

GESCHICHTE DER KARUSSELLTÜREN

Karuselltüren sparen Energie



Copyright © BLASI GmbH 2014

Hersteller

BLASI GmbH
Carl-Benz-Str. 5-15
D-77972 Mahlberg

Vertrieb

BLASI GmbH
Carl-Benz-Str. 5-15
D-77972 Mahlberg

PDB_KTA_DE

1 Karusselltüren sparen Energie

1.1 Eine kurze Geschichte der Karusselltüren

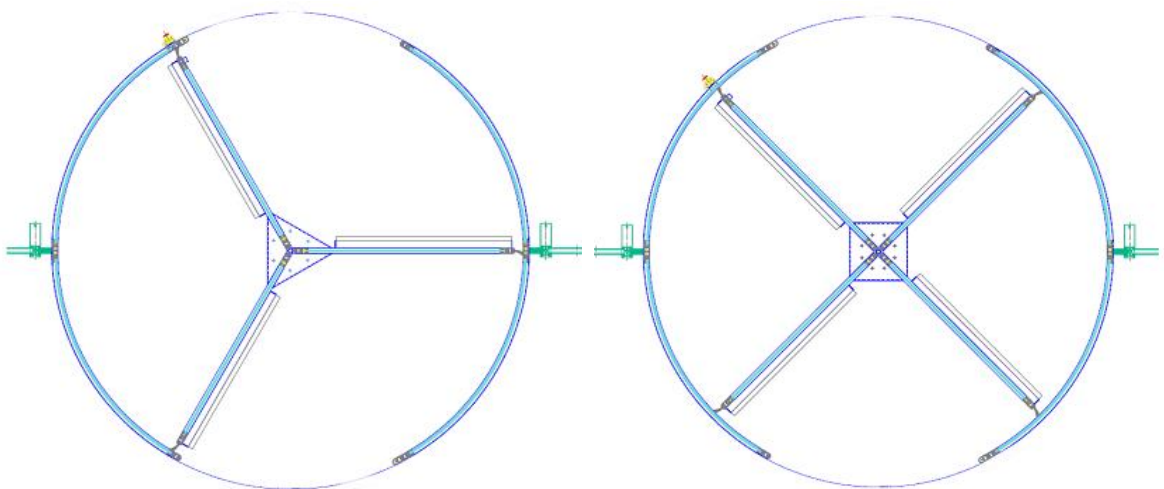
Wann wurde die Karusselltür erfunden?

Zu welchem Zweck wurde die Karusselltür ursprünglich erfunden?

In 1888 erhielt Theophilus Van Kannel in Philadelphia das US-Patent für eine dreigeteilte Karusselltür, die er „Sturmtür“ nannte. Die von ihm entwickelte Tür zeichnete sich durch geräuschlosen Betrieb und „eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber einer Tür in [./.] Scharnierbauweise“ aus, da sie „das Eindringen von Wind, Schnee, Regen oder Staub“ verhinderte. Und da sich eine Karusselltür nur in eine Richtung dreht, konnten Menschen in Strömen in ein Gebäude gelangen, wobei „die Gefahr für Zusammenstöße gering“ war.

Heutzutage sitzen die Türflügel der Karusselltür auf einer rotierenden Welle und können sich innerhalb ihres Gehäuses unbegrenzt drehen. Im Gegensatz dazu sind herkömmliche Pendeltüren an Scharnieren befestigt und lassen sich maximal 180 Grad öffnen. Die meisten Karusselltüren verfügen über drei oder vier Türflügel und werden entweder manuell über Schiebebügel bestätigt oder sind „halbautomatisch“ (mit Push & Go-Funktion)“ oder „vollautomatisch“. Karusselltüren sind von gebogenen Trommelwänden umgeben mit Öffnungen in der Größe eines Türflügels. Diese Bauweise sorgt dafür, dass Karusselltüren grundsätzlich geschlossen sind und somit verhindern, dass Wind [oder Kälte bzw. Wärme] in das Gebäude eindringen kann. *Auf diese Weise senken Karusselltüren den Energiebedarf zur Beheizung oder Kühlung des jeweiligen Gebäudes.*

Die beiden nachfolgenden Grafiken veranschaulichen die Funktionsweise von zwei heutzutage verwendeten automatischen Karusselltürsystemen.



