

Kurzfassung

Masterthesis

zur Erlangung des akademischen Grades
eines
Master of Engineering

HAWK Hildesheim
Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst
Fakultät Bauen und Erhalten

Fachrichtung: Bauingenieurwesen
Schwerpunkt: Energie und Umwelt

B.Eng. Florian Wedemeyer
Mat.-Nr.: 568335
Ort: Hildesheim

Thema
Bestimmung und Festlegung von signifikanten
Klimazonen für die thermisch energetische
Gebäudesimulation

SS 2016

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer
2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. John Grunewald

Aufgabenstellung



Aufgabe für die Master-Thesis

Name, Vorname: **Wedemeyer, Florian B.Eng.**
Matr.-Nr.: **568335**
Bearbeitungszeit: **04.04.2016 bis 20.07.2016 - 12.00 Uhr**
Erstprüfer: **Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer**
Zweitprüfer: **Prof. Dr.-Ing. John Grunewald, TU Dresden**

Thema: Bestimmung und Festlegung von signifikanten Klimazonen für die thermisch energetische Gebäudesimulation

Allgemeines:

Immer häufiger werden Gebäude erstellt, die besondere Anforderungen in Hinblick auf die energetische Optimierung erfüllen müssen. Hierbei soll zum einen ein Höchstmaß an Gebäude- und Bauteilsicherheit, zum anderen die Gebrauchstauglichkeit und die Wirtschaftlichkeit des Objektes betrachtet werden. Eine energetische Vergleichbarkeit von Gebäuden in unterschiedlichen Klimazonen fehlt hierbei.

Die thermische Bauphysik beschäftigt sich mit Energie- und Stoffströmen, die auf ein Gebäude einwirken. Diese thermischen und hygrischen Vorgänge verhalten sich zeitabhängig und können daher nur bedingt durch Handrechnungen nachvollzogen werden. Reichen die Aussagekraft und/oder Genauigkeit einer stationären Berechnung nicht aus, so müssen die Vorgänge instationär modelliert werden. Die mathematische Modellierung derartiger Vorgänge erfolgt anhand von Differentialgleichungen. Die Lösung der Differentialgleichungen ist hierbei immer mit Idealisierung der Anfang- und Randbedingungen verbunden.

Eine nicht unbedeutende Idealisierung erfolgt im Zuge der Verwendung von sogenannten Wetterdaten. Wetterdaten enthalten hierzu ausgewählte meteorologische Parameter (z. B. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Strahlungsdaten, ...) für jede Stunde eines Jahres. Die enthaltenen Daten basieren auf definierten Langzeitperioden die mit Hilfe von stochastischen Modellen ausgewertet werden. Stündliche Wetterdaten liegen für eine Vielzahl von Ländern vor. Hierbei unterscheiden sich jedoch die mathematischen Grundlagen und Modelle zur Analyse der Klimaparameter und deren Zeitperioden. Die verfügbaren Wetterdaten in Europa werden auf unterschiedlichen Grundlagen ermittelt und von unterschiedlichen Institutionen veröffentlicht.

Ziel dieser Arbeit ist die Definition von Klimaregionen und deren Referenzstationen nach dem Vorbild vorhandener Untersuchungen (wie bspw. die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes) über die Ländergrenzen hinaus.

Hildesheim, den 17.03.2016

Unterschrift des Erstprüfers

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
2	Einfluss der Klimaparameter auf den Energiebedarf von Gebäuden	3
	Fazit – Klimaparameter.....	3
3	Gebäudemodelle	4
3.1	Bürogebäude	4
3.2	Mehrfamilienhaus	6
4	Gebäudesimulation	9
4.1	Analyse – Einfluss des Nutzers.....	11
4.1.1	Eingabe – Therakles	11
4.1.2	Simulationsergebnisse - Einfluss des Nutzers	11
5	Zusammenfassung der TRY-Regionen infolge Nutzereinfluss	13
6	Analyse der Klimaregionen	15
7	Klimaklassifizierung	15
7.1	Klimazonenbildung – Deutschland	16
8	Fazit	18

1 Einleitung

Die Arbeit stellt den Abschluss eines wissenschaftlich technischen Studiums zur Erlangung des akademischen Grades Master of Engineering dar. Im Laufe des Masterstudiums mit der Schwerpunkttrichtung Energie und Umwelt, stellte sich immer wieder die Frage, wie sich Gebäude in unterschiedlichen Klimaregionen energetisch vergleichen und bewerten lassen. Im Zuge dieser Arbeit soll das Thema der Klimaklassifizierung im Zusammenhang mit der energetischen Vergleichbarkeit von Gebäuden in unterschiedlichen Klimaregionen aufgegriffen und analysiert werden.

In erster Linie geht es darum die energetische Auswirkung durch das Klima allein auf ein Gebäude zu analysieren, da Gebäude effizient und wirtschaftlich gebaut werden sollen. Das bedeutet, dass allein schon die Wahl der Baustoffe, Baustoffeigenschaften und sogar der Fensterflächenanteil eines Gebäudes an die klimatischen Verhältnisse angepasst werden müssen. Ein schlechtes Beispiel wäre, ein Gebäude in einer Klimaregion mit mehreren Zentimeter Wärmedämmung zu versehen, wenn die Klimaregion dies nicht erfordert.

Um den Einfluss der klimatischen Verhältnisse analysieren zu können, werden zunächst die Klimaparameter: Globalstrahlung, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Luftdruck und Gesamtbewölkungsgrad anhand der *DIN 18599* (Energetische Bewertung von Gebäuden) auf den energetischen Einfluss auf Gebäude untersucht. Mithilfe dieser Auswertung kann ein Hauptaugenmerk auf die einflussreichen Klimaparameter gelegt werden.

