

**Strategien zur raumklimatischen Optimierung der
Wohnarchitektur Brasiliens: Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und
Minderung des Energiebedarfs anhand passiver Strategien**

beim Fachbereich Architektur
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR (Dr.-Ing.)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Marianna H. A. Dörfler

geboren in São Paulo, Brasilien

Dekan:	Prof. Dipl.-Ing. J. Modersohn
Prüfungskommission	
Vorsitzender der Kommission:	Prof. Dipl.-Ing. J. Modersohn
1. Betreuer und Berichterstatter:	Jun.Prof. Dr.-Ing. A. Tersluisen, Technische Universität Kaiserslautern
2. Betreuer und Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. E. L. Krüger, UTFPR Curitiba, Brasilien
Datum der mündlichen Prüfung:	17. Juni 2015

Kaiserslautern 2016

(D386)



Dipl.-Ing. Marianna H. A. Dörfler

Strategien zur raumklimatischen Optimierung der Wohnarchitektur Brasiliens:

Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und Minderung des
Energiebedarfs anhand passiver Strategien



Widmung

Meinem Vater, Freund und Vorbild.

Erklärung des Antragstellers

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte, fremde Hilfe verfasst habe. Textabschnitte, Bilder, denen fremde Quellen zu Grunde liegen, sowie die Anteile etwa beteiligter Mitarbeiter und anderer Autoren sind klar gekennzeichnet und sind im Literaturverzeichnis kenntlich gemacht. Die vorliegende Dissertation oder Teile davon wurden von mir in keiner Form als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder wissenschaftliche Prüfung eingereicht.

Kaiserslautern, den 16. August 2016

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung / Abstract	10
	Einführung	12
1	Grundlagen	15
1.1	Übersicht Wohnarchitektur Brasiliens	15
1.2	Wohnungsbaudefizit Brasiliens	23
	Soziales Wohnungsbauprogramm	25
1.3	Klimata Brasiliens	29
1.3.1	Klimata Brasiliens nach Köppen-Geiger	30
1.3.2	Klimazonen Brasiliens nach Norm ABNT 15220-3	31
	Klimazone 01	33
	Klimazone 02	36
	Klimazone 03	39
	Klimazone 04	42
	Klimazone 05	45
	Klimazone 06	48
	Klimazone 07	51
	Klimazone 08	54
1.4	Innenraumklima	57
1.4.1	Thermische Behaglichkeit	57
1.4.2	Normen Weltweit	58
	ISO 7730/2005	58
	ASHRAE Standard 55	59
1.4.3	Normen Brasiliens	60
	ABNT NBR 15220	60
1.4.4	Psychrometric Chart	65
1.5	Energetische Bilanzierung von Gebäuden	67
1.5.1	Wärmegewinne	69
1.5.2	Wärmeverluste	70
1.5.3	Maßnahmen	70
	Heizen	71
	Kühlen	71
	Lüften	71

1.6	Energetische Strategien in Gebäuden	72
1.6.1	Passive Strategien	72
1.6.2	Strategien-Katalog	73
1.6.3	O – Ort	74
	Energiequellen	74
1.6.4	G – Gebäude	75
	Ausrichtung	75
	Kompaktheit von Gebäuden	75
	Raumbildung	75
	Ventilation - Natürliche Lüftung	76
	Innere Lasten	78
1.6.5	K – Konstruktion	78
	Solare Gewinne	78
	Bauart	79
	Öffnungen	80
1.6.6	M – Material	81
	Opake Bauteile	82
	Transparente Bauteile	82
	Gebäudehülle	82
2	Problemstellung, Methode und Zielsetzung	83
2.1	Werkzeug	85
2.1.1	Dynamische Gebäudesimulation	85
2.1.2	EnergyPlus	86
2.2	Gebäudeauswahl	90
2.2.1	Koloniale Wohnarchitektur – Casa Térrea	90
2.2.2	Soziale Wohnungsbau Architektur – Casa Popular	93
2.3	Klimazonenauswahl	96
2.3.1	Klimazone 01	96
2.3.2	Klimazone 03	97
2.3.3	Klimazone 07	98
2.3.4	Klimazone 08	98
2.4	Casa Térrea vs. Casa Popular	100
2.4.1	Ausgangszustand	100
2.4.2	Grundriss	102
2.4.3	Konstruktion	103
2.4.4	Materialität	104
2.4.5	Simulation Input	105
	Allgemein	105
	Innere Lasten	105

	Luftwechselrate _____	106
	Heiz- und Kühlgrenzwert _____	107
2.4.6	Simulation Output _____	108
2.4.7	Modellbildung _____	109
3	Untersuchungen, Simulationen und Ergebnisse _____	110
3.1	Voruntersuchung Casa Térrea vs. Casa Popular _____	110
3.1.1	Klimazone 01 _____	111
3.1.2	Klimazone 03 _____	113
3.1.3	Klimazone 07 _____	115
3.1.4	Klimazone 08 _____	117
3.1.5	Zwischenauswertung Ist-Zustand _____	119
3.2	Hauptuntersuchung Casa Popular _____	121
3.2.1	Untersuchungsmodell Casa Popular _____	121
3.2.2	Ausgangsposition _____	122
3.2.3	Konstruktion _____	123
3.2.4	Materialität _____	124
3.2.5	Allgemeine Daten _____	124
3.3	Casa Popular – Strategieneinsatz _____	125
3.3.1	Strategienauswahl _____	126
3.3.2	Strategie G – Gebäude _____	127
	Ausrichtung Gebäude _____	127
	Ausrichtung Dach _____	128
	Ausrichtung Fenster _____	128
	Ventilation – Natürliche Lüftung _____	129
3.3.3	Strategie K – Konstruktion _____	133
	Bauteildicke - Außenwand _____	133
	Bauteildicke - Bodenplatte _____	133
	Bauteil - Verschattungselement _____	134
3.3.4	Strategie M – Material _____	134
	Außenwand - Lehmputz _____	135
	Außenwand - Absorptionsgrad _____	135
3.4	Casa Popular – Strategiergebnisse _____	136
3.4.1	Ausgabeformat _____	136
3.4.2	Klimazone 01 _____	137
	Heizwärmebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung _____	137
	Heizwärmebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material _____	137
3.4.3	Klimazone 03 _____	143
	Heizwärme- und Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung _____	143
	Heizwärmebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material _____	144

	Kühlenergiebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material_____	149
	Heizwärme- und Kühlenergiebedarf _____	153
3.4.4	Klimazone 07_____	155
	Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung_____	155
	Kühlenergiebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material_____	155
3.4.5	Klimazone 08_____	161
	Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung_____	161
	Kühlenergiebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material_____	161
4	Schlussfolgerungen _____	167
4.1	Casa Popular – Strategienauswertungen _____	167
	Strategie G – Gebäude _____	167
	Strategie K – Konstruktion _____	168
	Strategie M – Material _____	170
4.2	Casa Popular – Optimierungspotenziale _____	171
4.3	Ausblick _____	173
	Literaturverzeichnis _____	176
	Abbildungsverzeichnis _____	186
	Programmverzeichnis _____	187
	Nomenklatur _____	188
	Lebenslauf _____	188
	Anlagenverzeichnis _____	189

Zusammenfassung

Brasilien ist flächenmäßig das fünftgrößte Land der Welt, mit einer in den letzten Jahrzehnten dynamisch wachsenden Bevölkerung von heute mehr als 200 Millionen Einwohnern. Infolge steigender Komfortansprüche ist ein gleichzeitig wachsender Energieverbrauch festzustellen. Bei den aus dem westlichen Ausland übernommenen Architekturen, Konstruktionen und Materialien sind integrierte Klimaanlage baulicher Standard. Innerhalb staatlicher Wirtschaftsprogramme werden die Bauausführungen für den sozialen Wohnungsbau offiziell standardisiert. Je nach Flächenbedarf und Einkommensverhältnissen bieten die Wohnungsbaugesellschaften den Bewohnern preiswerte und finanzierungsgünstige Standard-Wohneinheiten und -Häuser an, die sogenannte *Casa Popular*. Dünne Wände führen zur Kostenreduktion, aber auch zur thermisch-ineffizienten Gebäudehülle. Dieses aus pragmatischem Regierungsprogramm abgeleitete Musterhausdenken und die klimazonenunabhängige Struktur und Konstruktion führen aus den verschiedensten Gründen zu ungenügenden Behaglichkeitswerten.

Ein ebenso weit verbreiteter Wohnhaustyp aus der Kolonialzeit, die *Casa Térrea* (Lehmbau aus dem 17. Jhd.), bot über Jahrhunderte hindurch und bietet bis heute den Familien aus vergleichbaren Verhältnissen adäquaten Wohnraum an. Obwohl der Haustyp in allen acht Klimazonen strukturell und konstruktiv nahezu identisch in ganz Brasilien vorzufinden ist, gelten für diese Häuser im Vergleich zur heutigen *Casa Popular* bessere Behaglichkeitswerte.

Mit Hilfe der energetisch-dynamischen Simulation wird der Haustyp *Casa Popular* (zeitgenössischer, standardisierter Haustyp) hinsichtlich der energetischen Effizienz und Behaglichkeit für Standorte für vier von insgesamt acht ausgewählten Klimazonen Brasiliens simuliert und ausgewertet. Untersucht wird, inwieweit der zeitgemäße Wohnungsbau Brasiliens durch architektonisch-konstruktive Maßnahmen thermisch und energetisch effizienter umgesetzt werden kann. Zielsetzung ist es, ein Maximum der Behaglichkeit allein durch passive, energieverbrauchssenkende und wirtschaftliche Maßnahmen zu erreichen.

Werkzeuge: EnergyPlus EERE - U.S. Department of Energy, AnalysisBio, ZBBR, Menerga Psychrometric Chart.

Stichwörter: Brasilien, sozialer Wohnungsbau, dynamische Gebäudesimulation, thermische Behaglichkeit, passive Strategien, Energieeffizienz, *EnergyPlus*, *Psychrometric Chart*.