1.2 Berechnung der theoretischen Luftdurchlässigkeit

Die Luft in einem Gebäude wird zur Stärkung des Wohlbefindens der Personen, die sich in dem Gebäude aufhalten, behandelt. Bei den entsprechenden Anlagen handelt es sich um „Klimaanlagen“ im Sommer und „Heizungsanlagen“ im Winter, aber es gibt auch Ventilatoren, die das ganze Jahr über einen Luftaustausch sicherstellen und somit ebenfalls für eine Raumklimatisierung sorgen. Zur Klimatisierung der Luft wird Energie benötigt - um im Sommer heiße und feuchte Luft zu kühlen und zu trocknen und im Winter kalte, trockene Luft zu erwärmen. Daher müssen Klimaanlagen jedes Mal, wenn Luft zwischen innen und außen zirkuliert, verstärkt arbeiten und verbrauchen somit mehr Energie.

Nutzungsfrequenzen von Türen lassen sich sowohl im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf das Gebäude als auch auf die Umwelt auswerten, und zwar bezüglich folgender Aspekte:

- Eindringende oder ausströmende Gebäudeluft aufgrund der Luftdurchlässigkeit der Türen
- Energieverbrauch der Klimaanlage des Gebäudes zur Beheizung oder Kühlung der Verdrängungsluft
- Kosten des Energieverbrauchs
- Kohlendioxidemissionen im Zusammenhang mit dem erzeugten Energieverbrauch

Die Luftdurchlässigkeit einer Tür, d. h. sowohl die natürliche Zirkulation als auch eindringende Luft, hängt von den Druckunterschieden in der Gebäudehülle aufgrund von unterschiedlichen Luft- und Winddichten ab, die wiederum von den Temperaturabweichungen zwischen Außen- und Raumluft beeinflusst werden ⁽¹⁾. Die Luftdurchlässigkeit wird im Allgemeinen in Form eines Volumenstroms gemessen und in Kubikmetern pro Minute (m³/min) angegeben (Luftleckrate).

Die Luft entweicht sowohl bei Karussell- als auch bei Pendeltüren auf zwei Wegen: zum einen über Dichtungen und Risse bei geschlossener Tür und zum anderen über den Durchgang bei geöffneter Tür. ^{(2) (3)}.

Zur Berechnung der theoretischen Luftdurchlässigkeit werden Verfahren und Annahmen verwendet, die die amerikanische Gesellschaft der Heizungs-, Kühl- und Klimaanlagentechnik (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) in Handbüchern und Fachbeiträgen veröffentlicht hat. Einige Werte lassen sich mit Formeln berechnen, andere können einzig anhand von Diagrammen auf der Grundlage von Versuchsergebnissen interpoliert werden.

(1) Handbuch der ASHRAE 2005: Grundlagen

(2) Schutrum, L.F., et al. „Air infiltration through revolving doors“ (Luftinfiltration bei Karusselltüren)

(3) Min, T.C. „Winter infiltration through swinging door entrances (Luftinfiltration bei Pendeltüreingängen im Winter)

1.2.1 Luftdurchlässigkeit von Karusselltüren

Bei Karusselltüren besteht der Luftstrom aus einer Kombination von eindringender Luft durch die Türbürsten und Risse im Stillstand und verdrängter Luft bei Drehung der Tür.

Die Luftinfiltration über die Türdichtungen (ohne sichtbare Risse) hängt von der Druckdifferenz zwischen Außen- und Raumluft und der Anordnung von Türflügel und Rahmen ab (wird der Rahmen von nur zwei oder von allen 3 bzw. 4 Türflügeln touchiert). Weisen die Türdichtungen sichtbare Risse auf, ist die Luftinfiltration abhängig von der Druckdifferenz zwischen Außen- und Raumluft und der Größe der Risse.

Bei Drehung der Karusselltür hängt die Luftdurchlässigkeit von der Personenfrequenz, der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft und geringfügig auch von der Windgeschwindigkeit im Freien ab. Sonst [?] müssen zuerst die durchschnittliche Drehgeschwindigkeit der Karusselltür (in Umdrehungen pro Minute) und die jeweilige Betriebszeit überschlagen werden. Anhand der ermittelten durchschnittlichen Drehgeschwindigkeit lässt sich anschließend die Luftinfiltration berechnen.

In früheren Versuchen wurde nachgewiesen, dass der Luftstrom bei Drehung einer Karusselltür so gut wie gar nicht von der Druckdifferenz abhängt und dass die Luftinfiltration über die Türbürsten bei Drehung der Tür nicht erheblich variiert. Demzufolge lässt sich die Gesamtluftdurchlässigkeit einer Karusselltür durchaus durch Addition des Luftdurchlasses die Bürsten und Risse und der Verdrängungsluft bei Drehung der Tür berechnen.