Ein weiterer bedeutender Einfluss der Untersucht werden muss ist der Nutzereinfluss, da durch unterschiedliche Gebäudenutzung der benötigte Heiz- und Kühlenergiebedarf eines Gebäudes sinkt oder steigt. Dafür werden zwei markante Gebäudetypen entworfen um zunächst feststellen zu können ob der Einfluss des Nutzers in Abhängigkeit vom Gebäudetyp je nach Gebäudenutzung signifikante Unterscheidungen hervorbringt.

Im nächsten Schritt findet eine Gegenüberstellung des Nutzereinflusses mit dem Klima der deutschen Testreferenzjahre statt, weil ermittelt werden soll in wie weit sich Klimaregionen voneinander unterscheiden müssen um eine größere Auswirkung auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden zu haben als der Einfluss durch den Nutzer.

Für momentane Gebäudesimulationen in Deutschland wurden vom DWD (Deutschen Wetterdienst) 15 Testreferenzregionen erstellt, mit dem Testreferenzjahr 4 (Potsdam) als Referenzklima für Deutschland. Die Einteilung beruht auf der Analyse von Klimaparametern und beinhaltet nicht das Nutzerverhalten in Gebäuden. Darüber hinaus fehlt ein energetischer Vergleich zu anderen Klimaregionen auf der Welt.

Durch die Integrierung des Nutzereinflusses bei der Erzeugung von Klimaregionen wird untersucht, ob eine Einteilung Deutschlands in 15 TRY-Regionen sinnvoll ist oder eine Zusammenführung verschiedener Testreferenzregionen möglich ist. Anhand dieser Auswertung werden Zusammenhänge der vorher analysierten Klimaparameter gesucht um eine

Skalierung und damit einhergehende neue Klimaklassifizierung festlegen zu können. Im Anschluss daran soll durch die Klassifizierung Deutschland in neue Klimaregionen eingeteilt werden um Aufschluss darüber zu geben in welchen Teilen Deutschlands ein Gebäude gleicher Bauart ca. gleich viel Heiz- und Kühlenergie unter Ausschluss des Nutzers benötigen würde, wie an einem anderen Standort. Zuletzt soll eine Überprüfung der Klassifizierung stattfinden, in dem ein europäisches Land punktuell anhand der Klimaklassifizierung analysiert wird und anschließend der Heiz- und Kühlenergiebedarf mit dem der Deutschen verglichen wird. Zudem werden weitere Klassifizierungen für einige europäische Städte durchgeführt.

2 Einfluss der Klimaparameter auf den Energiebedarf von Gebäuden

Klimaparameter spiegeln die wichtigsten Größen eines Klimasystems wieder. Um Gebäude in unterschiedlichen Klimazonen energetisch miteinander vergleichen zu können, müssen zunächst die einzelnen Klimaparameter auf ihren energetischen Einfluss auf Gebäude untersucht werden. Zu den Klimaparametern zählen:

- Globalstrahlung
- Temperatur
- Windgeschwindigkeit
- Luftfeuchte
- Luftdruck
- Gesamtbewölkung

Anhand der Bilanzgleichungen nach DIN 18599 für die Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden bzw. Gebäudezonen, wird analysiert wie groß der Einfluss jedes einzelnen Klimaparameters ist und ob er überhaupt eine signifikante Auswirkung auf den Energiebedarf von Gebäuden hat. Des Weiteren wird für den Einfluss der Windgeschwindigkeit die DIN EN ISO 6946 (Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand – Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren) verwendet.

Die Analyse der Klimaparameter steht in der Langfassung der Masterthesis.

Fazit – Klimaparameter

Durch die Analyse der Klimaparameter unter Punkt 2.1 (siehe Langfassung) wird ersichtlich, dass für die Erzeugung von Klimazonen die Parameter Globalstrahlung, Temperatur und Luftfeuchte eine signifikante Rolle spielen, während die Parameter Windgeschwindigkeit, Luftdruck und Gesamtbewölkungsgrad keinen direkten Einfluss auf die Energiebilanz von Gebäuden nach *DIN 18599* haben. Somit wird in weiterem Vorgehen das Hauptaugenmerk auf die drei genannten Klimaparameter:

- Globalstrahlung
- Temperatur
- Luftfeuchte,

gelegt.

3 Gebäudemodelle

Die Gebäudemodelle dienen der energetischen Vergleichbarkeit von Gebäuden in unterschiedlichen Klimaregionen. Um eine Skalierung der unter Punkt 2. (Einfluss der Klimaparameter auf den Energiebedarf von Gebäuden) beschriebenen Klimaparameter festlegen zu können bedarf es einer energetischen Analyse von zwei markanten Gebäudetypen. Zu den untersuchten Gebäudetypen zählt ein Bürogebäude und ein Mehrfamilienhaus. Nachfolgend wird für die damit einhergehende Gebäudesimulation ein Bürogebäude sowie ein Mehrfamilienhaus entworfen. Dabei wurden die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Bauteile anhand der Energieeinsparverordnung 2016 (ENEV 2016) gewählt. Die Bauteile und Baustoffeigenschaften der beiden Gebäudetypen sind der Langfassung zu entnehmen.

3.1 Bürogebäude



Abbildung 1 - 3D-Modell Bürogebäude

Das Bürogebäude bestehend aus Erdgeschoss und drei Obergeschossen hat eine Länge von 50,35 m, eine Breite von 15,35 m und eine Höhe von 13,90 m. Im Erdgeschoss befindet sich ein großzügiger Eingangsbereich mit Aufenthaltszone und angrenzendem Treppenhaus. Von dort aus ist ein Besprechungsbereich bestehend aus 3 Konferenzräumen sowie in den Mitarbeiterbereich, der aus einem großen Hörsaal, Sanitärbereich, Teeküche, Archiv und mehreren Büroräumen besteht zu erreichen. Über das zentrale Treppenhaus und einen eingebauten Aufzug können die drei oberen Geschosse erreicht werden. In den drei Obergeschossen befinden sich jeweils drei weitere Konferenzräume, Sanitärbereich und Büroräume inklusive Teeküche.