Abstract

Brazil is the fifth largest country by area in the world, Brazil's population is reaching 200 million people, at the same time energy consumption increases due to rising demands for thermal comfort. Building design, construction and materials from western architecture with added air conditioning systems are today's construction standards. Social housing programs are based on standardized architecture: depending on space needs and social income, residential housing companies offer inexpensive prefabricated houses according to governmental regulations, the *Casa Popular*. Thin walls lead to cost reductions, but also to low mass of thermal envelope of the building. The standardized, climate-independent structure and design lead to various causes of poor comfort levels.

An equally prevalent house type from the colonial time, the *Casa Térrea* (an earth building from the 17. century), has offered families with similar income conditions over centuries an adequate housing. These houses, even though this typology can be found over all eight climate zones of Brazil, are structurally and constructively almost identical, but compared to today's *Casa Popular* they show a better thermal comfort level.

By means of thermal energetic-dynamic simulations of the house typology *Casa Popular* (contemporary, standardized house type) energy demand and thermal comfort level are evaluated for four locations belonging to the eight climate zones of Brazil. The extent of passive strategies towards effective energy use through architectural design measures is analyzed for the social housing type in Brazil. The objective is to maximize thermal comfort by purely passive, energy saving and low-cost measures.

Tools: EnergyPlus EERE - U.S. Department of Energy, AnalysisBio, ZBBR, Menerga Psychrometric Chart.

Keywords: Brazil, social residential building, dynamic building simulation, thermal comfort, passive strategies, energy efficiency, *EnergyPlus*, *psychrometric chart*.

Einführung

Problemstellung

Passive Strategien sind energetische Maßnahmen, die in der Architektur für eine Optimierung des Raumklimas unter Einbeziehung der energetischen Potenziale der jeweiligen Klimazone stehen. Unter der kritischen Betrachtung des Energieverbrauchs für die Raumkonditionierung sind die thermische Behaglichkeit definierenden Parameter zur Energieeffizienz und zum Komfort in Einklang zu bringen. Nur durch eine genaue Analyse der Klimaverhältnisse und der vor Ort vorhandenen Energiequellen kann eine Aussage getroffen werden, ob die Raumklimamaßnahmen wie Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten und Belüftung zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas getroffen werden und in passive Strategien transformiert und umgesetzt werden können.

Beispielhaft für eine Vielfalt von verschiedensten Klimabedingungen und Klimazonen bietet das Land Brasilien aufgrund der geografischen Lage und seiner fast kontinentalen Ausdehnung ideale Voraussetzungen an, Untersuchungen zur Anwendung passiver Strategien für den Wohnungsbau durchzuführen. Trotz immenser Bodenschätze und gewaltiger Energieressourcen sind auch für Brasilien die Energiereserven nicht unbegrenzt vorhanden und müssen schnellstmöglich von der Regierung in die Planung und Umsetzung des Wohnungsbaus und der Infrastrukturmaßnahmen eingebracht werden. Ausgehend vom gesamten Energieverbrauch Brasiliens¹ haben nach der Industrie (mit 43%) die privaten Haushalte mit 27% einen entscheidenden Anteil am Energiekonsum. Maßgebliche Verbraucher von Energie sind bei den Raumklimamaßnahmen Heizen und Kühlen zu finden.

Das Wohnungsbaudefizit einer in den letzten Jahrzehnten schnell wachsenden Bevölkerung geht in die Millionen-Einheiten und führt zusätzlich zu enormen sozialen Spannungen. Als Initiative wurde nach dem Regierungswechsel von 2002 das Programm „*Minha Casa, Minha Vida*“² (Mein Haus, Mein Leben) im Jahr 2009 aufgelegt, um eine Besserung der Wohnungsbaupolitik langfristig zu garantieren. Für die sozial bedürftigen Bevölkerungsschichten, die in den sozialen Klassen B und C³ mehr als die Hälfte der gesamten Bevölkerung Brasiliens ausmachen, sollen in wenigen Jahren Millionen von neuen Wohneinheiten geplant und erbaut werden, die den Grundbedarf für menschenwürdige Wohnverhältnisse garantieren und den sozialen Frieden sichern sollen. Ungenügende Bauspezifikationen und Nichtberücksichtigung der brasilianischen Normen ABNT NBR 15220⁴ für den „Wärmeschutz von Gebäuden“ für den sozialen Wohnungsbau-Katalog der von der von der Regierung beauftragten staatlichen Bank „CAIXA“ resultieren in mangelhaftem thermischen Verhalten und kostengünstigen Bauausführungen der betreffenden Bauunternehmen. Der soziale Wohnungsbau wird zum Teil als Siedlungsprojekt mit mehr als 1000 Wohneinheiten in allen Bundesstaaten und über alle Klimazonen hin geplant und ausgeführt.

¹ Vgl. PROCEL: Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009, S. 15 Grafik 2.3.

² CAIXA: Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

³ Vgl. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Demografische Statistik, Monatliches Einkommen, 2010, <ftp://ftp.ibge.gov.br/Orcamentos_Familiares/Pesquisa_de_Orcamentos_Familiares_2008_2009/Despesas_rendimentos_e_ondicoes_de_vida/tab_rendimentos.zip>, Abrufdatum: 03.09.2012

⁴ Vgl. ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220 „Wärmeschutz von Gebäuden“ Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter <<http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

Von der Wohnungsgeschichte Brasiliens bzw. den letzten 500-Jahren-Wohnungsbauarchitektur sind bis heute verschiedene Wohnbauten seit ihrer Einführung durch die Portugiesen in der Kolonialzeit bis zum Zeitpunkt der Industrialisierung vorzufinden, unter anderem die nach der indigenen Kultur in Erscheinung tretende Wohnhaustypologie der *Casa Térrea*. Über Jahrhunderte wurden diese Wohnbauten in allen Staaten Brasiliens weiter verbreitet, unter Beibehaltung der wesentlichen Konstruktionsmerkmale, der Materialität und des Raumprogrammes. Durch die Industrialisierung und dem parallel einhergehenden Bevölkerungswachstum entstand seit den 30-er Jahren ein enormer Bedarf an Wohneinheiten und somit ein Defizit an Wohnmöglichkeiten. Seit 1964 haben wechselnde Regierungen unterschiedliche Ansätze zur Behebung der Wohnungsbaufizite vorgestellt und umgesetzt. Mit dem Wohnungsbauprogramm „*Minha Casa, Minha Vida*“ wurde 2009 ein den heutigen Bedürfnissen entsprechendes Standardhaus, die *Casa Popular*, eingeführt. Bei der Ausführung der Häuser werden die energetischen Potenziale nicht als Priorität betrachtet. Vielmehr gilt das Hauptaugenmerk der Politik einer schnellen Bauausführung und Übergabe der Wohneinheiten. Die möglichen thermischen und energetischen Einsparpotenziale für den sozialen Wohnungsbau und die Verbesserung des Wohlbefindens innerhalb des Gebäudes und seiner Umgebung unter Einsatz von vorteilhaft auszuwählenden und anzuwendenden passiven Strategien sind Gegenstand und Zielsetzung dieser Arbeit.

Als erste Voranalyse soll in einem Vergleich zwischen der über Jahrhunderte bestehenden und noch bewohnten *Casa Térrea* mit dem heute gültigen industriellen Standardmodell einer modern-ausgelegten Wohnkultur, der *Casa Popular*, das energetische und thermische Verhalten aufgezeigt werden. Durch die Anwendung der dynamischen Gebäudesimulation wird eine Bilanzierung beider Häuser und ihrer Charakteristiken ermöglicht.

Für die Hauptanalyse und für die weiteren Forschungsschritte wird das Standardhaus *Casa Popular* aus dem sozialen Wohnungsbau-Katalog der „CAIXA“ als Referenzhaus ausgewählt. Der durch die klimatischen Verhältnisse beeinflusste Komfortanspruch, die Zufriedenheit der Bewohner, sowie das thermische und energetische Einspar- und Verbesserungspotenzial werden als Zielsetzung betrachtet, analysiert und für die passive Strategien Auswahl berücksichtigt.

Von den acht verschiedenen Klimazonen Brasiliens werden repräsentativ vier Klimazonen als Beispiel für die Klimabedingungen von Süden nach Norden – zum Äquator hin – betrachtet. Die brasilianische Norm ABNT NBR 15220-3⁵ gibt die entsprechende Angabe von Referenzstädten jeder Klimazone an, für die die Untersuchungen gelten.

Zur Energiebilanzierung des Heizwärme- und des Kühlenergiebedarfs des Gebäudes dient als Bilanzierungswerkzeug die dynamisch-energetische Gebäudesimulation mit dem Programm *EnergyPlus*⁶. Dabei wird das Referenzhaus für die Simulationen in ein thermisches Zonenmodell unterteilt. Zur Veranschaulichung der Betrachtung hinsichtlich thermischer Behaglichkeit des Innenraumklimas der Gebäude wird das *Psychrometric Chart* verwendet.

⁵ Vgl. ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter <<http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

⁶ Vgl. ENERGYPLUS: EnergyPlus Energy Simulation Software, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, Programm Download unter: <<https://energyplus.net/>>, Abrufdatum: 27.07.2012.

Zielsetzung

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Optimierung der thermischen Behaglichkeit mit einer einhergehenden Minimierung des Energiebedarfs eines Wohngebäudes des heutigen brasilianischen sozialen Wohnungsbauprogrammes anhand passiver Strategien. Es werden thermische und energetische Gesichtspunkte betrachtet, analysiert und ausgewertet.

Bei der Analyse und der dynamischen Gebäudesimulation sollen die positiven und negativen Strategiepotenziale der ausgewählten vier von insgesamt acht verschiedenen Klimazonen aufgezeigt werden. Anhand eines Optimierungsprozesses wird jeweils eine Variable verändert und durch erneute Simulation berechnet und ausgewertet.