1.2.2 Luftdurchlässigkeit von Pendeltüren

Bei Pendeltüren wird die Luftinfiltration von der Druckdifferenz zwischen Außen- und Raumluft und dem sogenannten Zugangskoeffizienten beeinflusst, der seinerseits von der Publikumsfrequenz abhängt - wobei es unerheblich ist, ob sich die Tür zu einem Vorraum öffnet und inwieweit der Durchgang durch den Publikumsverkehr blockiert wird. Kennt man den Zugangskoeffizienten, lässt sich die Luftinfiltration einer Pendeltür überschlägig berechnen.

Ähnlich wie bei Karusselltüren stellt der Gesamtluftstrom bei Pendeltüren eine Kombination aus Luftinfiltration bei Betätigung der Tür und aus über Risse eindringende Luft dar.

1.2.3 Druckdifferenz zwischen Außen- und Raumluft

Es ist ganz offensichtlich so, dass bei der Luftdurchlässigkeit von Karussell- und Pendeltüren die Druckdifferenz zwischen Außen- und Raumluft eine bedeutende Rolle spielt. Die Gesamtdruckdifferenz ist an zwei Parameter gekoppelt: Luftdruckdifferenz und Winddruck. (4).

- Berechnung der Gesamtdruckdifferenz

Δp

Gesamtdruckdifferenz, (in Zoll Wassersäule)

$$\Delta p = p_w - \Delta p_s$$

wobei

Δp_s = Luftdruckdifferenz in Zoll Wassersäule

p_w = Winddruck in Zoll Wassersäule

Luftdruck entsteht durch die Gewichtskraft der Luftsäule. Somit wird die Differenz zwischen Raum- und Außenluft von den unterschiedlichen Lufttemperaturen und -dichten in Innen- bzw. Außenbereichen, der Höhe der Luftsäule (wird im Allgemeinen mit der Höhe des Gebäudes gleichgesetzt) und der Höhe des Bezugspunktes, d. h. der Höhe des Bodens beeinflusst.

- Berechnung der Luftdruckdifferenz

Δp_s

Luftdruckdifferenz, (in Zoll Wassersäule)

$$\Delta p_s = C_1 \rho_o \left(\frac{T_o - T_i}{T_i} \right) g (H_{NPL} - H)$$

wobei

C_1

= Einheitenumrechnungsfaktor = 0,00598 (Zoll Wassersäule) ft s² / lb

ρ_o

= Außenluftdichte, lb/ft³

T_o

= Außentemperatur, °R

T_i

= Innentemperatur, °R

g

= Gravitationsbeschleunigung = 32,2 ft/s²

H_{NPL}

= Höhe des Neutraldrucks in Fuß, bis max. halbe Höhe des Ge-

bäudes

H

= Höhe des Bezugspunktes in Fuß, bis max. halbe Türhöhe ⁽⁴⁾

Winddruck ist das Ergebnis von Windlasten auf ein Gebäude und ergibt sich aus der Windrichtung, der Ausrichtung des Gebäudes, der Windgeschwindigkeit, der Luftdichte und den Umgebungsbedingungen ⁽⁴⁾.

- Berechnung des Winddrucks

$$P_w$$

Winddruck

(in Zoll Wassersäule)

$$P_w = C_2 C_p \rho \frac{U^2}{2}$$

wobei

$$C_2$$
= Einheitenumrechnungsfaktor = 0,0129 (Zoll Wassersäule) ft³ / lb mph²
$$C_p$$

= Leistungsbeiwert

$$\rho$$
= Außenluftdichte, lb/ft³ (ca. 0,075)
$$U$$

= Windgeschwindigkeit in mph

(4). Amerikanische Gesellschaft der Heizungs-, Kühl- und Klimaanlage-Technik (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.)