Um ein behagliches Raumklima in der Heiz-, sowie Kühlperiode zu erzielen ist das Bürogebäude mit folgender Technischer Gebäudeausstattung ausgerüstet. Für die Sommerperiode

wird eine Klimaanlage zur Kühlung verwendet und in der Winterperiode dienen einfache Strahlungsheizkörper mit Thermostat für eine behagliche Raumtemperatur. Des Weiteren ist an allen Fenster ein außenliegender Sonnenschutz, der intensitätsgesteuert ist, angebracht. Intensitätsgesteuert bedeutet hierbei, dass bei einem festgelegten Strahlungsaufkommen in W/m^2 der außenliegende Sonnenschutz automatisch heruntergelassen wird.

Für die weitere Bearbeitung und die damit einhergehende Gebäudesimulation werden weitere Gebäudekenndaten benötigt. Dazu zählen die lichten Innenmaße, die Fassadenflächen jeder Himmelsrichtung, die Fensterflächenanteile in der jeweiligen Fassadenfläche und die Nettoflächen der inneren Bauteile die als zusätzliche thermische Speichermasse dienen. Wofür die zusätzlichen thermischen Speichermassen benötigt werden, wird unter Punkt 4 (Gebäudesimulation) erläutert. Folgende Gebäudekenndaten weist das Bürogebäude auf:

Tabelle 1 - Gebäudekenndaten (Bürogebäude)

	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	NGF [m ²]
Lichte Innenmaße	49,52	14,52	13,45	719,03
	Nord [m²]	Ost [m²]	Süd [m²]	West [m²]
Fassadenfläche	699,87	213,37	699,87	213,37
Fensterfläche	192,50	70,00	192,50	73,75
Nettoflächen	Fläche [m²]		d_{wirk} [m]	
Innenwände	Leichtbau	1.843,28	0,05	
	Stahlbeton	438,65	0,20	
	Gipsputz	877,30	0,01	
Fußböden	Zementestrich	2.748,23	0,05	
Decken	Gipskarton	2.748,23	0,0125	

Ermittlung der zusätzlichen thermischen Speichermasse [Kg]

$$\text{Zusätzliche thermische Speichermasse} = \sum A_i * d_{\text{wirk},i} * \rho_i$$

Dabei ist

A_i Nettofläche der jeweiligen Bauteilschicht

$d_{\text{wirk},i}$ rechnerisch wirksame Dicke der jeweiligen Bauteilschicht nach
DIN EN ISO 13786

ρ_i Rohdichte der jeweiligen Bauteilschicht

Tabelle 2 - Zusätzliche thermische Speichermasse (Bürogebäude)

Bauteilschicht	A [m ²]	d _{wirk} [m]	ρ [Kg/m ³]	Masse [Kg]
----------------	---------------------	-----------------------	------------------------	------------

Leichtbauwände	1.843,28	0,05	850	78.339,40
Stahlbetonwände	438,65	0,20	2.500	219.325,0
Gipsputz	877,30	0,01	1.100	9.650,30
Zementestrich	2.748,23	0,05	2.000	274.823,00
Gipskartondecke	2.748,23	0,0125	850	29.199,94
Möbel*	2.748,23	0,016	1.000	43.971,68
Gesamt				655.309,32

* Annahme für Speichermasse der Möbel: Spanplatte über Geschossflächen; $d_{\text{Wirk}} = 0,016\text{m}$

3.2 Mehrfamilienhaus



Abbildung 2 - 3D-Modell Mehrfamilienhaus

Das Mehrfamilienhaus bestehend aus Erdgeschoss und zwei Obergeschossen hat eine Länge von 29,505 m, eine Breite von 12,13 m und eine Höhe von 10,49 m. Über das zentrale Treppenhaus sowie einen Aufzug können die einzelnen Wohneinheiten erreicht werden. Jedes Geschoss verfügt über drei verschiedenen Wohneinheiten dabei sind die Geschosse alle deckungsgleich. Der erste Wohnungstyp besitzt einen großzügigen Wohn- und Essbereich, Tageslichtbad, Speisekammer, Schlafzimmer und ein zusätzliches Zimmer. Die zweite Wohneinheit die in der Mitte liegt, besitzt ebenfalls einen großzügigen Wohn-, Essbereich, ein Bad, eine Speisekammer und ein Schlafzimmer. Die dritte Wohneinheit besticht durch das große Wohnzimmer, eine Küche, ein Tageslichtbad, Speisekammer, sowie ein Schlaf-, und Kinderzimmer.

Um ein behagliches Raumklima in der Heizperiode zu erzielen ist das Mehrfamilienhaus mit einfachen Strahlungsheizkörpern mit Thermostat ausgestattet. Wie bereits beim Bürogebäude ist auch beim Mehrfamilienhaus an allen Fenster ein außenliegender intensitätsgesteuerter Sonnenschutz angebracht.

Analog zum Bürogebäude werden auch bei dem Mehrfamilienhaus für die weitere Bearbeitung und die damit einhergehende Gebäudesimulation zusätzliche Gebäudekenndaten benötigt. Dazu zählen wie bei dem Bürogebäude die lichten Innenmaße, die Fassadenflächen jeder Himmelsrichtung, die Fensterflächenanteile in der jeweiligen Fassadenfläche und die Nettoflächen der inneren Bauteile die als zusätzliche thermische Speichermasse dienen. Folgende Gebäudekenndaten weist das Mehrfamilienhaus auf:

Tabelle 3 - Gebäudekenndaten (Mehrfamilienhaus)