Bei der Auswertung dieser Forschungsarbeit soll aufgezeigt werden, dass die thermische Behaglichkeit anhand einer Optimierung, Anpassung und Transformation der Gebäude an die Umgebung und ihre klimatischen Verhältnisse verbessert werden kann. Die den Energiebedarf betreffenden Ergebnisse werden durch die Untersuchung in ihren Auswirkungen dargestellt.

Darüber hinaus soll die Wichtigkeit des Potenzials einer optimalen Auseinandersetzung mit der Umgebung schon bei der Vorplanung aufgezeigt werden.

1 Grundlagen

1.1 Übersicht Wohnarchitektur Brasiliens

Die brasilianische Kulturlandschaft wird überwiegend von der weißen Bevölkerung europäischen Ursprunges geprägt, von den Ureinwohnern indigener Abstammung oder Urvölker des südamerikanischen Regenwaldes, sowie einem schwarz-afrikanischen Bevölkerungsanteil, der durch den Sklavenhandel während der Kolonialzeit auf den Kontinent gelangte. Der besondere multikulturelle Ausdruck und die Rassenvielfalt leiten sich in Brasilien gerade aus einer Mischung von verschiedenen Kulturlandschaften und Kriterien ab, die sich für die Manifestation einer Gesellschaft als unumgänglich erweisen, wie eine gemeinsame Sprachkultur, die Essensvielfalt, die Musik, die Mode und die Architektur, sowie die Religionen und ihre Kulte⁷. Das Konzept einer aus dem Volk stammenden Architektur hat in Brasilien noch keinen sehr verbreiteten Einfluss auf die kulturelle Entwicklung genommen, weder in der nationalen Vorstellungswelt noch in der akademischen Lehre. Während die brasilianische Volksmusik *MPB-Música Popular Brasileira* einen Prämienstatus für die allgemeinen Künste darstellt, sind das gesamte Architekturverständnis und seine Anwendungen mit der wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Entwicklung der Eliten verbunden.

In der brasilianischen Architekturgeschichte hat der Architekt Günter Weimer⁸ die populäre Architektur mit einer systematischen Darstellung für Lehre und Forschung verständlich qualifiziert. Anhand von verschiedenen Untersuchungen, Reisen und daraus resultierenden Lehrgängen und Vorträgen hat Günter Weimer einen grundlegenden Beitrag zum Verständnis und zur Wichtigkeit dieser Architektur für die allgemeine Kultur beigesteuert. In seinem Buch *Arquitetura Popular do Brasil* führt der Autor einige der Charakteristiken an, die eine spontan aus dem einfachen Volk entstandene Architektur beschreiben.

Eine erste Eigenschaft dieser Art von Architektur ist die Einfachheit und die strikte Verwendung von lokal in der Natur zur Verfügung stehendem Baumaterial. Dabei ist die Natur ein wichtiger Ratgeber und Ideengeber für die anzuwendenden Bauarten und Baukonstruktionen.

Die zweite Eigenschaft ist die Anpassungsfähigkeit, sich an den neuen klimatischen und technologisch veränderten Verhältnissen zu orientieren, im Vergleich zu den von vielen Einwanderergruppen unter seinen Kulturen mitgebrachten und bisher gewohnten Bauausführungen. Die Kreativität bzw. die Improvisation ist die dritte Eigenschaft, die die volkstümliche Architektur nicht unbedingt mit den letzten technologischen Entwicklungen verknüpfen muss. Vielmehr entstehen die Projekte durch die Vorstellungskraft aus dem Stegreif unter Nutzung der vor Ort herrschenden klimatischen Bedingungen und der dort vorhandenen Materialien.

Die vierte Besonderheit bezieht sich auf die Zielsetzung in Planung und Umsetzung, die in der volkstümlichen Architektur nicht mit der durch die Wissenschaft und Lehre beschriebenen Architektur übereinstimmt, weil die örtlich zu berücksichtigenden Verhältnisse von Umwelt und dem dort anzutreffenden Baumaterial formal nicht vorher bestimmbar sind.

Eine weitere Eigenschaft ist mit dem Begriff der "Multi-Säkularität"⁹ umschrieben, wobei das Ergebnis der volkstümlichen Architektur in den meisten Fällen aus einer Lehre und von einer

⁷ Vgl. VERÍSSIMO, F. und Bittar, W. "500 anos da casa no Brasil. As transformações da arquitetura e da utilização do espaço da moradia". Rio de Janeiro. Ediouro Publicações S.A., 2000, S. 22-24.

⁸ Vgl. WEIMER, G.; *Arquitetura popular brasileira*.; Livraria Martins Fontes Editora; São Paulo; 2005.

⁹ s. Duden: Herkunft aus dem französischen *sécularisation* - Bedeutung der Loslösung des Einzelnen, des Staates und gesellschaftlicher Gruppen aus den Bindungen an die Kirche.

technologischen Entwicklung herrühren, die mit einer bestimmten Gesellschaftsgruppe und ihrer Zeitgeschichte verbunden sind. Dies widerspricht den Widersachern der spontanen Kreativität, die sich vielfach an die zeitgenössische Architektur anlehnen¹⁰. Die Eigenschaften der „populären Architektur“ stellen zwei scheinbar gegensätzliche Positionen in Frage, wo einerseits eine scheinbar traditionelle und konservative Aussage einem großen Anpassungs- und Umsetzungsvermögen gegenübersteht. Überwiegend gleichen sich alle volkstümlichen Architekturen in der Anwendung bestimmter Technologien und der Nutzung der örtlich vorhandenen Materialien in der sie umgebenden Natur. Die gleichen Kriterien werden maßgeblich bei der Konzeptentwicklung nachhaltiger Bauweisen berücksichtigt.

Im Folgenden werden einige Typologien verschiedener Einwanderkulturen Brasiliens dargestellt. Angefangen von indigenen Behausungen, darauf folgend mit der Entdeckung Brasiliens die von der portugiesischen Kolonialisierung eingebrachte Architektur, bis hin zu den heutigen Wohnungsbaukonzepten (Abb. 01).

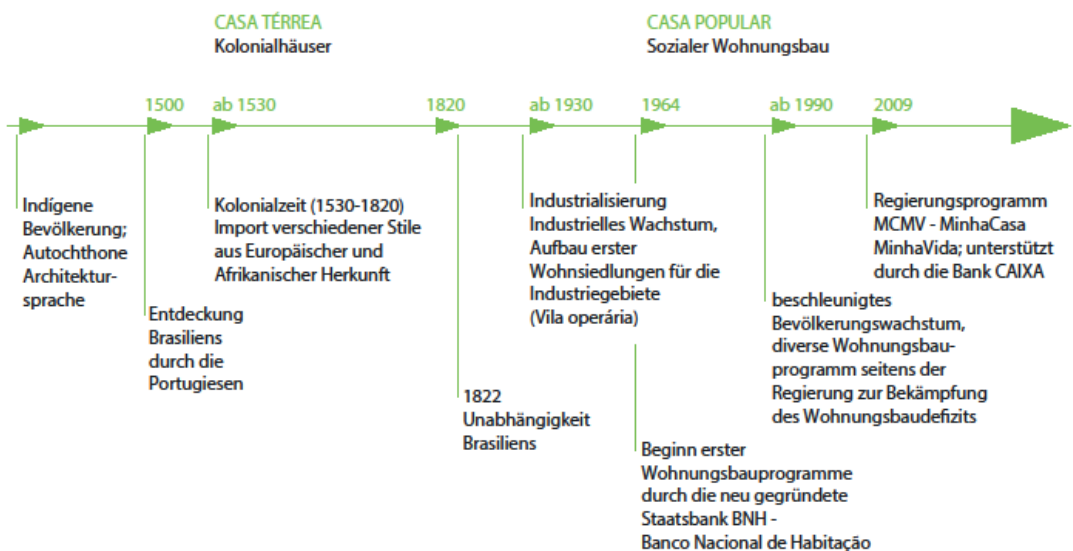


Abb. 01 Zeitlinie

¹⁰ Vgl. WEIMER, G.; Arquitetura popular brasileira.; Livraria Martins Fontes Editora; São Paulo; 2005; S. XLIII f.

Das indigene Dorf als Gebäude

Als Beispiel für die traditionelle Architektur der indigenen Bevölkerung gilt das *Yanomami* Dorf als Gemeinschaftsgebäude und liefert damit einen ersten Beitrag zur Wohnarchitektur Brasiliens. Der Stamm *Yanomami* lebt an der Grenze von Brasilien zu Venezuela mit einer Gruppe bis zu 50 Personen in einem Gebäude, genannt *schabono* (Abb. 02 und 03).

Das Gebäude, in Form eines Trichters, hat einen Durchmesser von ca. 20,0 m und einen zentral-gelegenen, offenen Innenhof mit einem Durchmesser von ca. 5,0 m. Dieser ist enorm wichtig für die natürliche Belichtung und Belüftung einschließlich des Rauchabzuges. Die niedrigste, äußere Begrenzung weist eine Höhe von 1,5 m auf. Die größte Raumhöhe liegt in Richtung Zentrum und beträgt etwa 3,5 m bis 4,0 m. Die Baumaterialien bestehen aus der Vegetation der Umgebung, unter anderen große Baumblätter und Hölzer.¹¹

Diese Art der Bauweise ist als eine temporäre Architektur ausgelegt, da die indigenen Stämme als Nomaden lebten und die Dörfer nur für die Dauer von maximal zwei Jahren aufgebaut wurden¹².

