)
                θr=(-qph· rk-θa+θr0)· e                       +qph· rk+θa
```

Abbildung 2: Lösung der Differentialgleichung (11) mit einem TI-Nspire (CAS) Taschenrechner, dgl … Differentialgleichung, ab … Anfangsbedingung

Eine Umsetzung des Ergebnisses aus der Informatik in gebräuchliche Formelschreibweise folgt in Gleichung (12):

$$\vartheta_R(t) = \left(\vartheta_{R0} - \vartheta_a - \dot{Q}_H \cdot R_k\right) \cdot e^{-\frac{1}{R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges}} \cdot t} + \vartheta_a + \dot{Q}_H \cdot R_k \quad (12)$$

Gleichung (9) wird somit zum Sonderfall von Gleichung (12) für $\dot{Q}_H = 0$. Auch sie beschreibt einen asymptotischen Vorgang. Der Start erfolgt bei t=0 mit ϑ_{R0}. Im Laufe der Zeit mit t→∞ steigt die Temperatur auf diejenige an, die sich infolge der Heizleistung als Dauertemperatur einstellt nach Gleichung (13).

Eine solche Dauertemperatur stellt sich auch ein in Zeitabschnitten, in denen die Heizung mit reduzierter Wärmeleistung zuschaltet, um eine Mindestraumtemperatur, auch genannt Stütztemperatur (z.B. [7]), dauerhaft (stationär) zu halten. Dazu braucht Gleichung (3) lediglich umgestellt zu werden nach der Raumtemperatur, Gleichung (13):

$$\vartheta_R = \vartheta_a + \dot{Q}_H \cdot R_k \quad (13)$$

Die Gleichungen (9) und (12) können auch nach der Zeitspanne t umgestellt werden, die eine konkrete Abkühlung oder Erwärmung benötigt.

Zahlenbeispiel

Was geht beispielsweise vor sich, wenn ein allein und beschattet im Wald, also vor übermäßiger Strahlung geschützt, stehendes Gebäude wie in Abbildung 3 für 8 Stunden verlassen werden soll? Die Behaglichkeitstemperatur zum Start und am Ende des Vorgangs beträgt 20°C, die Außentemperatur -10°C. Die Heizung ist maximal zu einem Wärmestrom von 2,5 kW in der Lage. Eine vollständige Dokumentation der Berechnung mit allen Ausgangsdaten befindet sich in der Anlage.

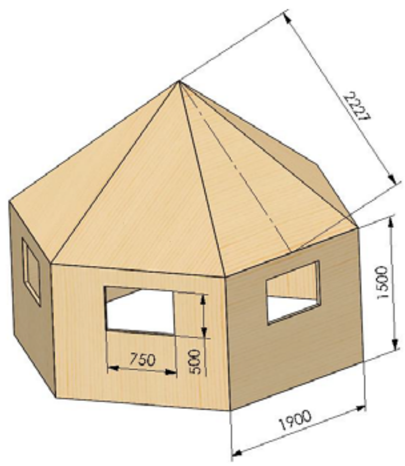


Abbildung 3: CAD-Modell einer finnischen Kota im Wald

Betrachtet werden wiederum beispielhaft 3 Fälle, siehe Tabelle 1:
a) die Heizung bleibt während der Abwesenheit abgeschaltet, b) die Heizung lässt mit Hilfe eines Reglers die Temperatur nicht unter 10°C absinken, c) die Heizung läuft unvermindert.