	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	NGF [m²]
Lichte Innenmaße	28,67	11,30	9,95	323,97
	Nord [m²]	Ost [m²]	Süd [m²]	West [m²]
Fassadenfläche	309,51	127,24	309,51	127,24
Fensterfläche	31,90	16,40	86,50	17,10
Nettoflächen		Fläche [m²]	d_{wirk} [m]	
Innenwände	Leichtbau	451,36	0,050	
	Stahlbeton	54,88	0,200	
	Kalksandstein	370,00	0,175	
	Gipsputz	849,76	0,010	
Fußboden	Zementestrich	300,40	0,050	
Decken	Stahlbeton	300,40	0,100	

Ermittlung der zusätzlichen thermischen Speichermasse [Kg]

$$\text{Zusätzliche thermische Speichermasse} = \sum A_i * d_{\text{wirk},i} * \rho_i$$

Dabei ist

A_i Nettofläche der jeweiligen Bauteilschicht

$d_{\text{wirk},i}$ rechnerisch wirksame Dicke der jeweiligen Bauteilschicht nach
DIN EN ISO 13786

ρ_i Rohdichte der jeweiligen Bauteilschicht

Tabelle 4 - Zusätzliche thermische Speichermasse (Mehrfamilienhaus)

Bauteilschicht	A [m²]	d _{wirk} [m]	ρ [Kg/m³]	Masse [Kg]
Leichtbauwände	451,36	0,050	850	19.182,80
Stahlbetonwände	54,88	0,200	2.500	27.440,00
Kalksandsteinwände	370,00	0,175	1.710	110.722,50
Gipsputz	849,76	0,010	1.100	9.347,36
Zementestrich	300,40	0,050	2.000	30.040,00
Stahlbetondecke	300,40	0,100	2500	75.100,00
Möbel*	300,40	0,016	1.000	4.806,40
Gesamt				276.639,06

* Annahme für Speichermasse der Möbel: Spanplatte über NGF; d_{wirk} = 0,016m

Anmerkung:

Die Grundrisse der beiden Gebäude sind der Langfassung zu entnehmen

4 Gebäudesimulation

Die Gebäudesimulation wird dazu benötigt ein Gebäudemodell energetisch anhand unterschiedlicher Nutzungsrandbedingungen, Wettereinflüsse und Bauteileigenschaften zu bewerten. Die hier stattfindenden Simulationen werden mit Hilfe des Simulationsprogramms *Therakles* durchgeführt. Des Weiteren liegen folgende Normen für die Nutzungsrandbedingungen zugrunde:

- DIN 18599-10 (Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten)
- DIN 4108-2 (Mindestanforderungen an den Wärmeschutz)

Aufgrund des hier im Vordergrund stehenden Einflusses des Klimas, muss zunächst anhand der Nutzungsrandbedingungen der Nutzereinfluss analysiert werden, da dieser eine signifikante Auswirkung auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden hat. Durch die Erzeugung einer prozentualen Abhängigkeit den der Nutzer auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf hat, kann das Klima unabhängig vom Nutzer bewertet werden.

Daraus folgt, dass wenn der prozentuale Einfluss des Nutzers in einer Klimaregion einen größeren Einfluss auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf hat als das Klima einer anderen Region, können diese Klimaregionen zusammengefasst werden und bilden somit eine Klimazone.

Anhand der, unter Punkt 3. (Gebäudemodelle) vorgestellten Gebäudemodelle wird der Nutzereinfluss analysiert, um die Größe der prozentualen Abhängigkeit zu bestimmen. Bevor dies geschieht, muss zunächst der Nutzereinfluss der beiden Gebäudetypen miteinander verglichen werden, da untersucht werden muss in wie weit sich der Nutzereinfluss durch die beiden Gebäudetypen unterscheidet. Wenn der Nutzereinfluss unabhängig vom Gebäudetyp ist, kann eines der beiden Gebäudemodelle für die prozentuale Abhängigkeit angenommen werden. Ist dies nicht der Fall muss für jeden Gebäudetypen die prozentuale Abhängigkeit infolge Nutzereinfluss analysiert werden.

Da *Therakles* ein Einzonen¹-Simulationsprogramm ist, werden die Gebäudeabmessungen als Raummodell angenommen. Die Innenbauteile stellen die zusätzlichen thermischen Speichermassen dar.

Unter zusätzlichen thermischen Speichermassen werden Einbauten verstanden, die nennenswerte Wärmespeicherkapazitäten² aufweisen. Für eine realistische Berechnung sollten nur die Oberflächen nahen Schichten die dem Raum direkt zur Verfügung stehen berücksichtigt werden. Dazu zählen in diesem Fall die Innenwände leicht wie schwer, Zementestrich, abgehangte Decken und Möbel.

¹ siehe 4.1 Vorstellung des Simulationsprogramms „Therakles“

² siehe 3.3 Bürogebäude und 3.4 Mehrfamilienhaus

Zudem wird für die Analyse des Nutzereinflusses die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellten Testreferenzjahre 1-15 (TRY 1-15) verwendet. Das Testreferenzjahr 4 (Potsdam) spiegelt die durchschnittlichen Witterungsbedingungen im Mittel für Deutschland wieder und wird deshalb als Ausgangspunkt verwendet. Die Vorstellung des Simulationsprogramms Therakles und der Deutschen Testreferenzjahre ist der Langfassung zu entnehmen.

4.1 Analyse – Einfluss des Nutzers

4.1.1 Eingabe – Therakles

Die Eingabe der Beiden Gebäudemodelle in das Simulationsprogramm *Therakles* ist der Langfassung zu entnehmen (siehe Punkt 4.1.1.1 und 4.1.1.2).

4.1.2 Simulationsergebnisse - Einfluss des Nutzers

Wie bereits unter Punkt 4. (Gebäudesimulation) erwähnt können Klimaregionen zusammengefasst werden, wenn der Einfluss des Nutzers eine größere Auswirkung auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden hat, als das Klima einer anderen Region. Anhand der in Diagramm 2 aufgeführten Heizlasten des Bürogebäudes wird ein Nutzereinflussbereich in Prozent [%] gebildet. Dieser beschreibt die Größe des energetischen Einflusses durch den Nutzer in Bezug auf die Heizlast. Mithilfe des Nutzereinflussbereiches werden die Testreferenzjahre von Deutschland zusammengefasst, um weitere Schlüsse auf eine Skalierung der Klimaparameter ziehen zu können.