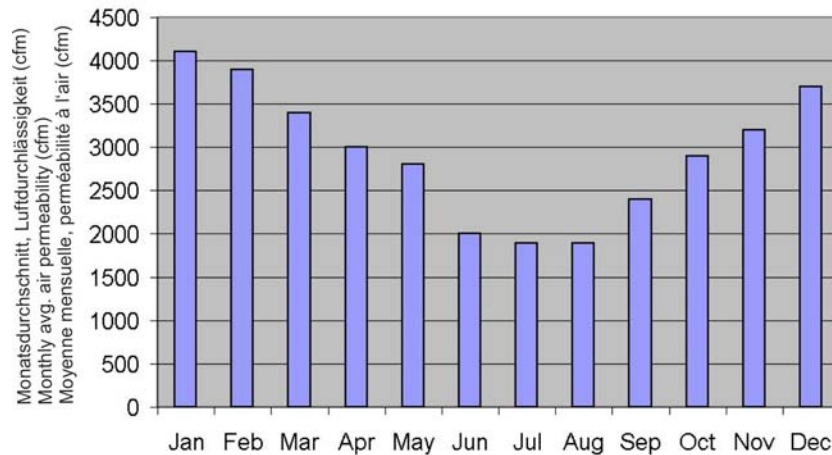
1.2.4 Berechnungsergebnisse

Bei dieser Berechnung werden Türdaten verwendet, die einer durchschnittlich Nutzung von rund 900 Durchgängen pro Stunde beim Betreten und Verlassen eines Gebäudes entsprechen, wobei 25 % der Personen dafür Karusselltüren ⁽⁵⁾ und 75 % Pendeltüren benutzen. ⁽⁶⁾. Für die Wetterdaten wurde die untenstehende TABELLE genutzt. Man geht bei dieser Berechnung von einer [durchschnittlichen] Raumtemperatur von 21 Grad über das gesamte Jahr aus.

Des Weiteren geht man von einem sichtbaren Riss zwischen Türdichtungen und Boden bzw. Türrahmen mit einer Gesamtlänge von 260 mm und einer Gesamtbreite von 15 mm aus. Somit handelt es sich bei den derzeitigen Berechnungen um eine zurückhaltende Herangehensweise, die sich auch noch bei Verschlechterung der Witterungsverhältnisse anwenden lässt.

Monat	Durchschnittliche Höchsttemperatur	Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (km/h)
Januar	0	19,50
Februar	1	20,98
März	8	19,50
April	14	18,00
Mai	16	18,00
Juni	28	16,40
Juli	30	19,10
August	30	14,70
September	24	16,50
Oktober	16	21,00
November	12	18,00
Dezember	3	19,50

Für jeden Monat wird ein durchschnittlicher monatlicher Luftstrom aller Pendel- und Karusselltüren berechnet. Wie aus der nachstehenden Abbildung ersichtlich, ist der Luftstrom in den Wintermonaten größer. Im Jahresdurchschnitt beträgt er ca. 2935 cfm.



(5) Abmessungen einer Karusselltür = Ø2500 x 2400 mm Durchgangshöhe

(6) Abmessungen von ZWEI Pendeltüren = 900 mm Durchgangsbreite x 2200 mm Durchgangshöhe

1.3 Berechnung des theoretischen Energieverbrauchs und der Emissionen

Die Luftleckrate und die Betriebsdauer der Türen haben Einfluss auf das Gesamtvolumen der Verdrängungsluft innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Bei diesem Versuch geht man davon aus, dass die Tür 9 Stunden pro Tag in Betrieb ist. Der Verdrängungsluftvolumenstrom bestimmt zusammen mit den Parametern der Raum- und Außenluft, wie Temperatur, Dichte und Wärmekapazität, die Wärmemenge, die durch die Türen aufgrund von Luftdurchlässigkeiten entweicht.

- Berechnung des gesamten Wärmestroms

$$E_{ht} \text{ (J)}$$

Übertragungswärme,

$$E_{ht} = (T_i - T_o) \rho V C$$

wobei

 T_i

= Temperatur der Raumluft (°C)

 T_o

= Temperatur der Außenluft (°C)

 ρ

= Luftdichte = 1,2929 kg/m³

 V

= Luftvolumen (m³)

 C

= Wärmekapazität = 1,03 * 10³ J/kgK

Damit im Inneren des Gebäudes eine bestimmte Temperatur (21°C) vorherrscht, muss die Verdrängungswärme bzw. thermische Energie von der Heiz- bzw. Klimaanlage des Gebäudes ausgeglichen werden. In den Wintermonaten dringt beispielsweise kalte Außenluft durch die Türen in das Gebäude ein und verdrängt das gleiche Volumen an warmer Luft aus dem Gebäude. Um das Gebäude gleichbleibend warm zu halten, muss die Heizanlage thermische Energie zur Erwärmung der Raumluft in einem Umfang erzeugen, der der in der Verdrängungswärme enthaltenen Energie entspricht. Daneben erreicht der Wirkungsgrad dieser Anlagen nie 100 %, sodass sie also mehr Energie verbrauchen, als sie erzeugen sollen.

