

Kapitel 4

Randbedingungen

4.1 Untersuchte Wetterzonen

Für die Entwicklung dieser Arbeit werden exemplarisch drei Städte mit unterschiedlichen Klimawerten untersucht. Auf diese Weise kann man bei jeder Lufttemperatur und jedem Heizbedarf den COP der Anlage berechnen und vergleichen.

4.1.1 Stockholm

Als Beispiel für kaltes Klima wird die Hauptstadt Schwedens verwendet. Aufgrund der Lage auf einen nördlichen Breitengrad ist das Klima Stockholms extrem vielseitig. Der kürzeste Tag dauert nur sechs Stunden, während im Gegensatz dazu der längste Tag achtzehn Stunden dauert. Deswegen ist Stockholm der Kälte im Winter und milden Temperaturen im Sommer ausgesetzt.

Diese Temperaturen werden in der folgenden Tabelle 4.1 und in Abbildung 4.1 dargestellt:

Monat	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
ϑ_{min} (°C)	-17	-11,9	-13,9	-6,9	0,2	5	7,9	8,5	4,8	-1	-12,2	-10,5
ϑ_{max} (°C)	7,5	8,5	8,2	21,8	27,1	27	25,9	25,9	19,3	18,4	10,5	5

Tabelle 4.1: Extreme Temperaturen in Stockholm

4.1.2 Bern

Das Klima in der Schweiz ist auf die Höhenlage, die Ferne vom Meer und die Orographie zurückzuführen. In dieser Arbeit wird die Temperatur in Bern als Beispiel eines mäßigeren Klimas benutzt. Im Hochland ist das Wetter gemäßigt und kontinental, während im Rest des Landes ein Bergklima mit großen Temperaturschwankungen in Anhängigkeit von der Höhe auftritt. Im Winter sinkt die Temperatur normalerweise bis auf minus null Grad ab und es gibt das ganze Jahr viel Regen.

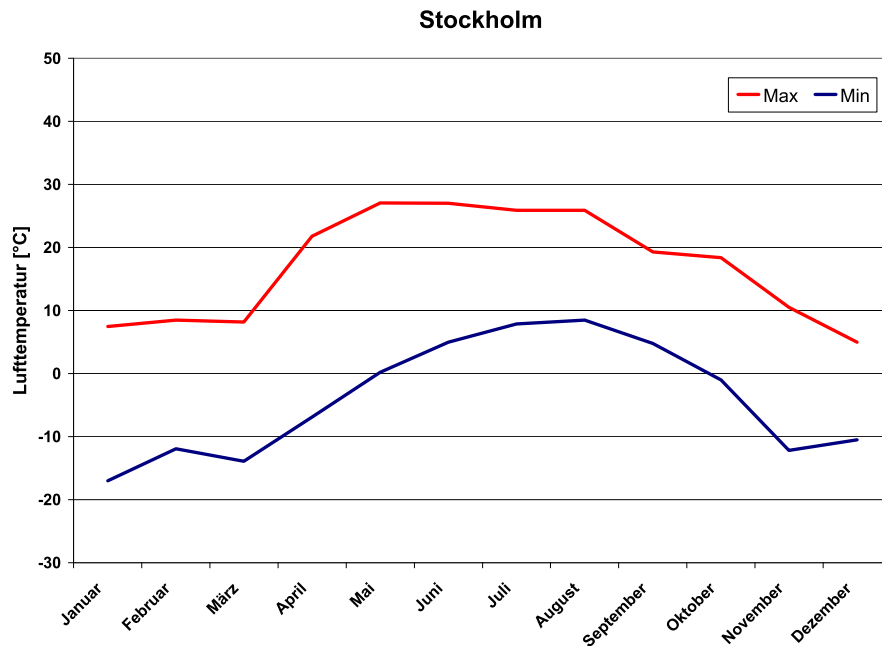


Abbildung 4.1: Stockholm: Verlauf der Temperatur

Sowohl in Abbildung 4.2 als auch in Tabelle 4.2 ist der Temperaturverlauf aufgeführt:

Monat	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
ϑ_{min} (°C)	-17,6	-15,7	-4,9	-6,2	2,3	6,4	10,1	6,7	2,2	1,4	-2,8	-7,6
ϑ_{max} (°C)	8,1	9	9,1	17,8	27,2	24,9	25,9	27,2	23,7	19,8	12,9	9

Tabelle 4.2: Extreme Temperature in Bern

4.1.3 Sevilla

Sevilla ist eine der heißeren Städte in Europa. Ihr Klima ist mediterran mit ozeanischen Einflüssen. Die Winter sind mild und der Januar ist der kälteste Monat des Jahres. Die Sommer sind im Gegensatz dazu sehr warm. Dort können durchaus Temperaturen über 40°C auftreten.

Die folgenden Tabelle 4.3 und Abbildung 4.3 stellen den Temperaturverlauf in Sevilla dar:

4.2 Wetterdaten

Um eine internationale Kooperation für Meteorologie zu erlangen, wurde eine Organisation im Jahr 1873 aufgeführt: Die Weltorganisation für Meteorologie (World

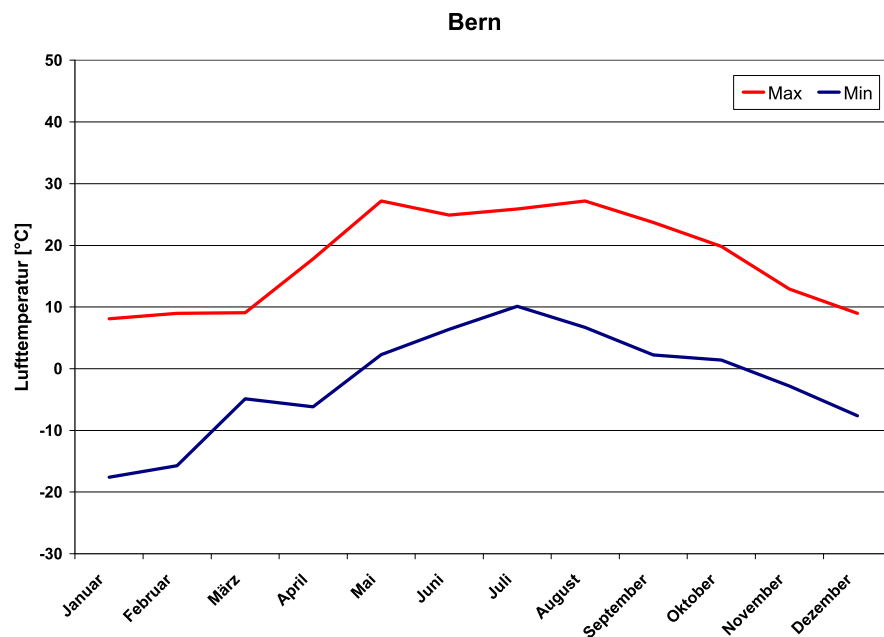


Abbildung 4.2: Bern: Verlauf der Temperatur

Monat	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
$\vartheta_{\min}$ (°C)	-1	3	-2	6	10	12,8	14	15	12	10	2	-1
$\vartheta_{\max}$ (°C)	19,2	24	28	31	36	39	43	40	39	31	26	20,2