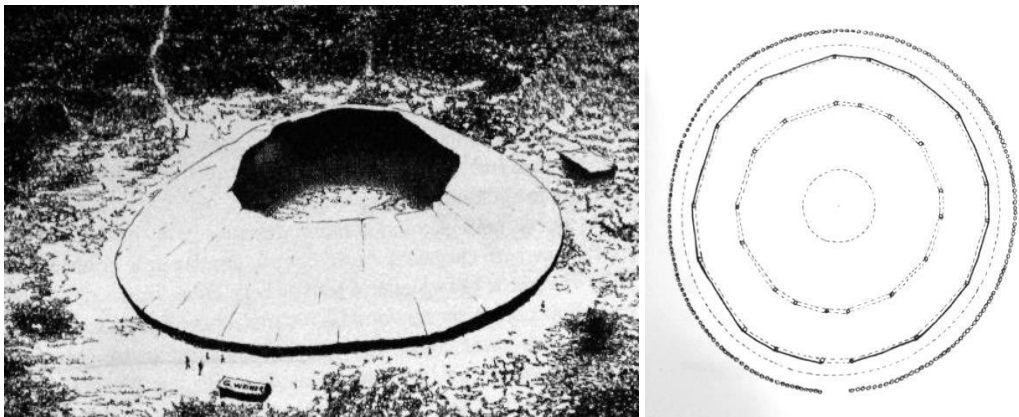


Abb. 02 Skizze Dorf und Grundriss eines Gebäudes der indigenen Bevölkerung *Yanomami* [WEIMER, 2005; S.47]

Die indigene Stadtstruktur mit einzelnen Gebäuden

In der indigenen Architektur gab es verschiedene Arten der Stammansiedlungen, zum Beispiel der Struktur mit einzelnen Gebäuden. Diese sind zum Teil von den Eindringlingen aus verschiedenen sozialen Gruppen (Kautschuk-Plantagen, Holz, Mineralien, u.v.m.) übernommen worden. Die Konstruktion besteht aus Materialien der Umgebung, wie Hölzer, Stroh und Blätter. Die Decken sind aus 20cm dicken Strohbällen mit einer hohen Dachneigung, um das schnelle Abfließen des häufig vorkommenden Regenwassers zu gewährleisten. Das Gebäude ist als Pfahlbau konzipiert. Gründe dafür sind der laufende Wechsel des Wasserstandes der Umgebung, Schutz vor Tieren und Ungeziefer und einer besseren Durchlüftung des Gebäudes auf Grund der relativen hohen Luftfeuchtigkeit¹³.

¹¹ Vgl. UNIFSC; Claro, Prof. Anderson; Antonio, G. B. P.; Benatti, K.; Arquitetura indígena; Universidade Federal de Santa Catarina; Departamento de Arquitetura e Urbanismo; 2011, Kap. 2.7.1 S. 26-29; Dokument abrufbar unter <<http://www.ceap.br/material/MAT21042014225238.pdf>> Abrufdatum: 03.05.2011.

¹² Vgl. NOVAES, Sylvania Caiuby; Habitações indígenas; Sao Paulo; NOBEL/EDUSP; 1983, S.79, 80.

¹³ Vgl. NOVAES, 1983; S.63-66.

Afro-Amerikanisch

Von den afrikanischen Kulturen kann man die verschiedensten Einflüsse definieren, jeweils nach Herkunft der Sklaven und der dort anzutreffenden Bauweisen. In den verschiedenen Anwendungen hat die komplexere Struktur der Bauweise eine größere Berücksichtigung gefunden. Besonderen Einfluss haben die Sklaven aus der Bevölkerung der *Quimbundus* und der Kultur der *Eve*, aus dem Golf von Guinea. Ein großer Teil dieser Bauten besteht aus einem Geflecht in Holz-Lehm-Bauweise, genannt *pau-a-pique*. Das Dach wird als Satteldach in der Holz-Lehm-Bauweise aufgebaut und mit trockenen Blattsegmenten ausgelegt. Abb. 03 zeigt ein Beispiel eines Hauses nach der *pau-a-pique* Bauweise.¹⁴



Abb. 03 Casa de Taipa, Ceará [WEIMER, 2005; S.146]

Portugiesisch-Germanische Häuser

Die germanischen Völker waren auf der iberischen Halbinsel vom 5. bis 8. Jahrhundert präsent. Als große Krieger haben sie damals schon robuste Festungen erbaut. Durch diesen Einfluss hat die populäre iberische Architektur den Fachwerkbau (Abb. 04) eingeführt, wo die Wände aus einer Holzstruktur mit Ziegeln ausgefacht sind. Diese Bauweise ist ein Hauptmerkmal einer germanischen Ansiedlung und wird durch die diagonalen Holzbalken charakterisiert. Diese Bauweise ist ebenfalls in der Region von Minas Gerais (Abb. 05) und in Bahia zu finden.

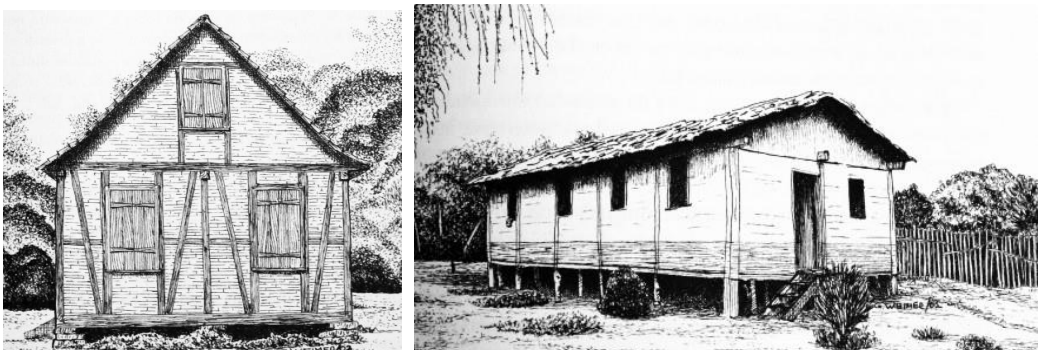


Abb. 04 Fachwerkbau im Süden Brasiliens und Abb. 05 Wohngebäude in Minas Gerais [WEIMER, 2005; S.33 und 89]

¹⁴ Vgl. WEIMER, G.; Arquitetura popular brasileira; Livraria Martins Fontes Editora; São Paulo; 2005; S. 115-152.

Portugiesisch- und nordafrikanischer Einfluss (Berber und Mauren)

Vom 8. bis zum 15. Jahrhundert bewohnten die Berber und Mauren die iberische Halbinsel und hatten in Portugal einen wichtigen Einfluss. Die Häuser der Berber wurden durch die klimatischen Bedingungen der Sahara beeinflusst und deshalb in Reihenbauweise konzipiert. Dies diente nicht nur wirtschaftlichen Zwecken, sondern auch dem Schutz der Plätze und Gehwege vor dem trockenen und heißen Wind. Die Gebäude hatten durch diese Bauweise wenige Öffnungen. Dieser Städtebau und diese Haustypologien wurden in Portugal unter dem Namen „Haus des Fischers“ (*Casa de Pescador*) übernommen und angepasst.¹⁵

Die Portugiesen führten dieses Haus während der Kolonialzeit in Brasilien unter dem Namen „Haus-mit-Tür-und-Fenster“ (*Casa de Porta-e-Janela*), später auch genannt als „ebenerdiges Haus“ (*Casa Térrea*) ein.

Diese Bauweise kann in Brasilien von Norden (Abb. 06) bis Süden (Abb. 07) als wichtigste Form der Besiedlung im Land bis zum Ende der Herrschaft Portugals über Brasilien angetroffen werden.

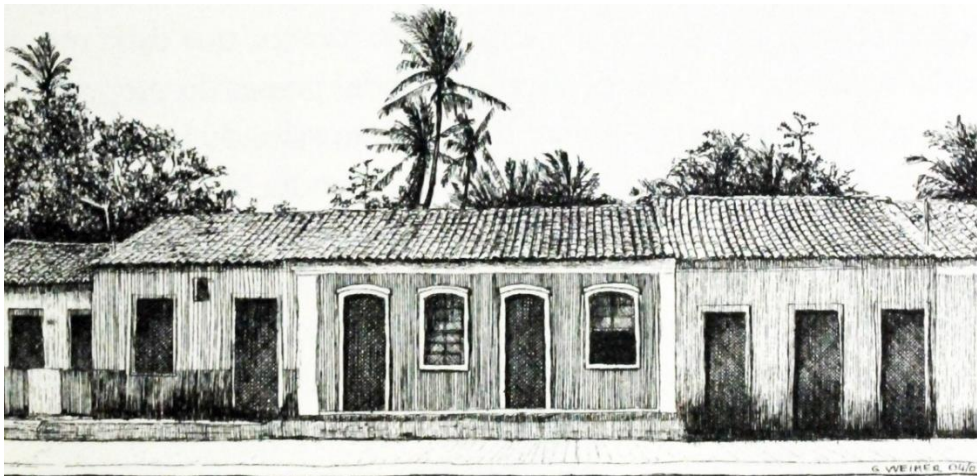


Abb. 06 'Porta e Janela' in Porto Seguro, Bahia [WEIMER, 2005; S.99]

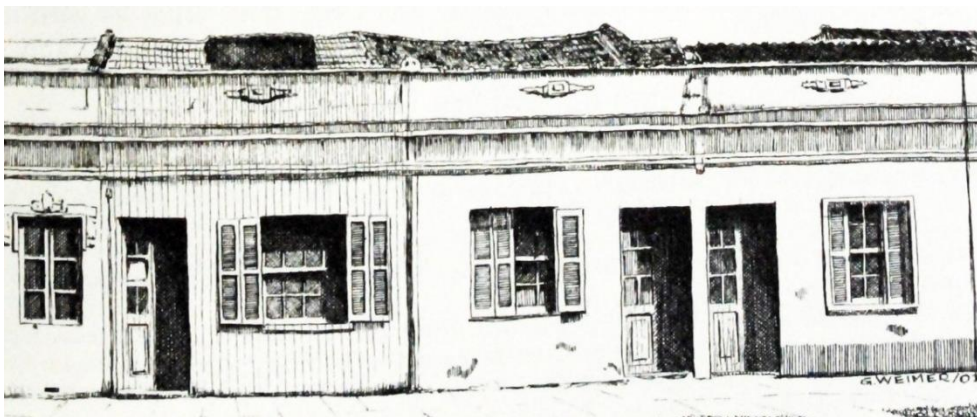


Abb. 07 'Porta e Janela' in Porto Alegre, Rio Grande do Sul [WEIMER, 2005; S.99]

¹⁵ Vgl. WEIMER, G.; *Arquitetura popular brasileira*; Livraria Martins Fontes Editora; São Paulo; 2005; S. 195-216.