Um ein besseres Gefühl für die verbrauchte Energiemenge zu bekommen, wird diese umgerechnet in

- die Zahl der Einfamilienhäuser, die damit ein Jahr lang beheizt werden können ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾, und
- die Dauer, über die eine 100 W Glühlampe mit Strom versorgt werden kann.

Unter Anwendung eines einfachen Multiplikators aus den Statistiken der Treibhausgasemissionen bestimmter Treibstoffe lässt sich außerdem der CO²-Ausstoß aufgrund der Luftdurchlässigkeit von Türen errechnen.

⁽⁷⁾ 51,5 Millionen BTU (British Thermal Units) (bzw. 15104,8 kWh) sind nötig, um ein durchschnittliches Einfamilienhaus zu beheizen

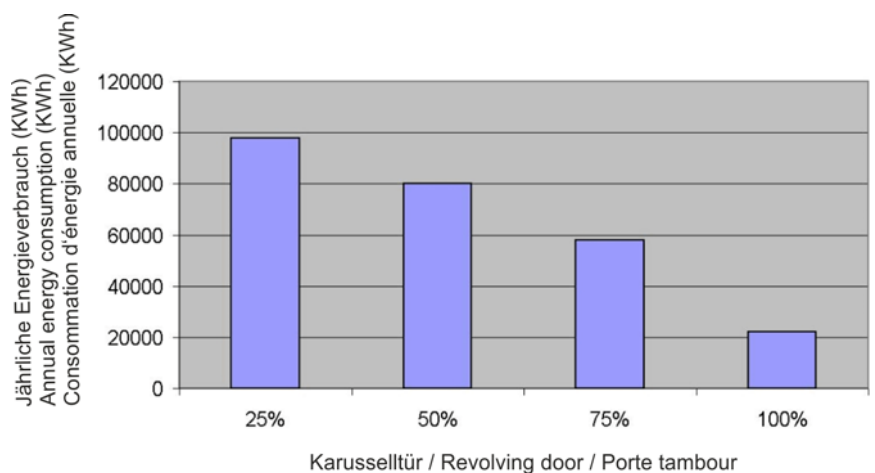
⁽⁸⁾ Energy Information Administration (EIA). 18. November 2004. "2001 Residential Energy Consumption Survey: Household Energy Consumption and Expenditures tables" (Übersicht über den Energieverbrauch privater Haushalte in 2001). 1. Mai 2006

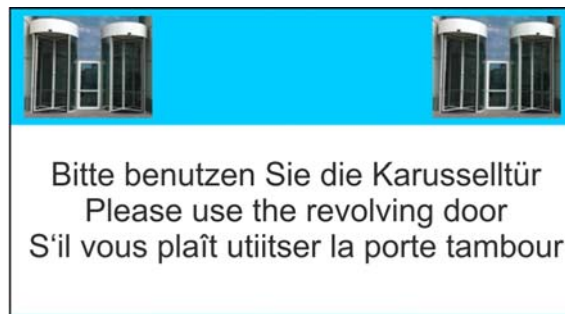
<http://www.eia.doe.gov/emeu/recs2001/detailcetbls.html>

1.3.1 Berechnungsergebnis

Es wird davon ausgegangen, dass die in der Untersuchung berücksichtigte Anlage einen Wirkungsgrad von 60 % besitzt. Anhand der bereits ermittelten Luftleckrate lässt sich berechnen, dass rund 98.912,8 kWh Energie erforderlich sind, um die innerhalb eines Jahres über die Türen (sowohl Karussell- als auch Pendeltüren) entweichende Luft zu beheizen oder zu kühlen. Mit dieser Energie lassen sich 6,5 Einfamilienhäuser ein Jahr lang beheizen oder eine 100-W-Glühlampe 37,8 Jahre lang mit Strom versorgen. Bei der Erzeugung dieser Energiemenge entstehen 18,8 Tonnen CO².

Dabei ist es durchaus interessant zu ermitteln, wie viel Energie sich sparen ließe, wenn man einen höheren Nutzungsgrad von Karusselltüren als die angenommenen 25 % ansetzt. Daher wurden der Luftstrom und der damit zusammenhängende Energieverbrauch und die entsprechenden Emissionen auch für einen Nutzungsgrad von Karusselltüren in Höhe von 50 %, 75 % und 100 % berechnet. Nachfolgend finden Sie den jährlichen Energieverbrauch und die möglichen Energieeinsparungen der verschiedenen Szenarien im Vergleich zur derzeitigen Situation.