Tabelle 4.3: Extreme Temperature in Sevilla

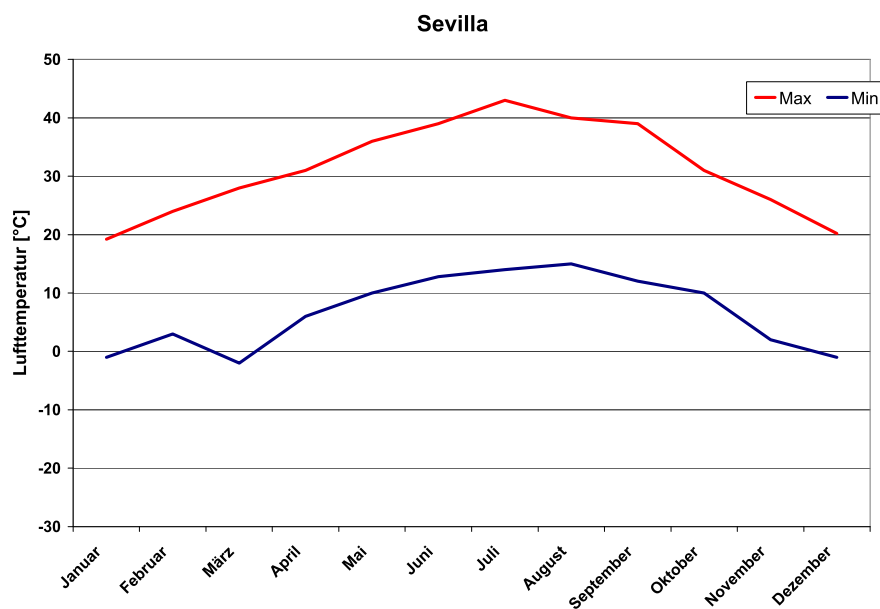


Abbildung 4.3: Sevilla: Verlauf der Temperatur

Meteorological Organization, WMO) ist die Sonderorganisation der Vereinten Nationen für Meteorologie, Hydrologie und damit verbundene Geophysik. Die WMO sieht sich selbst als Stimme der UN bezüglich „des Zustands, und Verhaltens der Erdatmosphäre, ihrer Wechselwirkung mit den Ozeanen, das daraus entstehende Klima und die resultierende Verteilung von Wasserressourcen“ [www.wmo.com 2005].

Die Ziele der Organisation sind u.a. neue Wetterstationen einzurichten und eine Standardisierung von meteorologischen Daten und Statistiken zu erreichen. Auf diese Weise wird eine Bestimmung der Wetterdaten in vielen verschiedenen Städten erleichtert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Wetterdaten für die drei verschiedenen Städte von Wetterstationen (die der WMO gehören) zur Verfügung gestellt. Im Folgenden sind die wichtigsten Daten dargestellt:

- **Stationsname: Sevilla aeropuerto**
 - Stadt: Sevilla
 - WMO: 08391
- **Stationsname: Stockholm Observatoriet**
 - Stadt: Stockholm
 - WMO: 02485
- **Stationsname: Genf**
 - Stadt: Bern
 - WMO: 67000

Die Unterlagen enthalten viele verschiedene Daten bezüglich der meteorologischen Eigenschaften der Städte, jedoch wird in dieser Arbeit nur die Lufttemperatur betrachtet. Eine Tabelle mit den Mittelwerten der wichtigsten Daten von Bern ist im A exemplarisch zu finden. Die Werte stehen stündlich für ein Jahr zur Verfügung. Die Abbildung 4.4 stellt die Mittelwerte der Lufttemperaturen in den drei Städten dar.

4.3 Heiz- und Warmwasserbedarf

4.3.1 Grundlagen

Zur Berechnung des COP ist es notwendig, den Heiz- und Warmwasserbedarf in den in dieser Arbeit betrachteten Städten das gesamte Jahr über zu kennen. Mit diesem Zweck wird dem Programm TRNSYS benutzt. Um die erwartete Daten vom Programm zu kriegen, ist es erforderlich, ein bestimmtes Bedarfs-Szenario festzulegen. Das Referenzgebäude ist ein Einfamilienhaus, dessen Baupläne im Institut für Thermodynamik vorliegen.

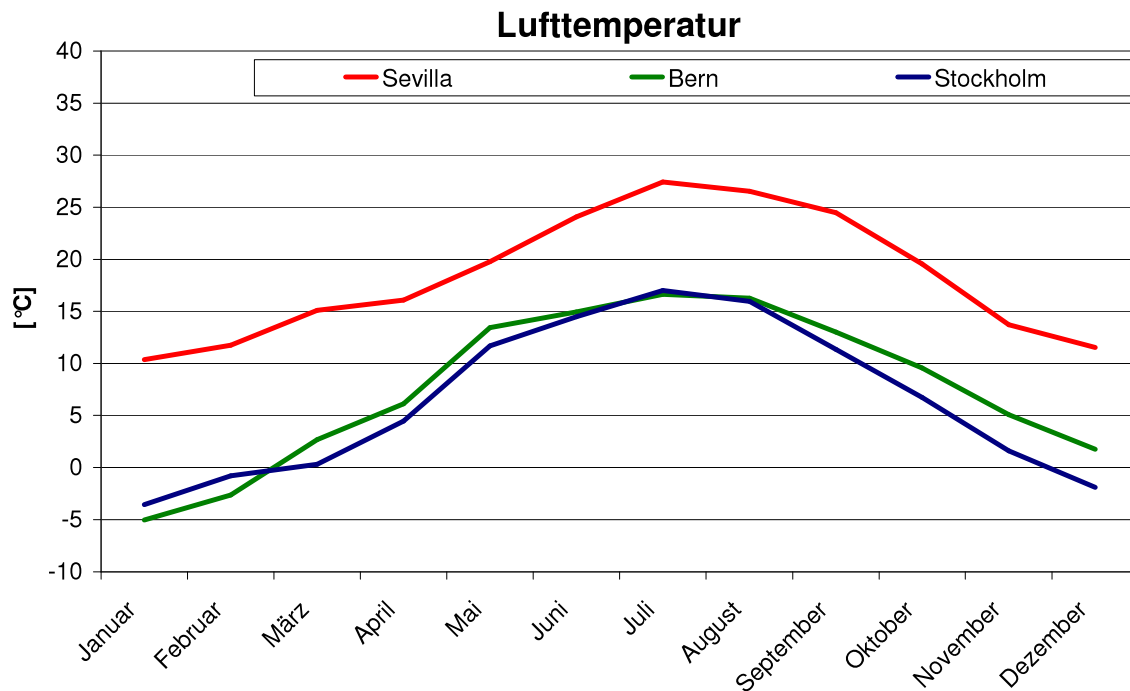


Abbildung 4.4: Verläufe der Temperaturen eines Jahres in den drei Städten

Dieses Referenzgebäude wird in TRNSYS implementiert und die Ergebnisse werden vom bestimmten Gebäude sowie für die verschiedene Dämmstandards zur Verfügung gestellt. Das Programm gibt die Auslegungstemperaturen sowie den flächenbezogenen Bedarfswerte zurück. Beide Werte werden in Kapitel 4.3.2 erklärt und zur Berechnung des Wärmebedarfs benutzt.