Der koloniale Städtebau

Der eigentliche Beginn der Architektur und des Städtebaus in dem von den Portugiesen besiedelten Brasilien fällt etwa in die Zeit ab 1530. Diese Besiedlung oder Besetzung durch Portugal wurde durch die Aufteilung des Landes in 15 Landabschnitte mit eigener Verantwortung besiegelt. Erste Städte wurden gegründet wie zum Beispiel Igarapé und Olinda (ca. 1535 durch Duarte Coelho Pereira). São Vicente (heute als Bundesstaat São Paulo) wurde von Martim Afonso de Sousa im Jahr 1532 gegründet. Später, im Jahr 1549, wurde die Stadt Salvador durch Tomé de Sousa als Hauptsitz der Zentralregierung festgelegt. Die städtebaulichen Maßnahmen wurden durch die aus Portugal mitgebrachten Architekten Tomé de Sousa und Luís Dias geplant, einschließlich des Palastes der Regierung, der Kirchen, sowie die ersten Infrastrukturen und öffentlichen Plätze und eine Festungsanlage zum Schutz der Stadt.¹⁶ Der wichtigste Teil Salvadors, der den Palast, die Kirchen und die Wohnhäuser beinhaltet, wurde auf einem etwa 70,0 m ü.d.M. gelegenen Terrain erbaut. Direkt am Meer und damit im niedrigen Teil der Bucht wurde Handel und Schifffahrt angesiedelt.

Alle im 16. Jahrhundert gegründeten Städte wie Olinda (1535) und Rio de Janeiro (1565) wurden teilweise direkt am Meer oder in einem höher gelegenen Stadtteil gebaut und somit unterteilt in „Stadtteil hoch“ und „Stadtteil niedrig“ („*Cidade Alta* und *Cidade Baixa*“). Verwaltung und Wohnen, sowie Handel und Schifffahrt wurden voneinander getrennt gebaut. Dies sollte an die Planung der wichtigsten portugiesischen Städte erinnern, wie in Lissabon, in Porto und in Coimbra und hatte seinen Ursprung in der Antike und im Mittelalter. Wichtige Gründe waren die Verteidigung der Landabschnitte und der Städte, da laufend Angriffe und Aggressionen seitens der indigenen, der europäischen und anderer Nationen vorkommen konnten.

Im 18. Jahrhundert, Zeitalter des Goldes und der Mineralien, war im Staat Minas Gerais jene Elite der Baumeister und Planer versammelt, die bisher an der Atlantikküste gewesen war. Neue Städte wie Ouro Preto (Abb. 08), Sabará und Mariana waren von großem Einfluss und Wichtigkeit. Zu dieser Zeit wurden die Portugiesen gezwungen, nationale einheimische Truppen zu rekrutieren und zur Verteidigung einzusetzen. In diesen neuen Städten wurden wahrscheinlich die ersten brasilianischen Stadtplanungen ausgeführt und ein erstes Modell für Wohnungsbausiedlungen errichtet. Aus diesem ersten Impuls entstanden ähnliche Projekte für viele neue Städte, die unter dem Druck der Kolonialherren gegründet wurden.¹⁷ Die Stadt Diamantina (Abb. 09) wurde mit einer größeren Baufläche ausgelegt und hatte somit mehr Platz für Vegetation im Außenbereich der Häuser, um eine tropisch-südamerikanische Umgebung miteinzubeziehen.

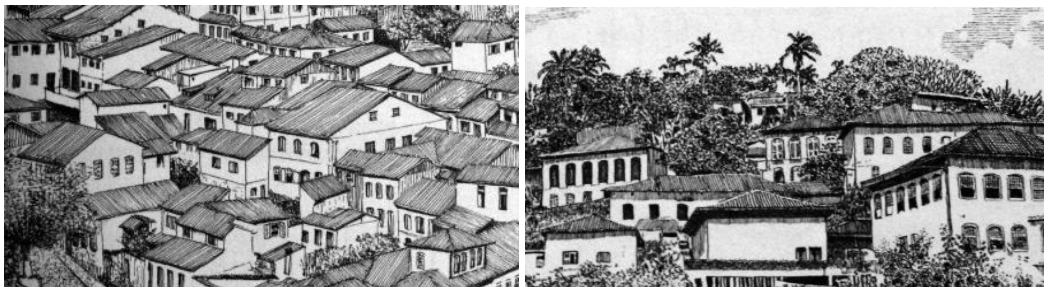


Abb. 08 Stadt Ouro Preto, Minas Gerais und Abb. 09 Stadt Diamantina, Minas Gerais [WEIMER, 2005; S. 305 und 306]

¹⁶ Vgl. VERÍSSIMO, F., Bittar, W.; "500 anos da casa no Brasil. As transformações da arquitetura e da utilização do espaço da moradia"; Rio de Janeiro: Ediouro Publicações S.A.; 2000; S. 13-19.

¹⁷ Vgl. HUE, Jorge de Souza; Uma visão da arquitetura colonial no Brasil; Rio de Janeiro: ed Agir; 1999; S. 163-166.

Die koloniale Architektur

Die koloniale Architektur wird in Brasilien als diejenige Architektur definiert, die im Zeitraum seit der Entdeckung des Landes durch die Portugiesen (etwa 1500) bis hin zur Unabhängigkeit im Jahr 1822 ausgeführt wurde. Während der Besiedlungsperiode haben die Portugiesen verschiedenste Stilepochen aus Europa auf ihre Kolonie übertragen. Dabei wurden die verschiedenen Strömungen den lokal zugänglichen Materialien und den sozialwirtschaftlichen Gegebenheiten angepasst. Die Kolonialbauten weisen unter anderem verschiedenste Einflüsse auf, wie zum Beispiel aus der Renaissance, dem Manierismus, dem Barock, dem Rokoko und dem Neo-Klassizismus. Im Verlauf der Jahrhunderte hat sich der Übergang zwischen den Stilarten sehr progressiv entwickelt, während die Klassifizierung der vorhandenen künstlerischen Stilrichtungen verschiedene Ansätze für eine Fachdiskussion bietet. Die Bedeutung des architektonischen und künstlerischen Erbes wird durch diverse Bauwerke aus dieser Epoche repräsentiert. Diese wurden als „*Patrimônio Mundial*“ von der UNESCO¹⁸ ausgezeichnet: zum Beispiel die historischen Stadtzentren von Salvador, Ouro Preto, Olinda, Diamantina, São Luís do Maranhão, Goiás Velho, die Wallfahrtskirche Bom Jesus de Matosinhos in Congonhas do Campo und die Ruinen der Jesuiten der Guarani-Missionen in São Miguel das Missões.

Während der Kolonialzeit gab es klare Vorgaben hinsichtlich der Grundstücksbegrenzungen für die Wohnarchitektur im Stadtgebiet. Dabei wurden alte portugiesische Traditionen mit entsprechenden Wohnhäusern berücksichtigt, die sich entlang der öffentlichen Straßen erstreckten. Dazu gab es eine klare Trennung zwischen Stadt- und Landhäusern. Es gab zum Beispiel keine Häuser mit vorgelagerten Gärten. Eventuelle Gärten oder Bepflanzungen sind in späterer Zeit dazugekommen und können bei den brasilianischen Wohnhäusern ab dem 19. Jahrhundert festgestellt werden¹⁹. Diese Regelung kommt von der ursprünglichen Idee der Definition eines öffentlichen Weges. In einer Zeit, wo die Straßen keine Bürgersteige hatten – es gab auch keine Fahrzeuge mit Regelungen zur Leitung des Verkehrs – konnte man Straßen ohne Gebäude ausschließen. Die Straßen funktionierten als Verbindungsglieder zwischen den Wohnblöcken. In dieser Zeit gab es noch kein topographisches Vermessungs-Instrument und die Straßenführung wurde mit Hilfe von Seilen und Pfosten markiert. Ohne die Errichtung von Gebäuden würden diese Markierungen nicht lange aufrechterhalten werden können. So wie die Grundstücke gleichermaßen aufgeteilt waren, so waren die Regelungen hinsichtlich der Architektursprache identisch: alle Häuser unterlagen den gleichen Bedingungen in der Bauausführung und mussten den staatlich festgelegten Vorgaben und dem Baurecht der Gemeinde folgen. Dazu zählten die Größe und die Anzahl der Öffnungen, die lichte Bauhöhe und die Ausrichtung zur Nachbarbebauung – alles das waren übliche Vorschriften des 18. Jahrhunderts. Hier zeigt sich die enorme Besorgnis mit der Zielsetzung, den portugiesischen Charakter in den brasilianischen Städten beizubehalten.²⁰

Kolonialhäuser

Das Haus „*Casa-de-Porta-e-Janela*“

Das Standardhaus bestand aus einem Haus mit einer Tür und einem Fenster, „*Casa-de-Porta-e-Janela*“, und einem Raumprogramm von: Wohnzimmer, Schlafzimmer, Küche und einer nach hinten angelegten, überdachten Veranda. Der Durchgang zum hinteren Bereich des Hauses

¹⁸ IPHAN - Patrimônio Mundial no Brasil; Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/culture/world-heritage/>> Abrufdatum: 16.06.2014.

¹⁹ Vgl. VERÍSSIMO, F., Bittar, W.; "500 anos da casa no Brasil. As transformações da arquitetura e da utilização do espaço da moradia"; Rio de Janeiro; Ediouro Publicações S.A., 2000; S. 21-24, 30-33.