1.3.2 Mögliche Energieeinsparungen je nach Nutzungsgrad einer Karusselltür

Nutzungsgrad einer Karusselltür	50 %	75 %	100 %
Jährliche Energieeinsparung	15 %	39 %	74 %
Anzahl der Häuser, die mit der gesparten Energie 1 Jahr lang beheizt werden können	1,2	2,9	5,3
Anzahl der Jahre, über die eine 100-W-Glühlampe mit Strom versorgt werden kann	5,8	15,3	29,0
Nicht ausgestoßenes CO ² in Tonnen	3,0	7,7	14,6

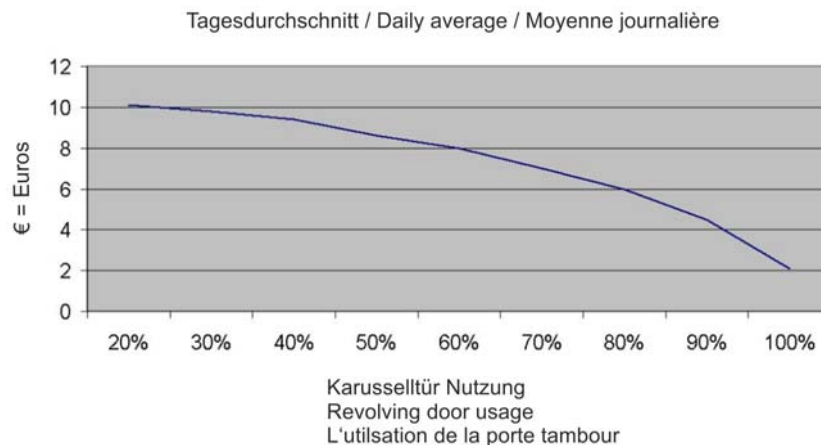
An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass der jährliche Energieverbrauch sich nicht linear zum Nutzungsgrad einer Karusselltür entwickelt. Stattdessen ist offensichtlich, dass es zu einer stufenweise Entwicklung kommt, je mehr Menschen Karusselltüren nutzen.

1.4 Berechnung der Energiekosten und der Amortisationszeit

In den Wintermonaten sind Luftdurchlass und Energieverbrauch höher als der oben genannte Jahresdurchschnitt (ca. 3500 bis 4000 cfm gegenüber einem Jahresdurchschnitt von 2395 cfm). Demzufolge ist im Winter auch mit entsprechend höheren Energiekosten zu rechnen. Daher stellt der Winter auch den besten Zeitraum dar, um neue Gewohnheiten anhand von Maßnahmen, z.B. mithilfe von Hinweisschildern schnellstmöglich zu prägen.

1.4.1 Berechnungsergebnis

Die durchschnittlichen Energiekosten wegen Luftdurchlässigkeit von Gebäudetüren beträgt €10,10 im Winter ⁽⁹⁾. Wird der Nutzungsgrad der Karusselltür auf 50 %, 75 % bzw. 100 erhöht, sinken die Kosten entsprechend auf €8,52, €5,93 bzw. €2,19. Das Verhältnis zwischen dem Nutzungsgrad einer Karusselltür und den täglichen Energiekosten im Winter wird in der nachfolgenden Grafik veranschaulicht.



⁽⁹⁾ Zugrunde gelegt wird ein Großhandelspreis für Erdgas in Höhe von € 0,5 / therm (Daten vom 8. Mai 2006)

1.5 Kostenwirkung von Karusselltüren und Pendeltüren

Anhand aller bisherigen Berechnungen wissen wir, dass sich die täglichen Energiekosten zur Kühlung und Trocknung feuchtwarmer Luft aufgrund der Luftdurchlässigkeit von zwei Pendeltüren (900 x 2200 mm) ⁽⁶⁾ (in einem Gebäude ohne Karusselltür) auf rund

- **€13,00 belaufen**

Anhand aller bisherigen Berechnungen wissen wir, dass sich die täglichen Energiekosten zur Kühlung und Trocknung feuchtwarmer Luft aufgrund der Luftdurchlässigkeit einer Karusselltür ⁽⁵⁾ (in einem Gebäude ohne Pendeltür) auf rund