TRNSYS

Transient System Simulation Program ist ein Programmpaket zur Berechnung des thermischen Verhaltens eines Gebäudes einschließlich der aktiven und passiven Komponenten zur Energieversorgung und zur Bilanzierung der auftretenden zeitabhängigen Energieströme. TRNSYS wurde ursprünglich für die detaillierte Analyse von Gebäuden mit aktiver Solartechnik entwickelt. Heute sind sowohl passive Solarkomponenten als auch herkömmliche Heiz- und Kühleinrichtungen als Modelle erhältlich.

Der Vorteil von TRNSYS besteht in seiner Flexibilität und der Möglichkeit, ein System sehr detailliert nachzubilden. TRNSYS ist modular aufgebaut. Es enthält eine große Anzahl von Standardkomponenten, den TYPES, die je nach Anforderung zur Nachbildung des realen Systems zusammengebunden werden können. Die offene Struktur des Programms erlaubt es dem Anwender, selbst erstellte TYPES einzubinden und vorhandene Standardkomponenten zu verändern.

Jeder TYPE beschreibt die Funktionsweise einer bestimmten Systemkomponente. Das reale Betriebsverhalten der Komponenten wird in den TYPES mit mathematischen Algorithmen nachgebildet. Zur Lösung des Gleichungssystems, das sich aus den

Beheiztes Luftvolumen	758 m ³
Nutzfläche	164 m ²
Anzahl der Bewohner	4 Personen (2 Erwachsene, 2 Kinder)

Tabelle 4.4: Charakteristika des Referenzgebäudes

Einzelkomponenten und deren logischen Verknüpfungen im Gesamtsystem ergibt, stehen in TRNSYS verschiedene Lösungsalgorithmen zur Verfügung. Die Zeitschrittweite und die Genauigkeit, mit der simuliert wird, sind durch den Anwender wählbar. Prinzipiell können alle Eingangs- und Ausgangsgrößen jeder Komponente ausgegeben werden. Die Ausgabegrößen können zudem über definierte Zeitintervalle integriert werden [www.tt.tu-harburg.de].

Dem Institut für Gebäude- und Solartechnik der TU-Braunschweig steht das Simulationswerkzeug TRNSYS zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wird es benutzt.

Das Referenzgebäude

Im Folgenden wird das Referenzgebäude beschrieben, auf dessen jährlichen Bedarfsprofil an Nutzwärme sämtliche Untersuchungen der vorliegenden Arbeit aufbauen. Zur Bestimmung des jährlichen Nutzwärmebedarfs des Gebäudes werden grundsätzliche Einflussgrößen festgelegt, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind.



Abbildung 4.5: Südwest-Ansicht des Referenzgebäudes

4.3.2 Bedarfswerte

Warmwasser

Da der Gebrauch des Warmwassers nahezu unabhängig von der Temperatur ist, sind die Bedarfswerte für die drei Städte gleich. Es ist auch unerheblich, ob es sich um ein Niedrigstenergie- oder Passivhaus handelt. Das Wasser wird für den menschlichen Verbrauch benutzt und die Werte gründen sich auf statistischen Studien.

Die Daten liegen für ein Jahr stündlich vor. In der Abbildung 4.6 wird die Summe jedes Monats dargestellt.

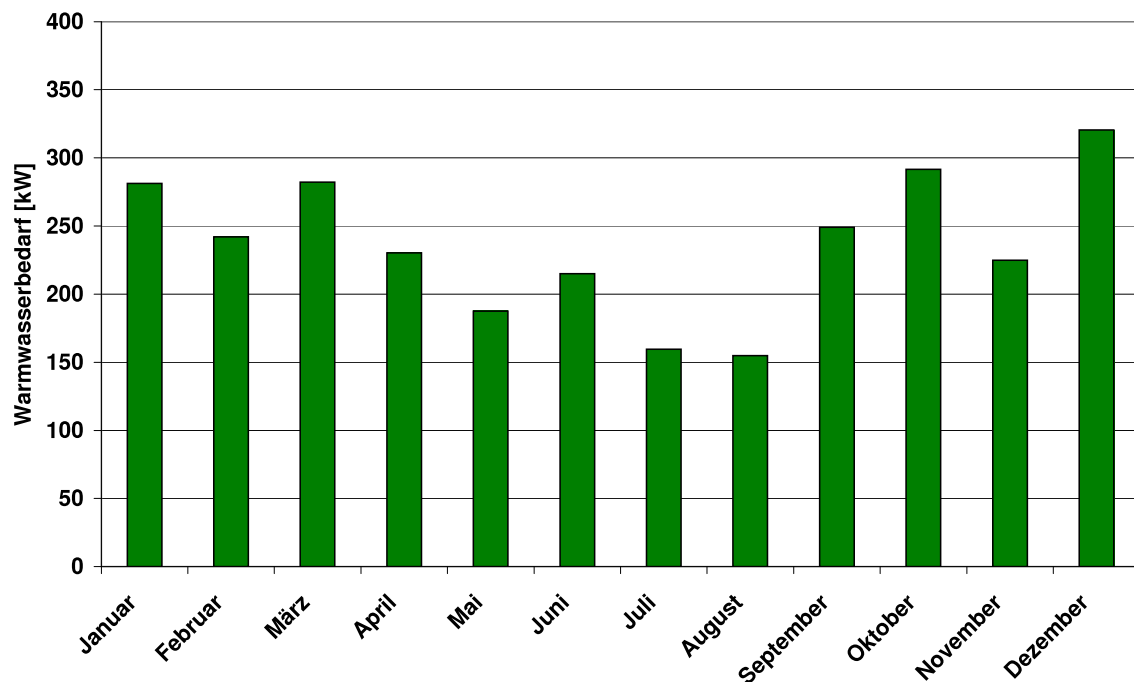


Abbildung 4.6: Bedarfswerte Warmwasser

Heizwasser

In diesem Fall sind die Bedarfswerte vom Klima abhängig. Deshalb werden die Gebrauchswerte in jeder Stadt unterschiedlich ausfallen. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, ob es entweder ein Niedrigstenergie- oder ein Passivhaus ist, weil die Heizung je nach Dämmstandard häufiger oder seltener betrieben werden muss.