²⁰ Vgl. REIS FILHO, Nestor Goulart. *Imagens de vilas e cidades do Brasil colonial*; São Paulo: EDUSP; 2001; S. 21-24.

erfolgte durch die Schlafzimmer. Dabei muss man bedenken, dass nur die Familie diesen Durchgang betreten durfte und außenstehende Personen nur der Zugang zum Wohnzimmer gewährt wurde²¹.

Das ebenerdige Haus „Casa Térrea“

Das Stadthaus „Casa Térrea“ gab es nur in einer Ausführung, die durch die Parzellierung der Grundrisse und der Umgebungsbedingungen definiert war. Die Grundstücke waren länglich und rechteckig ausgelegt, mit einer Tiefe von 5,0 bis 8,0 m. Die Häuser wurden in der Bauweise als Reihenhäuser angeordnet. Diese Struktur erlaubte keine Vorsprünge und Vorgärten. Die Anordnung der Häuser zueinander war statisch durch die technisch ungenügende Bauweise und den zur Verfügung stehenden Baumaterialien bedingt. Für mögliche Schäden durch Regenfälle auf den äußeren Fassadenflächen – bei überwiegender Lehmnutzung – musste anhand ausreichender Überdachung oder Vordächer usw. und einer fugenlosen und bündigen Verbindung von Dächern und Zwischenwänden Vorsorge getroffen werden²².

Die urbanen Haustypologien bestanden aus einem ebenerdigen Haus, die „Casa-de-Porta-e-Janela“ (Abb. 10 und 11), später genannt als „Casa Térrea“ sowie einem 2-stöckigen Haus, genannt „Sobrado“, letzteres benutzt als Wohngebäude, als Geschäftsgebäude oder einer Mischnutzung. Das Erdgeschoss wurde für Geschäftszwecke oder für die Unterbringung von Sklaven und Tieren benutzt²³. Wenn man dem Prinzip von Vauthier²⁴ glaubt, „wer ein Haus in Brasilien gesehen hat, hat alle gesehen“, könnte man auf die Forschungsarbeiten von Paulo Thedin Barreto²⁵ verweisen und die Haustypen im Bundesstaat Piauí auf das übrige Brasilien übertragen.

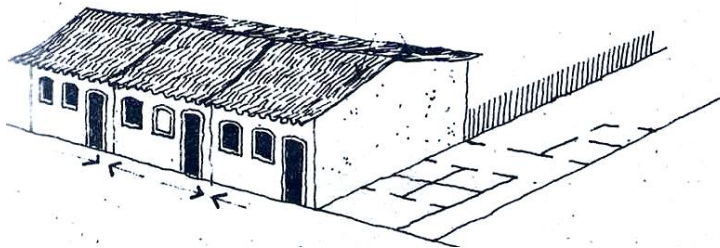


Abb. 10 Straßenverlauf während der Kolonialzeit [REIS FILHO, 1970; S. 31]

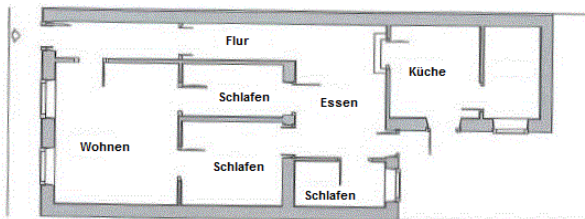


Abb. 11 Grundriss eines Kolonialhauses „Casa de Porta e Janela“ [BROSS, 2002; S. 139]

²¹ Vgl. REIS FILHO, Nestor Goulart. *Imagens de vilas e cidades do Brasil colonial*. São Paulo: EDUSP, 2001, S. 28, 29.

²² Vgl. REIS FILHO, 2001; S. 214-216.

²³ Vgl. BARRETO, Paulo Thedin; *O Piauí e a sua arquitetura*. In: *Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN*. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975, S. 195-198.

²⁴ Vgl. VAUTIER, L. L. *Casas de residência no Brasil*. In: *Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN*. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975, S. 3-5 und S. 37.

²⁵ Vgl. BARRETO, 1975; S. 191-219.

1.2 Wohnungsbaudefizit in Brasilien

Eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Gesellschaften ist die Verbesserung der Lebensqualität der Bevölkerung, besonders in den Entwicklungsländern.

Die Wohnungsbausituation Brasiliens stellt sich als größtes soziales Problem der Gesellschaft dar. Sowohl in den großen Stadtzentren, mit ihrem großen Anteil an Armenvierteln, als auch in den einkommensschwachen Gebieten im Inneren des Landes ist die Dimension dieser Problematik klar zu erkennen. Die Armut spiegelt sich in der ungenügenden Wohnsituation und -struktur wieder. Die Definition des Wohnbaudefizits ist in Brasilien etwas komplexer. Die normalerweise durch die Regierung benutzte Darstellung der Wohnbaudefizite beruht darauf, diejenige Menge der nicht vorhandenen Wohneinheiten aufzuzählen, die notwendig sind, um die Nachfrage der gesamten Bevölkerung zu decken. Weiter werden die Defizite an Wohneinheiten durch Beschreibung ihres qualitativen Wohnstandards, ihrer städtebaulichen Einbindung und ihrem Anschluss an die öffentlichen Dienste definiert.

In der Zeit von 1921 bis 1927 wurden enorme Anstrengungen unternommen, die durch den Krieg steigenden Mietpreise und die allgemeine Wohnbaukrise unter Kontrolle zu bekommen. Durch das neu eingeführte Mietrecht²⁶ konnten Preissteigerungen verhindert werden. Die Zielsetzung dieser Gesetze wurde von den Vermietern umgangen, weil die Eigentümer ihren Mietern kündigen und danach ihre Mieten erneut erhöhen konnten. In dieser Zeit wurden Arbeiterviertel als erste große Wohnbausiedlungen in Brasilien gebaut.²⁷ Diese von den Unternehmen errichteten Wohnsiedlungen wurden ihren Arbeitern und Angestellten unter günstigen Mietbedingungen oder sogar ohne Berechnung zur Verfügung gestellt. Für die Unternehmen handelte es sich um das Angebot eines angemessenen und nahegelegenen Wohnraumes, um seitens der Arbeiter, Unzufriedenheit und Widerstand nicht aufkommen zu lassen. In Wirklichkeit haben sich aber die Industrien und Unternehmen als Investoren gefühlt und die Arbeiterwohnungen gewinnstrebtend weitervermietet.

Zwischen 1945 und 1980 wurde eine grundlegende Veränderung der produktiven Leistung des Landes vollzogen. Durch die Krisen des zweiten Weltkrieges erfolgte auch in Brasilien eine Beschleunigung der Industrialisierung, begleitet von einer Modernisierung der Produktionsprozesse. Das wachsende Beschäftigungsangebot verursachte eine Landflucht zu den großen Städten und den Produktionszentren. Dementsprechend ergaben sich für die Stadtentwicklungen Defizite aller Art in Versorgung und Infrastruktur.²⁸ Zu diesem Zeitpunkt wurden durch die Regierung erste Finanzierungsmöglichkeiten zum Kauf eines eigenen Hauses oder einer Wohnung geschaffen. Von der Bank „CAIXA Econômica Federal“ und einem Pensionsfond der Regierung wurde 1946 eine Stiftung zum Hauserwerb („FCP - *Fundação da Casa Popular*“) gegründet. Diese Stiftung versuchte einen wesentlichen Beitrag zur Minderung des Wohnbaudefizits der Bevölkerung zu leisten, die keinen Zugang zur staatlichen Altersversorgung hatten. Dadurch wurde eine Finanzierung oder ein Erwerb der Wohneinheiten möglich gemacht. Weitere Finanzierungen gingen an die Stadtverwaltung und an die Bauunternehmen zur Planung und dem Bau von sozialen Wohnbausiedlungen. Die FCP konnte nicht nur als Bauherr sondern auch als Bauleiter agieren, um Planung und Bau von Wohneinheiten auszuführen und abzunehmen. Einen nennenswerten Beitrag zur Minderung des

²⁶ BRASIL. Presidência da República. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei No 8.245, de 18 de Outubro de 1991. Dispõe sobre as locações dos imóveis urbanos e os procedimentos a elas pertinentes. Dokument abrufbar unter: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8245.htm> Datum der Veröffentlichung: 18.10.1991 Abrufdatum: 20.11.2015.

²⁷ Vgl. BONDUKI, N.; Origens da habitação social no Brasil. 2 ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1999; S. 54-56.

²⁸ Vgl. BONDUKI, N. (Ed.); Andrade, C.R.M.; Bonduki, N.; Rossetto, R.; Arquitetura & Habitação Social em São Paulo 1989-1992; São Carlos: USP; Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Arquitetura e Planejamento; 1993; S. 10, 11.

Wohnbaudefizits konnte die Stiftung nicht leisten, da in dem Folgezeitraum von 20 Jahren nicht mehr als 17.000 Wohneinheiten erstellt wurden.²⁹ Trotz allem gilt die Stiftung als erste nationale Einrichtung, die sich der Problematik der Wohnbaudefizite angenommen und Wohneinheiten für die Bevölkerung mit Niedrigeinkommen erstellt hat. Zudem hat sie die Wichtigkeit dieser nationalen Problematik in der Verantwortung des Staates aufgezeigt.

Im Jahre 1963 wurde durch die sogenannte Architektenkammer während eines Wohnungs- und Städtebauseminars eine radikale Änderung der Stadtplanung und des Wohnungsbaus gefordert, die später zur Gründung einer Art Bausparkasse („*BNH – Banco Nacional da Habitação*“) führte. Im Verlauf von 22 Jahren finanzierte diese Sparkasse 4,8 Millionen Wohnungen. Das sind 25% der gesamten seit Beginn des sozialen Wohnungsbaus zur Verfügung stehenden Wohneinheiten. Durch dieses Programm wurden Neubauten für alle gesellschaftlichen Schichten finanziert, wobei nur 20% der Familien mit Niedrigeinkommen berücksichtigt wurden.³⁰ Die meist nicht qualitätsgerechten und außerhalb der Stadtzentren gelegenen sozialen Wohnbausiedlungen wiesen geringe Lebensqualität auf, u.a. durch die am Stadtrand gelegenen Siedlungen ohne eine Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr.