Tabelle 1: Auswertung der Beispielrechnung

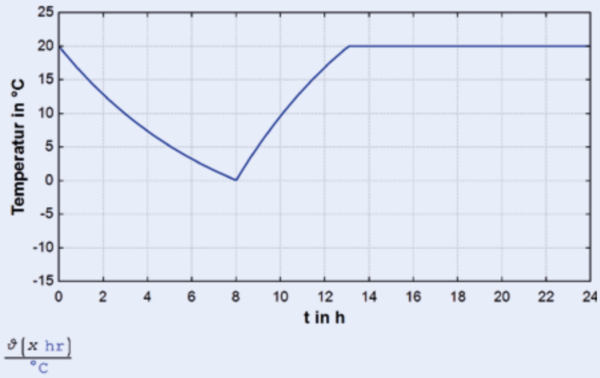
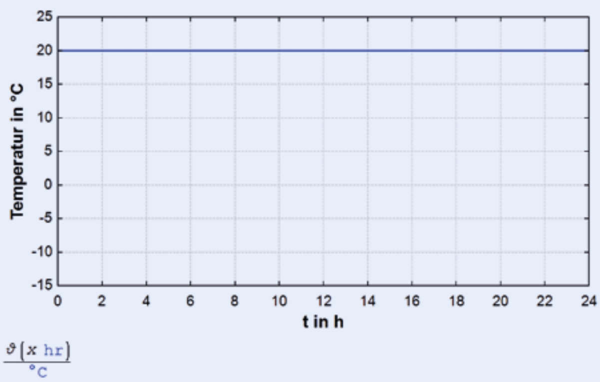
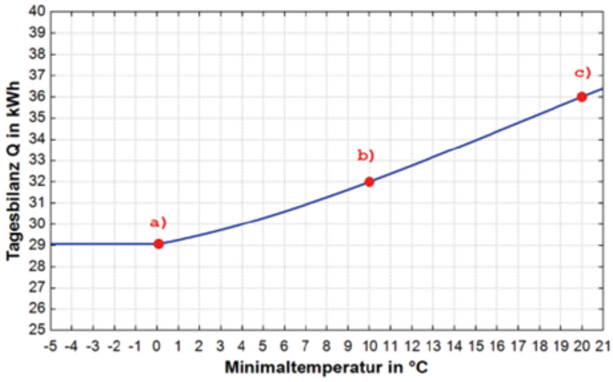
Fall	Diagramm	Abkühlungzeit	Heizzeit und -leistung bei Abwesenheit	Aufwärmzeit bei maxi-maler Heizleistung	Heizleistung am restlichen Tag	Energie-Tagesbilanz (24 h)
a)		8 h	0	5 h mit 2,5 kW	11 h mit 1,5 kW	29 kWh
b)		3 h	5 h mit 1 kW	3 h mit 2,5 kW	13 h mit 1,5 kW	32 kWh
c)		0	8 h mit 1,5 kW	0	16 h mit 1,5 kW	36 kWh

Abbildung 4 zeigt einen kontinuierlichen Verlauf der Energietagesbilanz über der am Heizungsregler eingestellten Minimaltemperatur während der Abwesenheit. Die rechte Spalte in Tabelle 1 zeigt aus diesem Verlauf 3 konkrete Punkte.



$$\left\{ \frac{Q_{24h}(x\ ^\circ C)}{kW\ hr}, \begin{bmatrix} 0.0773 & 29.0689 \\ 10 & 32 \\ 20 & 36 \end{bmatrix} \right.$$

Abbildung 4: Tagesenergiebilanz, aufgetragen über der am Heizungsregler eingestellten Minimaltemperatur während einer 8-stündigen Abwesenheit, rote Punkte: Fälle a), b) und c) aus Tabelle 1

Die Kurve weist einen Knick auf. Links davon schaltet die Heizung während der Abwesenheit nicht zu, da zum Zeitpunkt der Rückkehr des Nutzers die am Heizungsregler eingestellte Minimaltemperatur noch nicht erreicht wurde. Das kommt in der Wirkung dem völligen Abschalten der Heizung gleich. Rechts von diesem Knick wird während der Abwesenheit Energie verwendet, um das Auskühlen zu begrenzen. Aus mathematischer Sicht besitzt der Verlauf dieser Kurve kein lokales Minimum, das auf ein optimales Zuschalten der Heizung während der Abwesenheit hindeuten würde. Die Kurve besitzt nur ein globales Minimum, und das bedeutet: Bei Abwesenheit Heizung ausschalten!

Auswertung und Schlussfolgerungen

1. Beim Betrieb der Raumheizung fallen immer Kosten (CO_2-Produktion, …) an, die beim Ausschalten gespart werden. Das Wiederaufheizen der Räume kostet niemals mehr Energie als der ununterbrochene Betrieb der Heizung, wenn auch nur mit reduzierter Leistung. Die gegenteilige Behauptung der einleitend zitierten Autoren ist falsch!

2. Wer bei Abwesenheit (reduziert) heizt, erreicht nach Rückkehr schneller eine Behaglichkeitstemperatur. Dieser „Luxus“ kostet aber mehr Geld (CO_2-Produktion, …) als nicht zu heizen!

3. Das Abkühlen der Räume unter den Sättigungszustand der Luftfeuchte würde u.U. Folgekosten verursachen, die höher liegen als Kosten für reduziertes Heizen. Sie können anfallen beim Beseitigen von Schäden, die Kondenswasser an Wänden und Einrichtungsgegenständen verursachen. Die dahingehend optimale Lösung könnte geschaffen werden unter Einbeziehung eines Luftfeuchtesensors in die Heizreglung. Auch das Gefrieren von Wasser in Heizkörpern, Aquarien, Getränken usw. muss auf alle Fälle vermieden werden.