- **€2,20 belaufen**

Wie wir wissen, belaufen sich die Material- und Einbaukosten von zwei Pendeltüren (900 x 2200 mm) ⁽⁶⁾ auf:

- **€3.000,00**

Wie wir wissen, belaufen sich die Material- und Einbaukosten einer *automatischen* Karusselltür (2500 x 2200 mm) ⁽⁵⁾ auf:

- €20.000,00

Wie wir wissen, belaufen sich die Material- und Einbaukosten einer *manuellen* Karusselltür (2500 x 2200 mm) ⁽⁵⁾ auf:

- €14.000,00

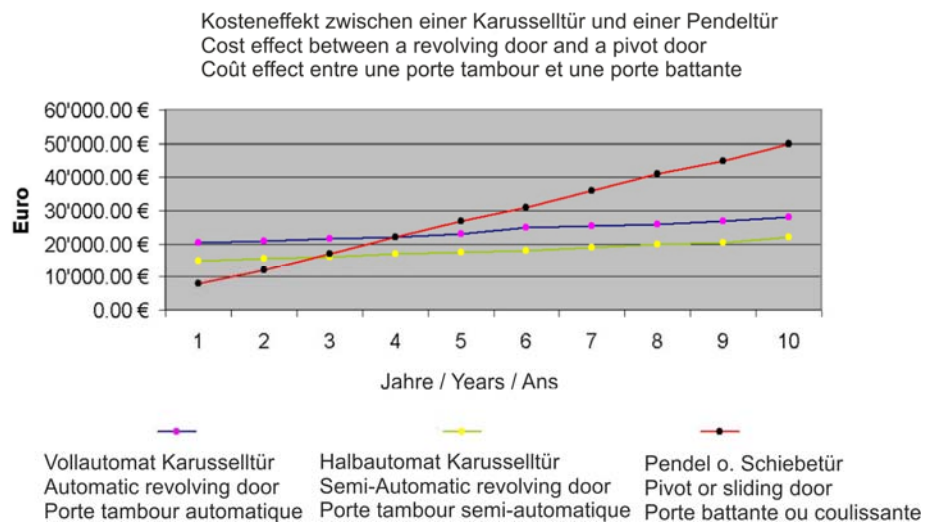
⁽⁵⁾ Abmessungen einer Karusselltür = Ø2500 x 2400 mm Durchgangshöhe

⁽⁶⁾ Abmessungen von ZWEI Pendeltüren = 900 mm Durchgangsbreite x 2200 mm Durchgangshöhe

1.5.1 Berechnungsergebnis

Es ist durchaus interessant zu ermitteln, wie lange es dauert, bis man die Kosten für den Energieverbrauch einschließlich Anschaffungskosten wieder eingespart hat, wenn man Karussell- und Pendeltüren vergleicht. Die unterschiedlichen Szenarien werden unten aufgeführt.