Die Problematik der Wohnungsbaudefizite hat in Brasilien ab 1990 etwa eine neue Dimension erreicht. Die Unregelmäßigkeiten und die unzureichende Landerschließung der Wohngebiete für die untersten Bevölkerungsschichten gehen mit der ungenügenden Erweiterung der Infrastruktur und den fehlenden städtischen Dienstleistungen der Grundversorgung einher. Ungelöst ist weiter auch die Transportproblematik zur Erreichbarkeit der neuen Wohngebiete mit Bahn und Bus. Weiter fehlt es an Kläranlagen, die eine zunehmende Umweltverschmutzung verhindern könnten. Landbesitzkonflikte und die Vertreibung von den unrechtmäßig besetzten Flächen durch die Staatsgewalt sorgen für Gewaltanwendung durch alle Beteiligten.³¹

Im Jahre 2003 wurde von der Regierung das Städtebauministerium („*Ministério das Cidades*“) eingeführt und erfüllte damit eine wichtige Forderung der sozialen Bewegungen zur Reform des Städtebaus. Zur Bekämpfung der sozialen Unterschiede sollte die Stadtplanung menschlicher werden und den Besitz einer eigenen Wohnung ermöglichen. Schwerpunkte des Ministeriums sollten der Wohnungsbau sein, die Umweltkontrolle und seine Gesetzgebung, sowie die Planung für ein ausreichendes Verkehrsnetz im Allgemeinen.

In einer Unterabteilung des Ministeriums („*Secretaria Nacional de Habitação*“) werden die Ausführungsbestimmungen zum Städte- und Wohnungsbau kontrolliert, insbesondere die Verpflichtungen des Staates zur Überwachung der Finanzierungsverträge und ihrer Anwendungen für die verschiedenen Bevölkerungsschichten. Dabei werden besondere Bedingungen für die untersten Einkommensgruppen angewendet.³²

Die Schaffung eines speziellen Ministeriums für Städtebau scheint auf den ersten Blick einen fortschrittlichen und positiven Charakter zu haben, erweist sich aber aus der Sicht des Wohnungsbaus als Schwächung, da die *Caixa Econômica Federal* als erstes Ausführungsorgan und als für die Finanzierungen verantwortliche Bank dem Finanzministerium, *Ministério da Fazenda*, unterstellt ist. Auch wenn das Ministerium für Städtebau für die Wohnungsbaupolitik

²⁹ Vgl. FERREIRA, A. R.; Schmidt, Prof. Dr. C.; *Programas e combate ao déficit habitacional brasileiro*; Trabalho de conclusão Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; 2009; Dokument abrufbar unter: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25348/000737944.pdf>>; Abrufdatum: 16.07.2015; S. 15, 16.

³⁰ Vgl. CHAFFUN, N., "Dinâmica Global e Desafio Urbano". Bonduki, Nabil (org.). *Habitat. As práticas bem sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*; São Paulo: Studio Nobel; 1996; S. 18-37.

³¹ Vgl. BONDUKI, N. (Ed.); Andrade, C.R.M.; Bonduki, N.; Rossetto, R.; *Arquitetura & Habitação Social em São Paulo 1989-1992*; São Carlos: USP; Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Arquitetura e Planejamento; 1993; S. 9.

³² BONDUKI, N. *Habitat: as práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*. São Paulo: Studio Nobel, 1997.

verantwortlich zeichnet, untersteht der *Caixa* mit ihrem großen Einflussbereich und mit ihrem Filialnetz in ganz Brasilien die alleinige Durchführung und Verantwortung für Finanzierungen und Abwicklungen der Wohnbausiedlungen.³³

Wohnungsbaufdefizit Brasilien 2012

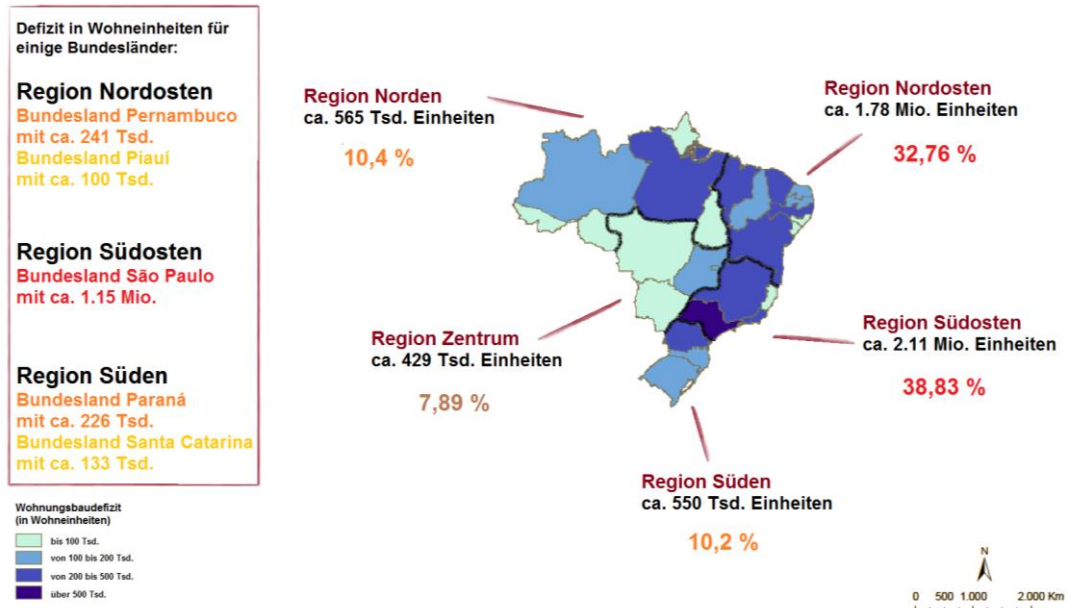


Abb. 12 Wohnungsbaufdefizit in Brasilien; Statistik aus dem Jahr 2012 [FJP, 2015; Statistik und Daten auf S. 36 und 99]

Soziales Wohnungsbauprogramm

Das Wohnungsbaufdefizit zieht sich seit der portugiesischen Herrschaft durch die Geschichte Brasiliens und führte damals zum Bau der ersten ungeordneten *Favelas* (Elendssiedlungen) an der hügeligen Stadtlandschaft von Rio de Janeiro. In der gesamten Vergangenheit hatten wenige Maßnahmen durch die Landesregierungen Erfolg, um die soziale und wirtschaftliche Entwicklung für die Stadtgebiete neu zu definieren. Durch die Politik wurden die Probleme möglichst minimisiert – keiner der Politiker konnte einen Erfolg bei der Suche nach den eigentlichen Ursachen des Wohnungsbaufdefizites des Landes verbuchen. Unter der Neuausrichtung der Wohnungsbaupolitik wurden durch die Regierung ab 2009 gesetzliche Maßnahmen und Voraussetzungen geschaffen, ein neues Wohnungsbauprogramm für bedürftige Familien einzuführen: „Programm – Mein Haus, Mein Leben“ (*PMCMV – Programa Minha Casa, Minha Vida*). Durch einen nun möglichen Hausbesitz sollte eine Verbesserung der Wohn- und Lebensqualität möglich gemacht werden³⁴.

³³ Vgl. BONDUKI, N. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula.; Revista eletrônica de Arquitetura e urbanismo,1.; São Paulo; 2008; Dokument abrufbar unter: <http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf>; Veröffentlichung:18.09.2008;Abrufdatum:18.10.2015; S.96-99.

³⁴ SILVA, Luís Inácio Lula da; Discurso do lançamento do Programa Minha Casa no dia 10.12.2009; Dokument abrufbar unter: <<http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/ex-presidentes/luiz-inacio-lula-da-silva/discursos/2o-mandato/2009/2o-semestre/10-12-2009-discurso-do-presidente-da-republica-luiz-inacio-lula-da-silva-durante-cerimonia-de-assinatura-de-contratos-do-programa-minha-casa-minha-vida/view>> Abrufdatum: 08.07.2012.



Abb. 13 Siedlung eines sozialen Wohnungsbauprogramms in der Stadt von Sinop, Bundesland Mato Grosso
 [http://www.olhardireto.com.br/imgsite/noticias/daury_riva.jpg, Alexandre Alves aus Sinop; Aktualisiert am 15.05.2012]

Als wichtigstes ausführendes Organ wurde die staatliche Bank, „CAIXA Econômica Federal“ eingesetzt, die auch in der Vergangenheit – gelenkt von der Regierung – durch soziale Maßnahmen die Lebensbedingungen der ärmsten Bevölkerungsschichten zu verbessern versucht hat. Die Anwendung des Programms erfolgt unter zwei Kriterien, in dem zum einen die Wohneinheiten von der Caixa in Verantwortung der Regierung gebaut werden, unter einem Zinssatz „Null“ für Familien mit einem Einkommen bis zu 3 Mindestgehältern. Als zweites Kriterium werden Familien mit einem Einkommen bis zu 10 Mindestgehältern betrachtet, wobei für verschiedene Einkommensklassen verschiedene Zinssätze gelten. Die Familien haben die Möglichkeit ihren eigenen Wohnungs- und Haustyp auszuwählen, sofern dieser mit der Auslegung des Programmes übereinstimmt.³⁵

Als Zielsetzung hat das Programm bis 2020 den Bau von 7 Millionen Wohneinheiten, auch „Casa Popular“ genannt, festgelegt. Drei Millionen Häuser sind schon unter Vertrag genommen, davon sind 1,7 Millionen schon fertiggestellt und den Bewohnern übergeben worden. Fast eine halbe Million Häuser sind noch in Planung. Die Verteilung dieses Programmes orientiert sich nach den Einkommensverhältnissen der Bevölkerung³⁶:

- 1.200.000 Wohneinheiten für Familien mit einem Gesamteinkommen von 3 Mindestgehälter (1 Mindestgehalt entspricht 788,00 R\$ = ~240,00€ Stand: 01.01.2015³⁷);
- 1.200.000 Wohneinheiten für Familien mit einem Gesamteinkommen zwischen 3 und 6 Mindestgehältern;

³⁵ Vgl. FERREIRA, A. R.; Schmidt, Prof. Dr. C.; Programas e combate ao déficit habitacional brasileiro.; Trabalho de conclusão Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; 2009; Dokument abrufbar unter:<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25348/000737944.pdf>; Abrufdatum: 16.07.2015; S. 61-65.