TRNSYS liefert eine Vielzahl von Daten. Für die Betrachtung der Bedarfswerte sind allerdings nur wenige relevant. Die niedrigste Temperatur, die im Laufe des Jahres am Standort erreicht wird, ist die äußere Auslegungstemperatur ($\vartheta_{\text{Außen}}$), bei der die Anlage 100% Heizleistung bereitstellen muss. Ist die Umgebungstemperatur höher als diese Auslegungstemperatur, so ist nur anteilig Wärme zu gewährleisten. Die obere Grenze des Heizbedarfs kennzeichnet die innere Auslegungstemperatur (ϑ_{Innen}). Je nach Dämmstandard hat ϑ_{Innen} einen bestimmten Wert. In Tabelle 4.5 kann man die

$\vartheta_{Innen} =$	9°C	Niedrigstenergiehaus
	7°C	Passivhaus
$\vartheta_{Außen} =$	-7°C	Bern
	-2°C	Sevilla
	-17°C	Stockholm
Niedrigstenergiehaus	30	kWh/(m ² a)
flächenbezogener Bedarfswert	20	W/m ²
	1500	h/a
Passivhaus	15	kWh/(m ² a)
flächenbezogener Bedarfswert	12	W/m ²
	1250	h/a

Tabelle 4.5: TRNSYS Ergebnisse

verschiedenen Werte erkennen, die die Variablen ϑ_{Innen} je nach Dämmstandard und $\vartheta_{Außen}$ je nach Stadt erhalten.

Die in Tabelle 4.5 dargestellten flächenbezogenen Werte werden ebenfalls vom Programm TRNSYS ausgegeben und bedeuten den maximal Bedarf pro Quadratmeter für jeden Gebäudetyp. Sie sind von der Lufttemperatur unabhängig, d.h. sind die gleiche Werte für die drei betrachtete Städte.

Mit den vorherigen erläuterten Werten kann man den Anteil des Heizwärmebedarfs durch das Auswerten der Lufttemperatur berechnen (Gleichung 4.1).

$$\text{Anteil Heizwärmebedarf} = \frac{\vartheta_{Innen} - \vartheta_{Luft}}{\vartheta_{Innen} - \vartheta_{Außen}} \quad (4.1)$$

Da die Lufttemperaturen stündlich zur Verfügung stehen, erhält man mit der Gleichung 4.1 den Anteil Heizwärmebedarf ebenso stündlich.

Mit den Bedarfswerten für Niedrigstenergie- und Passivhäuser im Vollastbetrieb gewichtet mit dem Anteil des Heizwärmebedarfs bezogen auf die jeweilige Austrittstemperatur ist es möglich, die Jahres-Heizarbeit zu errechnen. Diese erhält man durch das Produkt aus prozentualem Heizbedarf und flächenbezogenen Bedarfswert. Die Gleichung 4.2 zeigt, wie der Wärmebedarf berechnet wird:

$$\text{Heizwärmebedarf} = \text{Anteil Heizwärmebedarf} \cdot \text{flächenbezogener Bedarfswert} \quad (4.2)$$

Mit der vorher erläuterten Gleichung erhält man stündlich die Bedarfswerte pro Quadratmeter sowohl eines Passivhauses als auch eines Niedrigstenergiehauses.

In den folgenden Abbildungen 4.7, 4.8 und 4.9 werden die verschiedenen Bedarfswerte für Heizung in jeder Stadt dargestellt. In den Diagrammen sind zwei verschiedene Balken, eine für das Niedrigstenergiehaus und die andere für das Passivhaus.

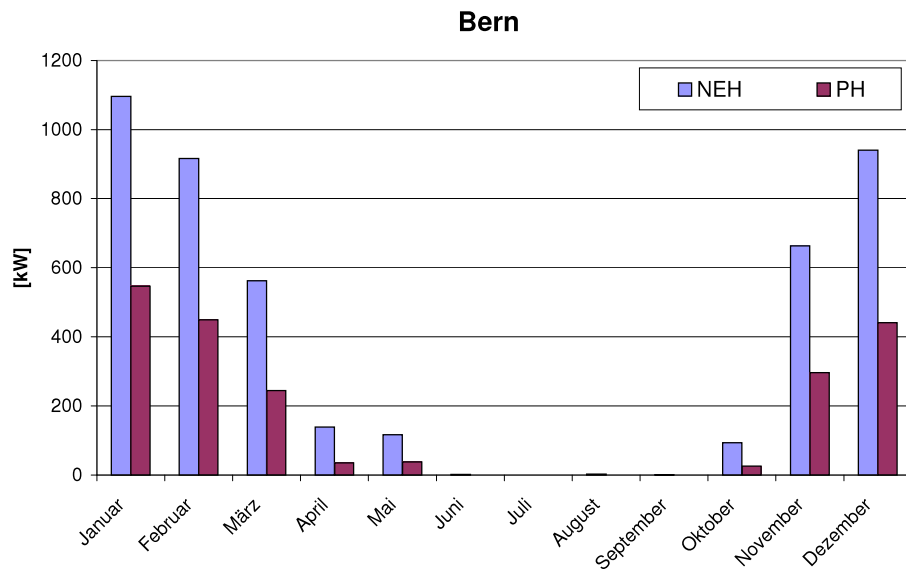


Abbildung 4.7: Heizwärmebedarf in Bern

Jahresenergiebedarf

Die Summe der Heizwärmebedarf bezüglich jeder Stadt und Dämmstandard und den Warmwasserbedarf wird in jedem Fall den Jahresenergiebedarf liefern. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenfassung mit allen erhaltenen Jahresenergiebedarfswerten (Tabelle 4.6).

Stockholm		Bern		Sevilla	
PH [kW]	NEH [kW]	PH [kW]	NEH [kW]	PH [kW]	NEH [kW]
5530.27	8222.18	4915.07	7368.14	3071.70	3578.21

Tabelle 4.6: Jahresenergiebedarf je nach Stadt und Dämmstandard

Das Ziel dieser Arbeit ist, den COP jeder Anlage zu bewerten und zu vergleichen. Die Bedarfswerte für die Heizwärme unterscheiden sich in den drei betrachteten Standorten aufgrund der Wetterdaten. Die Lufttemperatur hat Einfluss auf die Luft-Wasser-Wärmepumpe, weil der COP der Anlage abhängig von der Eingangstemperatur im Verdampfer ist.