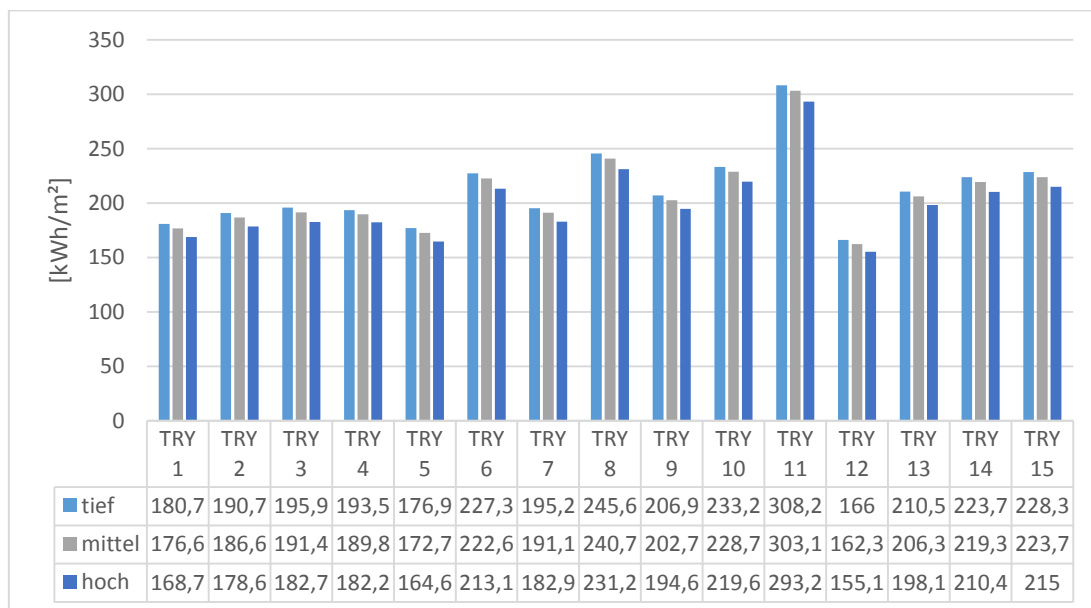


Diagramm 1 – Benötigte Heizlast des Bürogebäudes infolge tiefer-, mittlerer- und hoher Auslastung in den TRY 1-15

Nutzereinflussbereich

Um einen realistischen prozentualen Wert zu erzielen, wurden für jeden Auslastungsfall Gebäudesimulationen für das Bürogebäude in allen TRY-Regionen durchgeführt. Dafür wird nochmals auf die in Diagramm 2 stehenden Werte verwiesen, die die Ergebnisse darstellen. Für die Erzeugung des Nutzereinflussbereichs wurde folgender Formelansatz gewählt, da eine Berücksichtigung aller TRY-Regionen einen realistischeren Wert mit sich bringt.

$$\text{Nutzereinflussbereich} = \frac{\sum(\text{hohe Auslastung} - \text{tiefe Auslastung})}{\sum \text{mittlere Auslastung}} * 100 \quad [\%]$$

Anhand der Simulationsergebnisse (siehe Diagramm 2) und des obenstehenden Formelansatzes ergibt sich folgender prozentualer Nutzereinfluss:

$$\text{Nutzereinflussbereich} = \frac{(192,54) * 100}{3117,41} = \mathbf{6,18 \%}$$

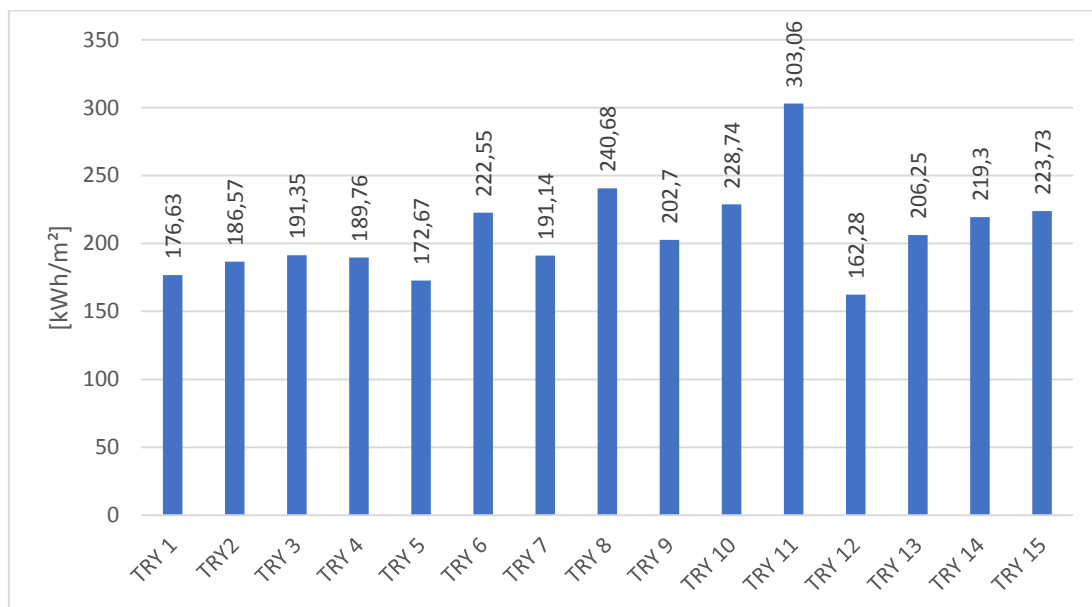
Daraus folgt, dass der Einfluss des Nutzers einen energetischen Einfluss von 6,18 % auf die Heizenergiebilanz hat. Anhand dieser Erkenntnis werden in nachfolgendem Punkt die Testreferenzjahre zusammengefasst, um neue Klimazonen zu bilden.