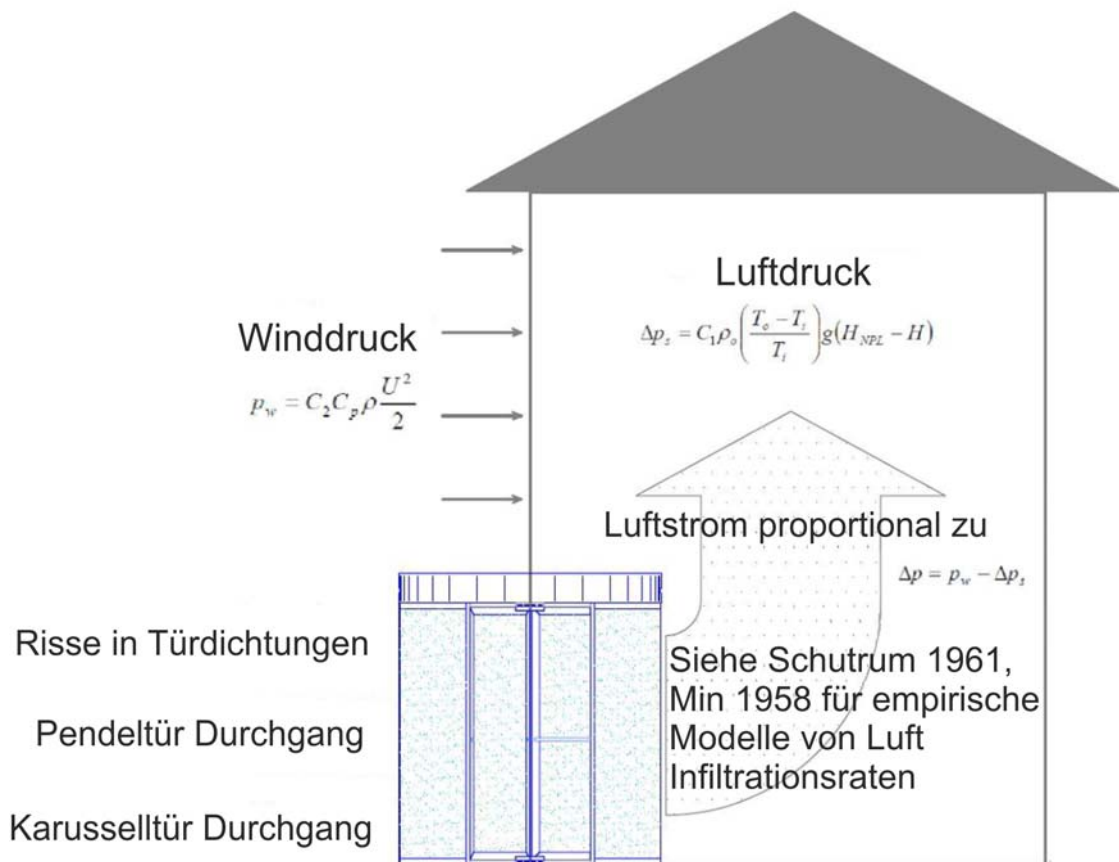
- Die Energiekosten einer Pendeltür betragen pro Jahr: €13,00 x 360 Tage = €4.680,00
- Die Energiekosten einer Karusselltür betragen pro Jahr: €2,20 x 360 Tage = €792,00



1.6 Fazit

Die mögliche Energieeinsparung einer unserer Karusselltür ist beachtlich, besonders wenn man bedenkt, dass sie immer nur in einem Zeitfenster von jeweils drei bzw. vier Sekunden generiert wird. Allerdings belaufen sich die Energieeinsparungen, wenn jeder nur noch Karusselltüren von uns nutzt, nicht auf 88 Prozent, da man nicht davon ausgehen kann, dass tatsächlich 8 Mal weniger Luft durch Karusselltüren im Vergleich zu Pendeltüren entweicht. Dies liegt darin begründet, dass Karusselltüren allgemein luftdurchlässiger sind als Pendel- oder Schiebetüren, was ihren Wirkungsgrad insgesamt geringfügig mindert.

Energieeinsparungen sind wetterabhängig: Heizen verbraucht mehr Energie als Kühlen und die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft ist im Winter größer als im Sommer, d. h., im Winter wird mehr Energie gespart. Windige Tage sind schlimmer als windstille. Denken Sie immer daran: Wenn Sie durch eine Tür gehen und dabei einen „Windhauch“ spüren, spüren Sie die Energie, die aus dem Gebäude entweicht.



1.7 Quellenangaben

- Amerikanische Gesellschaft der Heizungs-, Kühl- und Klimaanlage-Technik (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.) 2005. Handbuch der ASHRAE: Grundlagen. Atlanta: ASHRAE
- Min, T.C. (1958). Winter infiltration through swinging-door entrances in multi-story buildings (Luftinfiltration bei Pendeltüreingängen in mehrgeschossigen Gebäuden im Winter). Heating, Piping and Air conditioning, 30 (2), 121-128
- Power MIT: Real time power and emissions data (Leistungs- und Emissionswerte in Echtzeit). Im Juli 2006 abgerufen unter (2) (<http://cogen.mit.edu/powermit/>)
- Schutrum, L.F., et. al. (1961) „Air infiltration through revolving doors“ (Luftinfiltration bei Karusselltüren). ASHRAE Journal, 3 (11), 43-50
- The weather Underground, Inc. (2006). History for Boston, Massachusetts. Am 1. Mai 2006 abgerufen von (3) (<http://www.wunderground.com/>)
- U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. 11. Juli 2006). Average Retail Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector, by State. Im Juli 2006 abgerufen unter (4) (http://www.eai.doe.gov/cneaf/electricity/epm/table5_6_a.html)
- <http://link.brightcove.com/services/player/bcpid271557392?bctid=44582923001>

Wir behalten uns das Recht vor, diese Spezifikation jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern.

Für weitere Frage kontaktieren Sie bitte Ihren lokalen Service-Center.