In der folgenden Abbildung 4.10 werden die verschiedenen Gesamtenergiebedarfs-werte eines Passivhauses für die drei Standorte dargestellt.

Man sieht, dass der Bedarf in Sevilla viel geringer als in den anderen beiden Städten ist. In Stockholm und Bern ist er in den kälteren Monaten fast gleich. Im April oder Oktober ist er viel höher in Stockholm, weil dort die Temperatur viel niedriger ist. Bei Niedrigstenergiehäusern ergibt sich ein ähnlicher Verlauf, wie in der folgenden Abbildung 4.11 gezeigt wird.

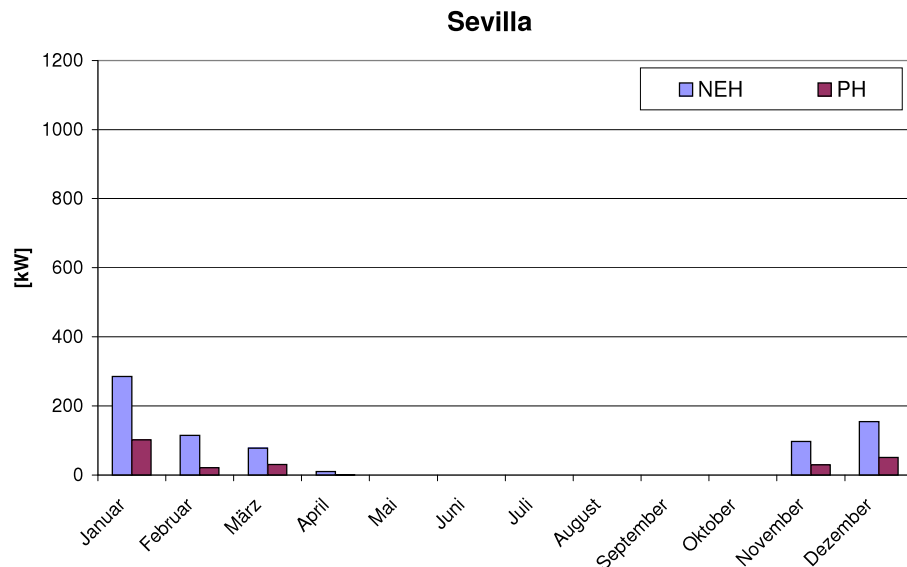


Abbildung 4.8: Heizwärmebedarf in Sevilla

In den Sommermonaten ist der Bedarf für die drei Städte beinahe gleich, da der Heizwärmebedarf gering ist und der Warmwasserbedarf unabhängig von der Lufttemperatur ist.

4.3.3 Kühlung

In diesem Kapitel wird den Kühlbedarf im Laufe des Jahres in Sevilla vorgestellt. Die Werte werden durch das Programm TRNSYS stündlich zur Verfügung gestellt.

Kühlbedarf

Kosowski hat eine Konzeptstudie zur Klimatisierung durchgeführt [Kosowski et al. 2006]. In dieser Arbeit wird der Kühlbedarf eines Einfamilienhauses mit den gleichen Eigenschaften wie in unserem Bedarfszenario in Braunschweig berechnet. Unter Betrachtung verschiedener interner Wärmegewinne bezüglich eines Einfamilienhauses in TRNSYS erhält man u.a. die Temperatur im Innenraum. Wie in der Abbildung 4.12 gezeigt, ist die Raumtemperatur im Laufe des Jahres immer kleiner als 26°C. Aus diesem Grund ist die Kühlung in Braunschweig nicht erforderlich. Im Vergleich zu Braunschweig sind die Temperaturen sowohl in Bern als auch in Stockholm niedriger (siehe Abbildung 4.13). Auf diese Weise wird im Rahmen dieser Arbeit die Kühlung des Hauses in beiden Städte nicht betrachtet. Die Außentemperatur und somit Raumtemperatur in Sevilla sind jedoch viel höher. Deswegen wird die Studie am Beispiel dieser Stadt durchgeführt.

Um den Kühlbedarf in Sevilla zu berechnen wird wiederum das Programmpaket TRNSYS genutzt. Erst wird die Temperatur im Innenraum unter Betrachtung der verschiedenen internen Wärmegewinne berechnet. An dieser Stelle ermöglicht das Programm mit der Angabe der Soll-Raumtemperatur die Berechnung des Kühlbedarfs. Dieser Wert steht in der spanischen Vorschrift RITE (Reglamento para instalaciones

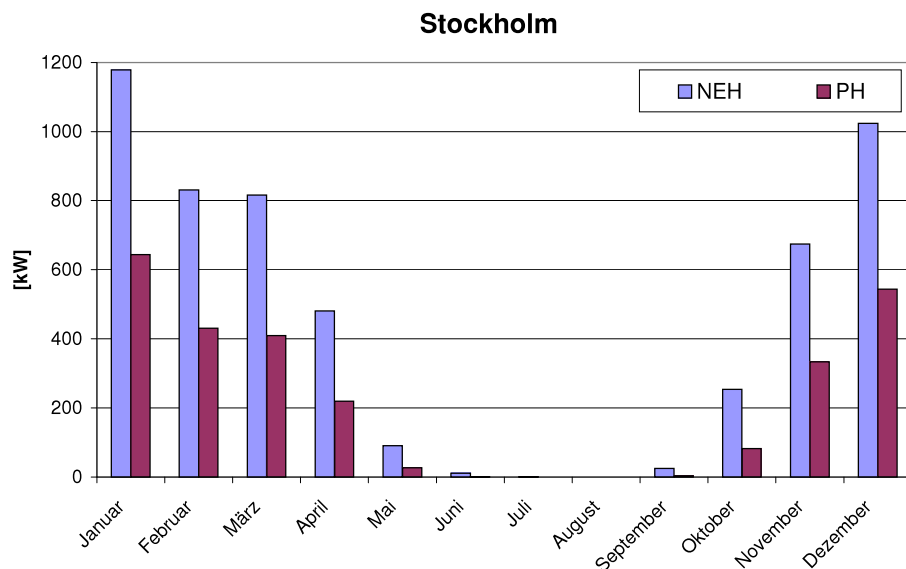


Abbildung 4.9: Heizwärmebedarf in Stockholm

térmicas en edificios [Aso 1998]) zur Verfügung und beträgt zwischen 22°C-26°C. Die Abbildungen 4.14 und 4.15 stellen die Innentemperatur sowie den Kühlbedarf in Sevilla im Laufe des Jahres bei einer Solltemperatur im Raum von 26°C dar.