5 Zusammenfassung der TRY-Regionen infolge Nutzereinfluss

Wie bereits unter Punkt 4.3.2. (Simulationsergebnisse – Einfluss des Nutzers) erwähnt, wird durch den Nutzereinflussbereich Deutschland in neue Klimazonen eingeteilt.

Da das Referenzklima für Deutschland der TRY-Region 4 entspricht, wird die Heizenergiebilanz dieser Region als Richtmaß angenommen. Durch die Klimatischen Verhältnisse ist es in den deutschen Breiten- und Längengraden in Bezug auf den Sommerlichen Wärmeschutz nicht erforderlich das Bürogebäude zu kühlen. Aus diesem Grund wird nur die Heizenergiebilanz betrachtet.

Durch die Berechnung der prozentualen Abweichung zur TRY-Region 4 können die Regionen die in dem Nutzereinflussbereich liegen zusammengefasst werden, um so eine neue Klimazone zu bilden. Dazu sind in dem Diagramm 3 die Heizenergiebilanzen des Bürogebäudes (mittlere Auslastung) anhand der 15 Testreferenzjahre abgebildet.



**Diagramm 2 – Heizenergiebilanz des Bürogebäudes in den TRY-Regionen 1-15
(mittlere Auslastung)**

Mithilfe der einzelnen Heizlasten kann die prozentuale Abweichung zur TRY-Region 4 gebildet werden. Dazu wird die Heizlast der TRY-Region 4 zu 100 % angenommen, da diese wie bereits oben erwähnt als Richtmaß dient. Die Berechnung der prozentualen Abweichung wird wie folgt ermittelt:

$$\text{Abweichung in \%} = \frac{(TRY_4 - TRY_i)}{TRY_4} * 100$$

Das Diagramm 4 zeigt die prozentuale Abweichung der einzelnen TRY-Regionen zur TRY-Region 4.

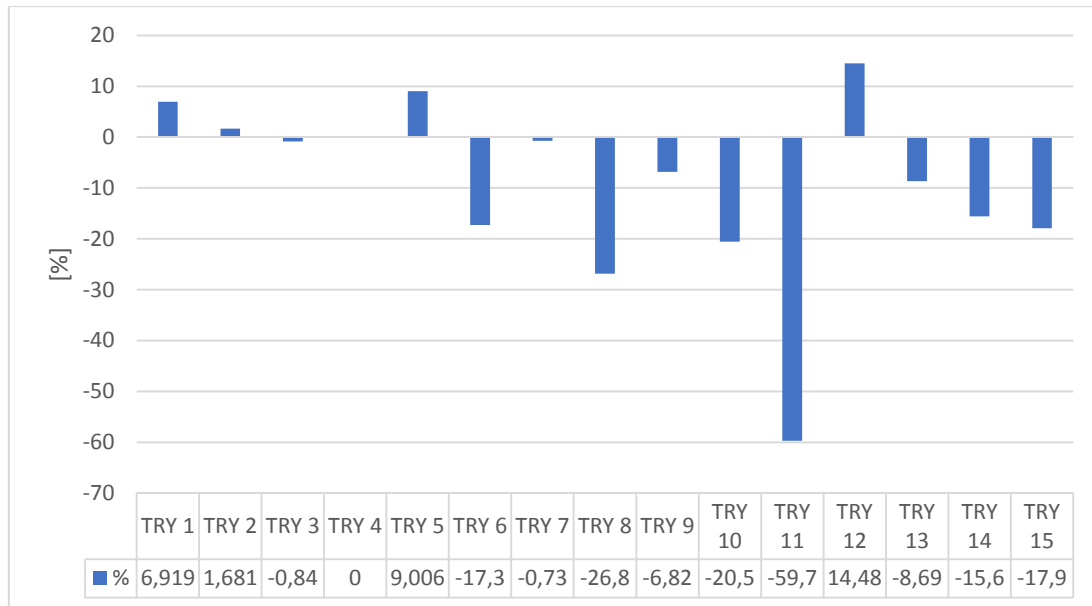


Diagramm 3 – Prozentuale Abweichung der TRY-Regionen zur TRY-Region 4

Anhand der prozentualen Abweichungen können TRY-Regionen zusammengefasst werden, in denen die Heizenergiebilanz eine geringere Abweichung aufweist als der Nutzereinfluss von 6,18 %. Damit lassen sich für Deutschland neue Klimaregionen bilden, in denen der Nutzereinfluss berücksichtigt wurde und wie gewollt das Klima den maßgeblichen Einfluss auf den Heizenergiebedarf hat. In Tabelle 8 sind die TRY-Regionen zu sieben neuen Klimazonen zusammengefasst worden.

Tabelle 5 – Bildung der neuen Klimaregionen 1-7

Klimaregion 1	TRY 2	TRY 3	TRY 4	TRY 7
Klimaregion 2	TRY 1	TRY 5		
Klimaregion 3	TRY 9	TRY 13		
Klimaregion 4	TRY 6	TRY 10	TRY 14	TRY 15
Klimaregion 5	TRY 12			
Klimaregion 6	TRY 8			
Klimaregion 7	TRY 11			

Durch die Zusammenfassung der TRY-Regionen 1-15 in die neuen Klimaregionen 1-7, werden die Klimaparameter Temperatur, Globalstrahlung und absolute Feuchte gegenübergestellt um Abhängigkeiten der einzelnen TRY-Regionen jeder Klimaregion zu bekommen. In dem nachfolgenden Punkt wird dies analysiert.