Einige Stimmen dazu aus der Fachwelt:

„Bei kurzzeitiger Abwesenheit wird der Sollwert der Temperatur abgesenkt (Stand-by), bei längerer Abwesenheit noch weiter reduziert und nachts in den Nachtbetrieb geführt.“ [5]

„Bei längerer Abwesenheit kann der Sollwert nahe Frostschutztemperatur geführt werden, um erheblich Heizkosten einzusparen. Ist das Gebäudautomationssystem direkt oder per E-Mail oder SMS erreichbar, so kann die Rückankunft der Heizungsanlage frühzeitig angekündigt werden, um die Sollwerte wieder anzupassen.“ [6]

Handelt es sich also bei der Mär vom Einspareffekt durch Heizen bei Abwesenheit bestenfalls um eine wohlgemeinte Lüge?

Es gibt Hinweise darauf, dass es sich auch um eine leichtfertige, vielleicht oberflächliche oder sachunkundige aber folgenschwere Verwechslung von Begriffen handeln könnte, die in Natur und Technik eindeutige Kategorien darstellen: Energieaufwand und Heizleistung. Welche der beiden Größen ist proportional zu Kosten, CO_2-Produktion usw.? Eindeutig nur der Energieaufwand! Der Zeitfaktor, der zwischen Energieaufwand und Heizleistung steht, spielt dafür keine oder nur eine geringe Rolle. Nach [7] ist „… zwischen Wärmeverbrauch und erforderlicher Heizleistung zu vermitteln. Bei längerer Nutzungspause und niedriger Stütztemperatur sinkt zwar der Wärmeverbrauch, aber die erforderliche Heizleistung beim Anheizen erhöht sich.“ Worin liegt dabei das Problem? Diese Leistung muss lediglich vom Energieversorger rein technisch zur Verfügung gestellt werden können, sie stellt jedoch keine höhere Belastung der Umwelt dar!

Wohnungen im Inneren von Gebäudekomplexen grenzen nur zu einem geringen Teil an die Außenluft. Der Großteil der Wände trennt sie zu anderen Wohnungen bzw. beheizten Treppenhäusern usw., was zur Folge hat, dass die Raumtemperatur bei abgeschalteter Heizung bei weitem nicht auf die Außentemperatur absinkt. Sie werden von den Nachbarräumen durch die Wände hindurch beheizt. Der Abrechnungsmodus für Heizenergie berücksichtigt diesen Umstand, indem höchstens 70% (in den Fällen entsprechend §7 Abs. 1 Satz 2 der Heizkostenverordnung [8]) der für ein Haus anfallenden Heizkosten (ohne Warmwasser) nach den Zählerständen der einzelnen Heizkörper aufgeteilt werden (Verbrauchskosten), die restlichen 30% hingegen gewichtet nach der Wohnfläche (Grundkosten). Die

Kondensation von Luftfeuchte wegen ausgeschalteter Heizung ist in solchen Fällen höchst unwahrscheinlich. Ein einmaliges Experiment mit einem Minimum-Maximum-Thermometer ist es wert!

(Der Beitrag beinhaltet Lehrinhalte des Maschinenbau-Studiums an der Staatlichen Studienakademie Riesa in den Modulen Mathematik [Analysis 2 und Mathematische Softwaresysteme] sowie Thermodynamik.)

Literatur

[1] Kaindl, Franziska: Beim Verlassen der Wohnung: Heizung herunterregeln oder ausschalten? [Zugriff am 10.08.2021], https://www.fnp.de/ratgeber/wohnen/heizung-ausschalten-herunterregeln-wohnung-verlassen-geld-kosten-zr-13116514.html und https://www.merkur.de/leben/wohnen/heizung-ausschalten-herunterregeln-wohnung-verlassen-geld-kosten-zr-13116514.html

[2] Online-Magazin eLIFE: Die 7 größten Fehler beim Heizen. [Zugriff am 10.08.2021], https://elife.vattenfall.de/gewusst-wie/die-7-groessten-fehler-beim-heizen/

[3] 21grad Blog: Richtig heizen im Winter – 13 Tipps zum Energiesparen. [Zugriff am 10.08.2021] https://www.vaillant.de/21-grad/rat-und-tat/richtig-heizen-im-winter/

[4] Eiselt, Jürgen (2013): Optimal Energie sparen beim Bauen, Sanieren und Wohnen. Wiesbaden: Springer Vieweg | Springer Fachmedien, 77.