Die Abbildung 4.16 zeigt den monatlichen Kühlbedarf im Fall eines Passivhauses sowie eines Niedrigstenergiehauses. Im Fall der Kühlung des Raumes sind die Bedarfswerte etwas anders. Bisher war den Bedarf wegen der hohen Isolierung in Passivhäusern kleiner als in Niedrigstenergiehäusern. In diesem Fall wird die Wärmeübertragung wegen der Wärmeträgheit der Wände behindert. Aus diesem Grund sind die Bedarfswerte beim Passivhaus größer als beim Niedrigstenergiehaus.

Unter Betrachtung der Kühlung in Sevilla werden die Jahresenergiebedarfswerte geändert. Wie in Tabelle 4.7 dargestellt sind in diesem Fall die Werte beim Passivhaus viel größer als in den andere Städte. Im Fall des Niedrigstenergiehauses hat Sevilla noch den geringsten Bedarfswert. Vom Standpunkt des Stromverbrauchs wäre an dieser Stelle in Sevilla der Bau eines Niedrigstenergiehauses zu empfehlen.

Stockholm		Bern		Sevilla	
PH [kW]	NEH [kW]	PH [kW]	NEH [kW]	PH [kW]	NEH [kW]
5530.27	8222.18	4915.07	7368.14	10524.25	7299.05

Tabelle 4.7: Jahresenergiebedarf je nach Stadt und Dämmstandard inklusive der Energiebedarfs für die Kühlung in Sevilla