6 Analyse der Klimaregionen

Im Anhang der Langfassung sind die Klimaparameter Temperatur, Globalstrahlung und absolute Luftfeuchte der Klimaregionen 1-7 dargestellt. Anhand der Durchschnittswerte der Klimaregionen 1-7 wird untersucht in wie weit sich die Temperatur, Globalstrahlung und absolute Luftfeuchte voneinander unterscheiden um Rückschlüsse ziehen zu können in wie weit sich die einzelnen Parameter von den anderen unterscheiden.

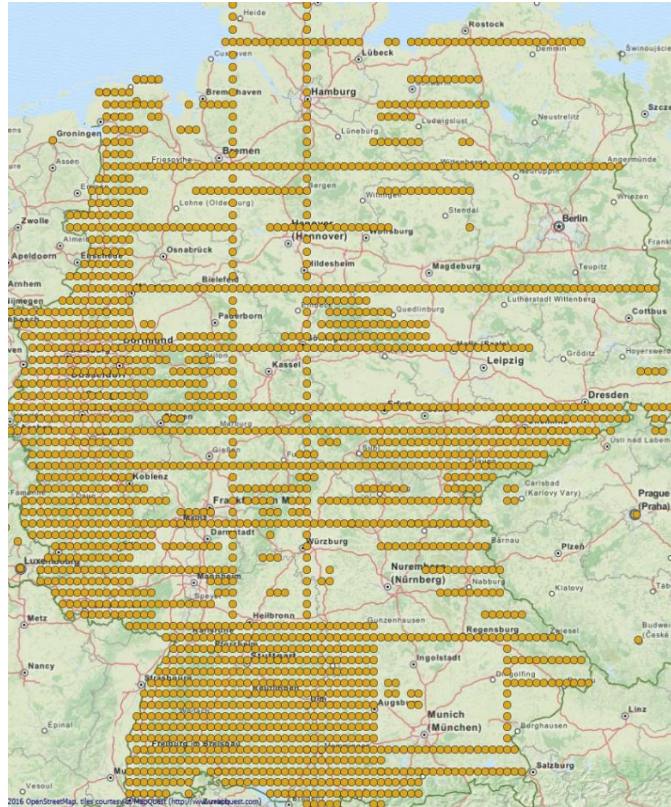
Die Schlussfolgerung aus der Analyse ist, dass die durchschnittliche Jahrestemperatur die Globalstrahlung und die absolute Luftfeuchte überlagert und somit für die Erstellung von Klimazonen allein verantwortlich ist.

7 Klimaklassifizierung

Anhand der Erkenntnisse unter Punkt 6 (Analyse der Klimaregionen) kann eine energetische Vergleichbarkeit von Gebäuden in unterschiedlichen Regionen über die durchschnittliche Jahrestemperatur mit einer Unterteilung von Schritten in einem Bereich von 1°C durchgeführt werden. Mithilfe der Tabelle 9 (siehe Langfassung) werden Temperaturbereiche einem Buchstaben zugeordnet um eine übersichtliche und einheitliche Skalierung zu erhalten. Durch die Software *Meteonorm* wird Deutschland anhand der Tabelle 9 (siehe Langfassung) in neue Klimazonen eingeteilt. Im Anschluss wird die Klimaklassifizierung punktuell für die europäischen Länder durchgeführt.