[5] Wisser, Karolin (2018): Gebäudeautomation in Wohngebäuden (Smart Home). Wiesbaden: Springer Vieweg | Springer Fachmedien, 14.

[6] Aschendorf, Bernd (2014): Energiemanagement durch Gebäudeautomation. Wiesbaden: Springer Vieweg | Springer Fachmedien, 1015.

[7] Lauckner, Gunter; Krimmling, Jörn (2020): Raum- und Gebäudeautomation für Architekten und Ingenieure. Wiesbaden: Springer Vieweg | Springer Fachmedien, 198.

[8] Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten, Bundesgesetzblatt I 3250, siehe z.B. https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/__7.html

[9] Ivashov, Andrey: SMath-Studio. © 2021 [Zugriff am 04.01.2021]. Verfügbar unter: https://en.smath.com/view/SMathStudio/summary

[10] Saurer, Friedrich: SMath-Studio. © 2021 [Zugriff am 04.01.2021]. Verfügbar unter: https://smath.at/

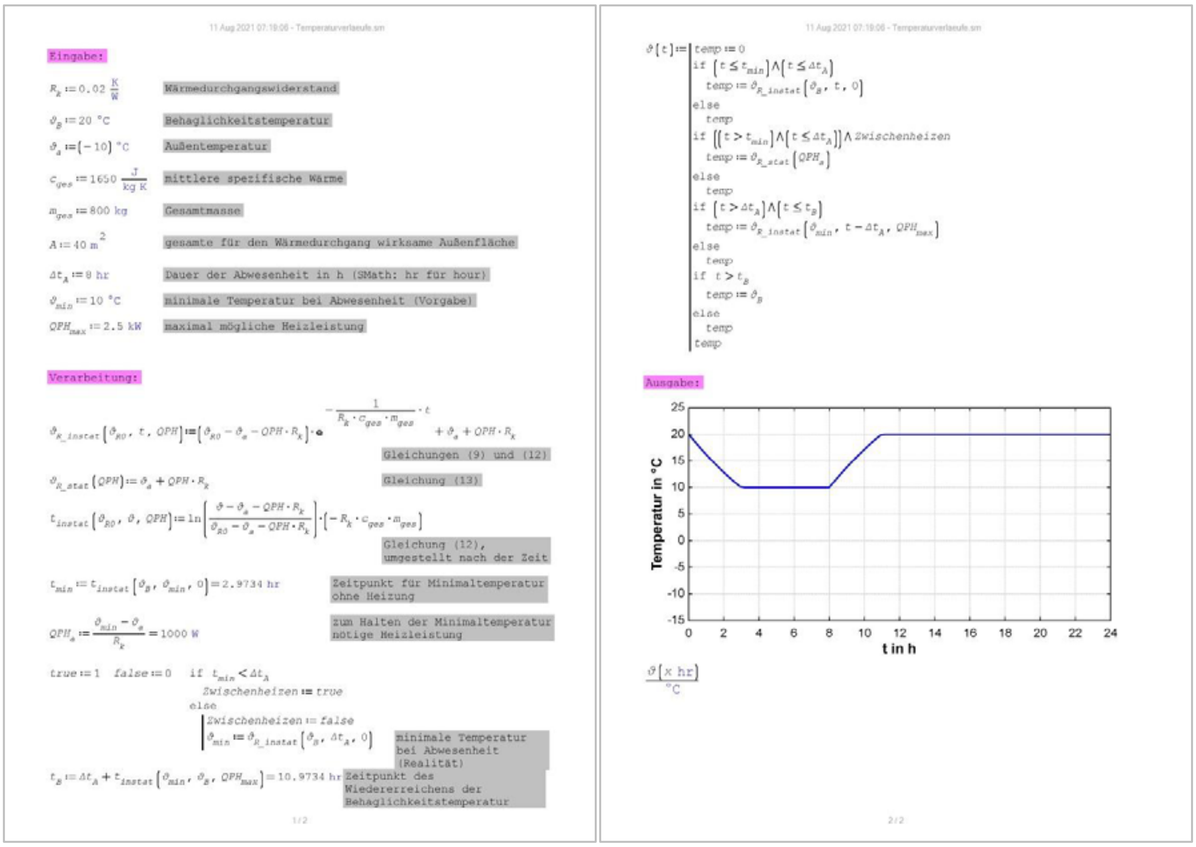
Zeichen und Symbole

Zeichen	Einheit	Bedeutung
A	m^2	Fläche
c	$\frac{J}{kg \cdot K}$	spezifische Wärme
k	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Wärmedurchgangskoeffizient
m	kg	Masse
Q	J	Wärmemenge
$\dot{Q}$	J/s	Wärmestrom
R_k	$\frac{K}{W}$	Wärmedurchgangswiderstand
t	s	Zeit
Δ		Differenz
ϑ	°C	Temperatur
$\frac{d\vartheta}{dt} = \dot{\vartheta}$	$\frac{K}{s}$	1. Ableitung der Temperatur nach der Zeit

Index	Bedeutung
a	außen
A	Abwesenheit
B	Behaglichkeit
ges	gesamt
H	Heizung
k	Wärmedurchgang
max	maximal
min	minimal
R	Raum
0	Startwert
1	Teilmasse 1
2	Teilmasse 2

Anlage

Berechnungsprogramm für das Zahlenbeispiel im Programm SMath-Studio ([9], [10])



11 Aug 2021 07:19:06 - Temperaturverlaeufe.sm

Eingabe:

$R_k := 0.02\ \frac{K}{W}$ — Wärmedurchgangswiderstand

$\vartheta_B := 20\ °C$ — Behaglichkeitstemperatur

$\vartheta_a := (-10)\ °C$ — Außentemperatur

$c_{ges} := 1650\ \frac{J}{kg\ K}$ — mittlere spezifische Wärme

$m_{ges} := 800\ kg$ — Gesamtmasse

$A := 40\ m^2$ — gesamte für den Wärmedurchgang wirksame Außenfläche

$\Delta t_A := 8\ hr$ — Dauer der Abwesenheit in h (SMath: hr für hour)