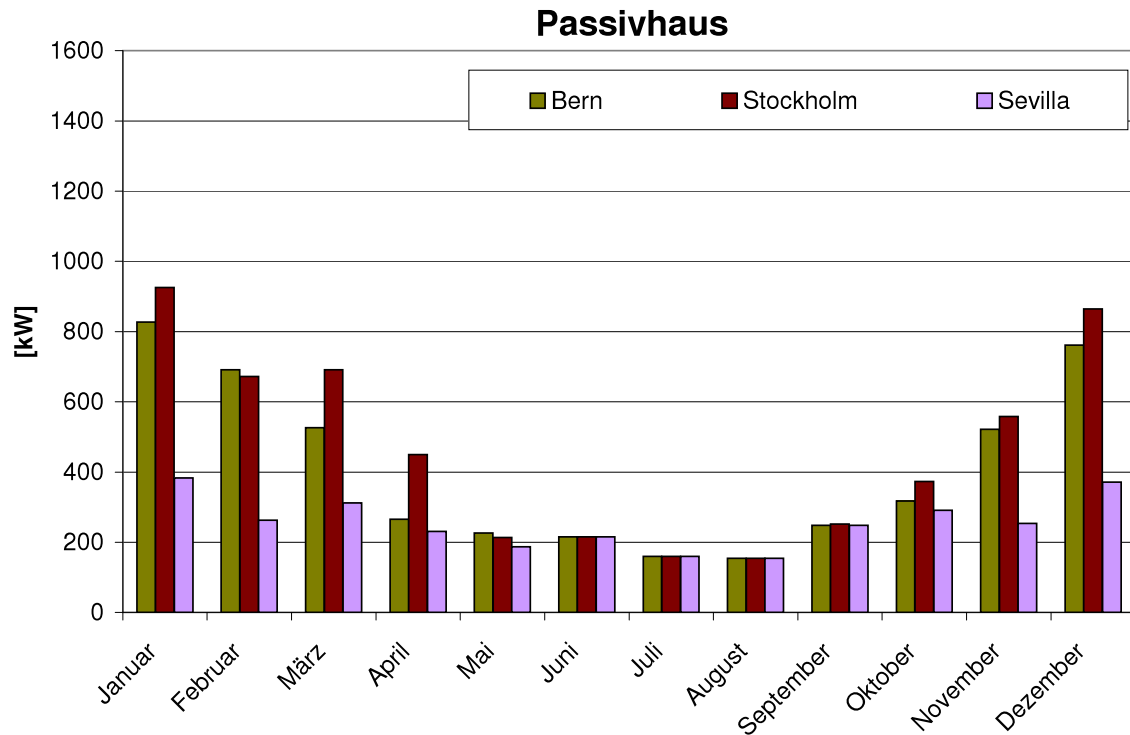


Abbildung 4.10: Verschiedene Heizwärmebedarf im Passivhaus

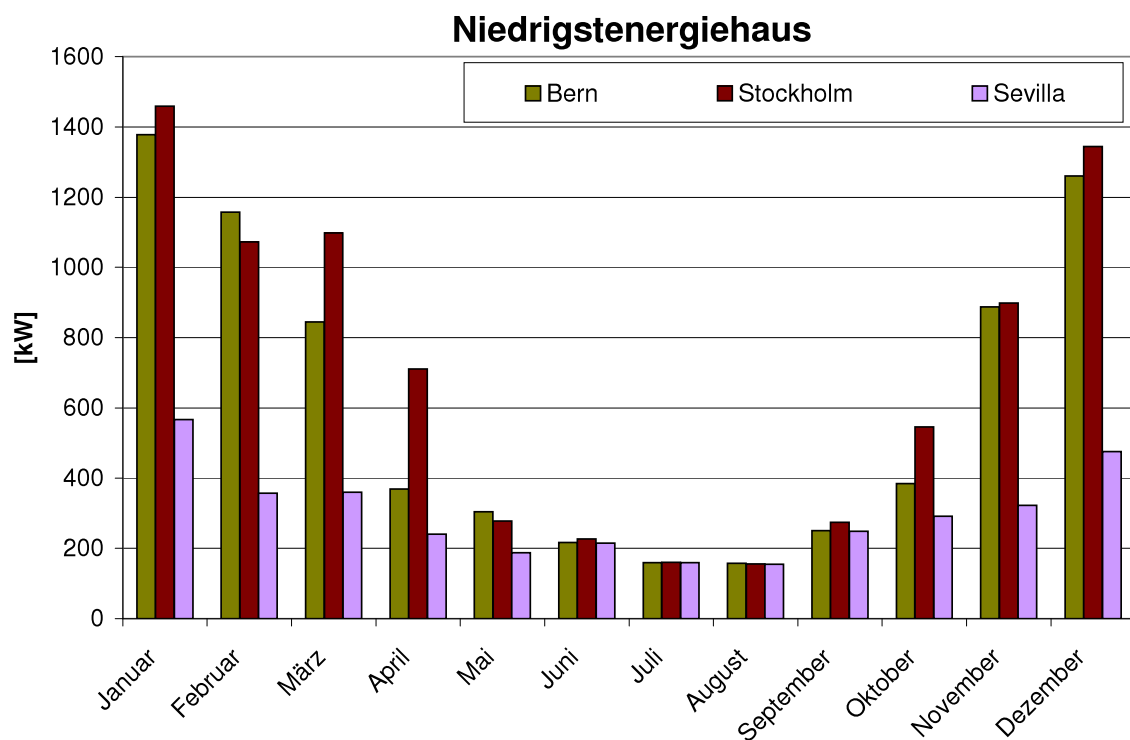


Abbildung 4.11: Verschiedene Heizwärmebedarf im Niedrigstenergiehaus

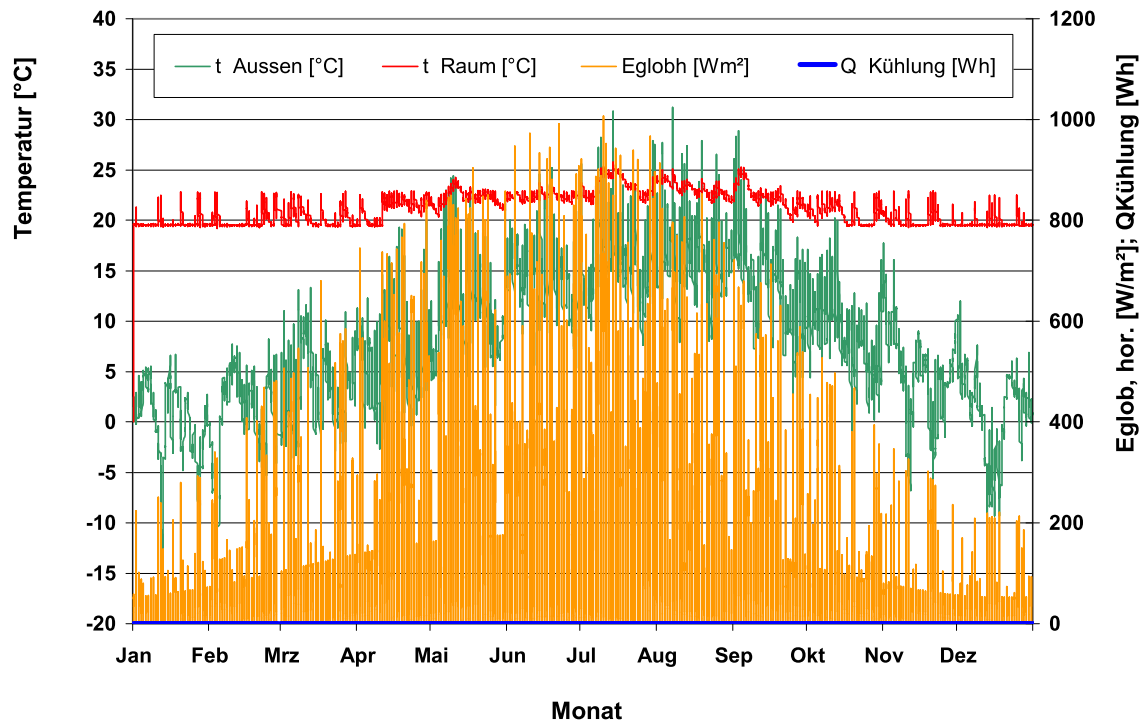


Abbildung 4.12: Verlauf von Außen- und Raumtemperatur sowie Globalstrahlung und Kühlenergie bei einem Passivhaus in Braunschweig

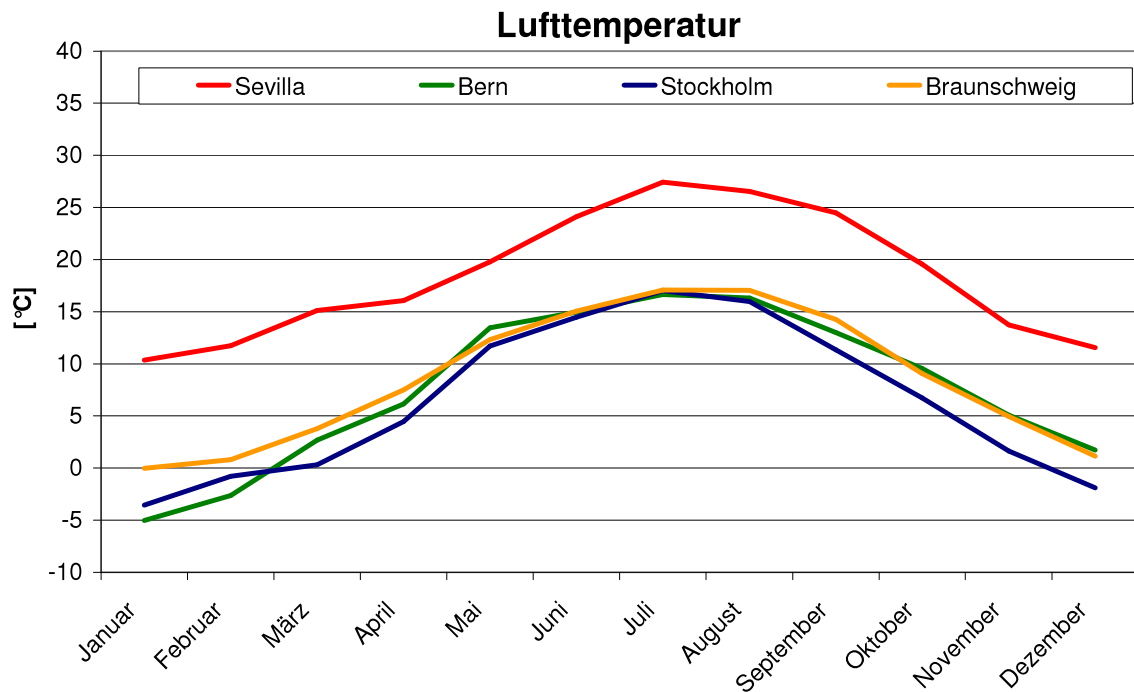


Abbildung 4.13: Vergleich der Lufttemperatur in Braunschweig zu der Temperatur in Stockholm, Bern und Sevilla