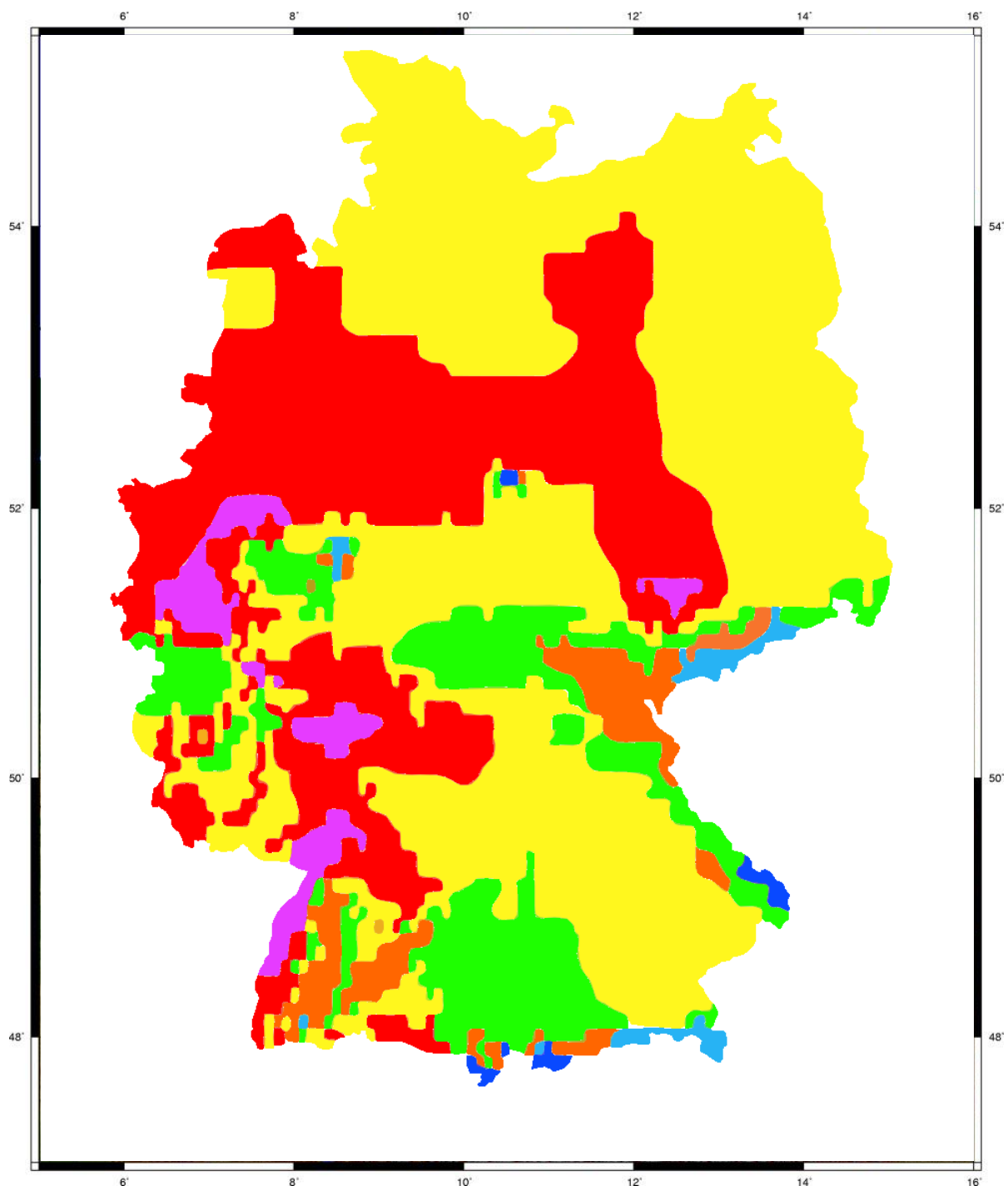
7.1 Klimazonenbildung – Deutschland

Durch die Möglichkeit der Interpolation anhand von Breiten- und Längengraden, kann für Deutschland eine Klimazoneneinteilung gemäß Tabelle 9 (siehe Langfassung) stattfinden. Mithilfe der Software *Meteonorm*, wurden die durchschnittlichen Jahrestemperaturen über Breiten und Längengraden ermittelt. In Abbildung 26 sind diese dargestellt.



**Abbildung 3 – Standorte für die Ermittlung der durchschnittlichen
Jahrestemperaturen in Deutschland**

Durch die Ermittlung der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, ergibt sich für Deutschland folgende Klimazoneneinteilung.



Legende

Farbkennzeichnung	Temperatur	Klassifizierung
Dunkelblau	4 – 6	E – F
Hellblau	6 – 7	G
Orange	7 – 8	H
Grün	8 – 9	I
Gelb	9 – 10	J
Rot	10 – 11	K
Lila	11 – 12	L

Abbildung 4 - Klimazonenbildung gemäß Klassifizierung (Deutschland)

Anmerkung:

Weitere Analysen der Klimaklassifizierung sind der Langfassung zu entnehmen (siehe Punkt 8 und 9).

8 Fazit

Die Ergebnisse dieser Thesis legen einen Grundstein für die Erzeugung von Klimaregionen in Bezug auf die energetische Vergleichbarkeit von Gebäuden. Anhand der anfänglichen Analyse der Klimaparameter konnte definiert werden, dass die Globalstrahlung, Temperatur und absolute Luftfeuchte einen signifikanten Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden haben und somit für die Erzeugung von Klimazonen berücksichtigt werden müssen.

Des Weiteren stellte sich heraus, dass der Nutzereinfluss eine bedeutende Rolle für die Bildung von Klimazonen darstellt, da dadurch erst der alleinige Einfluss des Klimas für die Ermittlung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs berücksichtigt werden kann. Dies entspricht dem wichtigsten Ansatz für die Erstellung neuer Klimazonen in dieser Thesis.

Die anschließende Analyse des Nutzereinflusses ergab, dass dieser einen prozentualen Einfluss von 6,18 % bezogen auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf hat. Anhand dieser prozentualen Größe, konnten die deutschen Testreferenzjahre (TRY 1-15) in sieben neue Klimaregionen zusammengefasst werden. Durch die Bildung der neuen Klimaregionen konnten dann Rückschlüsse für eine mögliche Skalierung der Klimaparameter, Globalstrahlung, Temperatur und absolute Luftfeuchte gezogen werden. Die anschließende Analyse der Klimaparameter in den sieben Klimaregionen ergab, dass die durchschnittliche Jahrestemperatur einen maßgeblichen Einfluss hat und die Globalstrahlung und absolute Luftfeuchte in den deutschen Breiten und Längengraden überlagert.

Durch einen Vergleich zwischen den sieben neuen Klimaregionen und den TRY-Regionen 1-15, ergab sich eine Skalierung der durchschnittlichen Jahrestemperatur in Abständen von 1°C. Die daraus resultierenden Temperaturbereiche wurden Buchstaben zugeordnet um eine übersichtliche und Einheitliche Klassifizierung zu bilden. Durch die Klassifizierung wurde für Deutschland mithilfe der Software *Meteonorm* eine neue Klimakarte erstellt. Diese beruht auf dem Heizenergiebedarf von Gebäuden, da wie bereits erwähnt die Globalstrahlung und die absolute Luftfeuchte durch die durchschnittliche Jahrestemperatur überlagert werden und somit nicht berücksichtigt wurden.

Abschließend wurde die Klassifizierung auf Finnland und punktuell auf europäische Städte übertragen, um zu überprüfen ob in anderen Breiten und Längengraden die entstandene Klassifizierung übertragbar ist. Durch die Überprüfung wurde festgestellt, dass dies Länderweit nicht möglich ist. Dennoch ergaben sich Zusammenhänge zwischen den einzelnen europäischen Städten, da diese in dem Nutzereinflussbereich lagen.

Daraus resultiert, dass in weiteren Arbeiten und damit einhergehenden Untersuchungen Zusammenhänge zwischen den Klimaparametern gefunden werden müssen. Ein Ansatz der weiter verfolgt werden sollte, stellen die europäischen Städte, die in dem Nutzereinflussbereich liegen, dar. Dort können weitere Abhängigkeiten der Klimaparameter zueinander gefunden werden. Des Weiteren muss allgemein die Integrierung der Globalstrahlung und der

absoluten Feuchte erfolgen. Ein weiterer Einfluss der analysiert werden sollte, ist die Temperaturverschiebungen am Tag bzw. über ein Jahr hinweg, da sich daraus eventuell weitere Rückschlüsse ableiten lassen.