$\vartheta_{min} := 10\ °C$ — minimale Temperatur bei Abwesenheit (Vorgabe)

$QPH_{max} := 2.5\ kW$ — maximal mögliche Heizleistung

Verarbeitung:

$$\vartheta_{R\_instat}(\vartheta_{R0}, t, QPH) := (\vartheta_{R0} - \vartheta_a - QPH \cdot R_k) \cdot e^{-\frac{1}{R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges}} \cdot t} + \vartheta_a + QPH \cdot R_k$$

Gleichungen (9) und (12)

$$\vartheta_{R\_stat}(QPH) := \vartheta_a + QPH \cdot R_k$$

Gleichung (13)

$$t_{instat}(\vartheta_{R0}, \vartheta, QPH) := \ln\left(\frac{\vartheta - \vartheta_a - QPH \cdot R_k}{\vartheta_{R0} - \vartheta_a - QPH \cdot R_k}\right) \cdot (-R_k \cdot c_{ges} \cdot m_{ges})$$

Gleichung (12), umgestellt nach der Zeit

$t_{min} := t_{instat}(\vartheta_B, \vartheta_{min}, 0) = 2.9734\ hr$ — Zeitpunkt für Minimaltemperatur ohne Heizung

$QPH_a := \frac{\vartheta_{min} - \vartheta_a}{R_k} = 1000\ W$ — zum Halten der Minimaltemperatur nötige Heizleistung

```
true := 1   false := 0   if t_min < Δt_A
                            Zwischenheizen := true
                          else
                            Zwischenheizen := false
                            ϑ_min := ϑ_R_instat(ϑ_B, Δt_A, 0)
```

minimale Temperatur bei Abwesenheit (Realität)

$t_B := \Delta t_A + t_{instat}(\vartheta_{min}, \vartheta_B, QPH_{max}) = 10.9734\ hr$ — Zeitpunkt des Wiedererreichens der Behaglichkeitstemperatur

1/2

11 Aug 2021 07:19:06 - Temperaturverlaeufe.sm

```
ϑ(t) := | temp := 0
        | if (t ≤ t_min) ∧ (t ≤ Δt_A)
        |   temp := ϑ_R_instat(ϑ_B, t, 0)
        | else
        |   temp
        | if ((t > t_min) ∧ (t ≤ Δt_A)) ∧ Zwischenheizen
        |   temp := ϑ_R_stat(QPH_a)
        | else
        |   temp
        | if (t > Δt_A) ∧ (t ≤ t_B)
        |   temp := ϑ_R_instat(ϑ_min, t − Δt_A, QPH_max)
        | else
        |   temp
        | if t > t_B
        |   temp := ϑ_B
        | else
        |   temp
        | temp
```

Ausgabe:

$\frac{\vartheta(x\ hr)}{°C}$

2/2