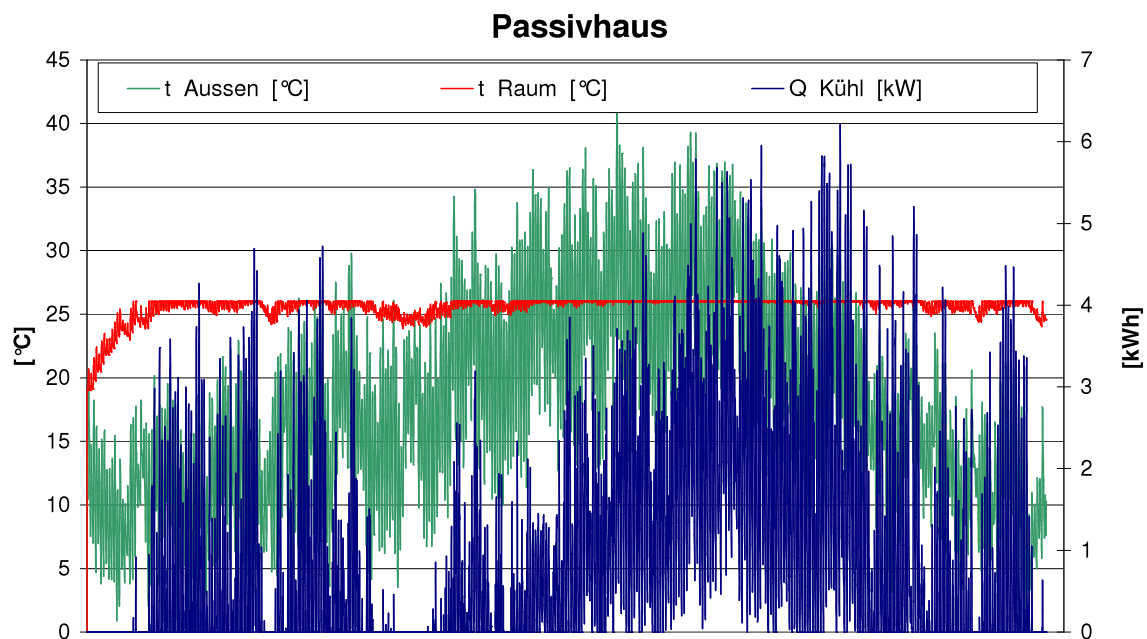


Abbildung 4.14: Verlauf von Außen- und Raumtemperatur sowie Kühlenergie bei einem Passivhaus

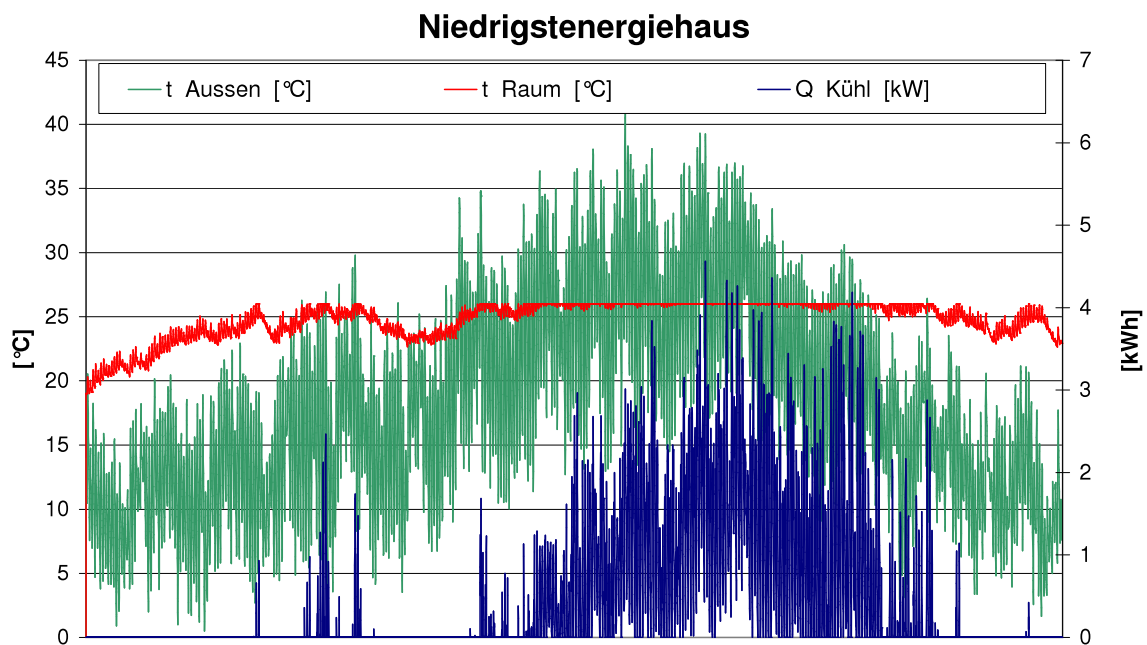


Abbildung 4.15: Verlauf von Außen- und Raumtemperatur sowie Kühlenergie bei einem Niedrigstenergiehaus

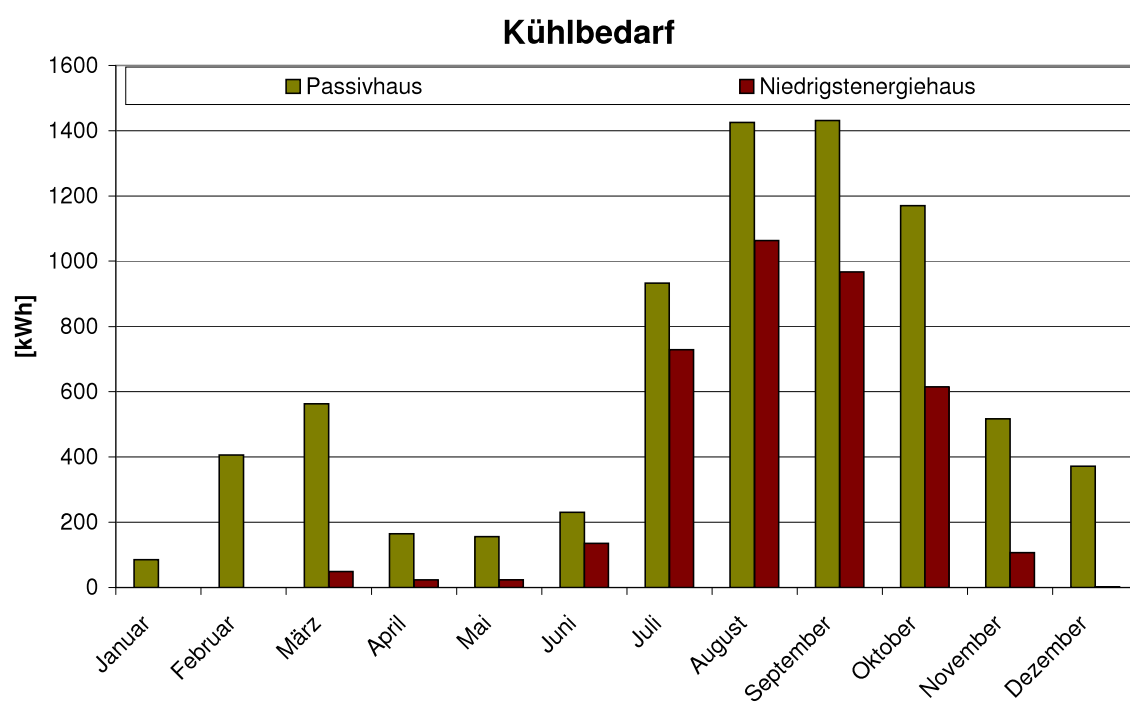


Abbildung 4.16: Kühlbedarf sowohl beim Passivhaus als auch im Niedrigstenergiehaus