³⁶ CAIXA; Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter:<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>; Abrufdatum: 08.07.2012.

³⁷ EUBANK; EUropean Central BANK <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-brl.en.html> Datum der Veröffentlichung: 01.01.2015 Abrufdatum: 02.08.2015.

-
- 600.000 Wohneinheiten für Familien mit einem Gesamteinkommen zwischen 6 und 10 Mindestgehältern.

Obwohl das Wohnungsbaufizit durch diese Planung nicht ausreichend abgedeckt wird, wird dieses Programm erstmals von der Zentralregierung verantwortet, bzw. vom Ministerium des Städtebaus Brasiliens. Als Partner für die Verwaltung und Kontrolle des Programmes wurde die staatliche Bank „CAIXA Econômica Federal“ bestimmt. Zu den Zielen des PMCMV³⁸ kann man folgendes zusammenfassen:

- a) Behebung der Problematik der Kanalisation, Wasser- und Stromversorgung für schon bestehenden Wohneinheiten, durch Neubau oder Ersatzinvestitionen der Regierung;
- b) Regelung der Besitzverhältnisse von bestehenden Häusern und Siedlungen auf besetzten Grundstücken oder öffentlichem Gelände durch Kostenminimierung bei der staatlichen Registrierung und der Grundbucheintragung bei den Kommunen;
- c) Größeres Angebot von den durch die Baufirmen schon fertiggestellten Wohneinheiten mit einem erleichterten Zugang zu den Mittel der Bank und dem Fond der Stiftung;
- d) Einschränkungen bei Finanzierungsmöglichkeiten für finanzkräftige Schuldner und stärkere Unterstützung für die ärmeren Bevölkerungsschichten, besonders für die Familien mit einem monatlichen Grundeinkommen bis zu 3 Mindestgehältern und ohne Geldreserven des gesetzlichen Rücklagefonds für Arbeiter und Angestellte;
- e) Festlegung von technischen und konstruktiven Vorgaben der Wohneinheiten unter folgenden Kriterien:
 - Baupläne mit einem Minimum an Vorgaben zu den Raumkonzepten;
 - Mengenangaben von Wohneinheiten pro Stadtbezirk oder Siedlung;
 - Planung einer ausreichenden Infrastruktur, Transport-, Zugangsmöglichkeiten und Versorgung als Voraussetzung für die Genehmigung der Projekte und der Freigabe von Geldmitteln.

Nach der internationalen Finanzkrise hat Brasilien ab 2007 die Initiative ergriffen, durch forcierte Bauprogramme eine Belebung verschiedener Wirtschaftssektoren einzuleiten³⁹. Die Bauwirtschaft beschäftigt in Brasilien eine große Anzahl manueller Arbeitskräfte, die durch dieses Programm Beschäftigungsgarantien erhalten haben. Außerdem trägt die Bauwirtschaft in Brasilien einen wichtigen Anteil am Brutto-Sozial-Produkt (*PIB-Produto Interno Bruto*) bei. Über die Ausschreibungen der Wohnsiedlungen verpflichtet die Bank Caixa entsprechende Baufirmen. Weiter ist sie verantwortlich für die Fertigstellung und die Übergabe der Wohneinheiten. Die fertiggestellten Bauten gehören bis zum Ende der Finanzierung einer Stiftung der Regierung, genannt „FAR⁴⁰ – Fundo de Arrendamento Residencial“.

Seit der Einführung des Programmes im Jahr 2009 entwickelt sich zunehmend öffentliche Kritik zu den Unstimmigkeiten bei der Ausführung der Projekte. Ein Artikel in der Zeitschrift „*Retrato do Brasil*“⁴¹ führt aus, dass das Programm nicht durch die Regierung, sondern durch die große Lobby

³⁸ Vgl. D'AMICO, Fabiano; O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal; Rio de Janeiro : Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento: Caixa Econômica Federal, 2011, Dokument abrufbar unter: <[http://centrocelsofurtado.com.br/arquivos/ image/ 201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf](http://centrocelsofurtado.com.br/arquivos/image/201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf)> Abrufdatum: 15.10.2012, S. 47, 48.

³⁹ Vgl. CANUTO, E.M.A.; Canuto, A.F. et Vlach, V.R.F. Políticas públicas e cidadania no Brasil. In: II Simpósio Internacional sobre Cidades Médias. Anais do II Simpósio Internacional sobre Cidades Médias. Uberlândia, LAPUR/UFU, 2005, S. 1-11.

⁴⁰ FAR - Especificações Mínimas para uma Casa do Programa Minha Casa Minha Vida / FAR <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/programas-uniao/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>> Datum der Veröffentlichung: 09.10.2011, Abrufdatum: 08.08.2012.

⁴¹ Vgl. RETRATO do Brasil; Reportagem: Um plano para Dilma - O “Minha casa minha vida” pode até levar a ministra à Presidência. Mas é ruim: fortalece a concentração de capitais no setor e agrava a dependência da economia brasileira.; No 23; 2009; Dokument abrufbar unter: <http://www.oretratodobrasil.com.br/revista/RB_23/pdf/RB23_parcial.pdf>; Abrufdatum: 10.08.2015; S. 6-8.

der Bauunternehmen idealisiert wurde. Im Widerspruch zu der von der Politik verbreiteten Propaganda zum Wohnungsbaupolitik, wurde eher die Schaffung von Arbeitsplätzen, eine Einkommenssteigerung und eine bessere wirtschaftliche Entwicklung des Landes angestrebt. Erst zweitrangig wurde das Thema zur Bewältigung des Wohnungsbaufizites angesprochen und in diesem Sinne die politisch-wirtschaftlichen Aspekte den sozialen Bedürfnissen voran gestellt.⁴²

Die Erstellung von sozialen Wohnungsbausiedlungen kann nicht nur die Menge und Bereitstellung einer Wohneinheit beinhalten. Wichtige Anbindungen, z.B. an die regionale Infrastruktur werden bei der Implementierung dieser Siedlungen vernachlässigt und verursachen zusätzliche Kosten bei der Versorgung durch Gesundheits- und Bildungseinrichtungen. Die Ausführung des Programms unter diesen Kriterien erinnert an die vor Jahrzehnten weit außerhalb der Stadtzentren erstellten Siedlungen des *BNH* Programmes.⁴³ Die unkritische Standortauswahl, die Auslegung der Wohneinheiten innerhalb der Siedlungen und die kostenbedingt baulich ungenügende Ausführung der Haustypologien erstrecken sich über die gesamte Landfläche Brasiliens, ohne die oft unterschiedlichen klimatischen, sozialen und auch kulturellen Gegebenheiten zu berücksichtigen.⁴⁴ Das Streben nach Ergebnisorientierung unter geringen Baukosten hat Qualitätsmängel der Wohnbauten zur Folge, sodass neuerrichtete Häuser innerhalb einer Siedlung teilweise oder ganz abgerissen und neu aufgebaut werden müssen. Die Umstände der nur auf Menge ausgelegten Massenproduktion in kürzesten Zeiträumen und unter minimalen vorgegebenen Kosten ergeben schwere Defizite für die Qualität und Ausführung der Wohnbauten, Resultat der politisch kritischen Aussage des Programms „*Minha Casa Minha Vida*“ für das ins Auge gefasste Wählerpotenzial, unter dem propagandistischen Motto „Häuser für alle“ und „Häuser ohne Ende, für jeden“.⁴⁵

Folgende Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich Qualität und Bauausführung werden diskutiert:

- 1) Untersuchung durch Monitoring von schon fertig-erstellten und bewohnten Wohneinheiten des Programms *PMCMV* mit Hinblick auf die architektonische Qualität und Konzeption, die technisch-konstruktive Ausführung und die Verbindung und Einbettung des Hauses in die Umgebung, um Korrekturmaßnahmen zu erarbeiten, die sich insgesamt auf die Bauausführung der Wohneinheiten beziehen.⁴⁶
- 2) Neuauslegung von architektonischen und baulichen Ansätzen, um für die Bewohner langfristig positive Kriterien für ein behaglich-zufriedenes Innenraumklima zu erzeugen.⁴⁷

⁴² Vgl. ROMANELLI, C.; Avaliação ambiental estratégica como instrumento para implantação de programas habitacionais-um estudo sobre o Minha Casa Minha Vida.; Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-10032014-154512/pt-br.php>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 15-17.

⁴³ Vgl. MARICATO, E.; A terra é um nó na sociedade brasileira...também nas cidades urbanas. Carta Capital; São Paulo; No. 570; 2009; Dokument abrufbar unter: <http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/maricato_terranosociedadebrasileira.pdf>; Abrufdatum: 20.11.2015; S.45.

⁴⁴ Vgl. FRANÇA, M.; Abiko, A. K.; Minha Casa Minha Vida: uma avaliação preliminar.; Anais da 13a Conferência Internacional da LARES - Latin American Real Estate Society.; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: <<http://lares.org.br/Anais2013/artigos/895-1041-1-SP.pdf>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 1-10.

⁴⁵ Vgl. KRAUSE, C.; Balbim, R.; Neto, V. C. L.; Minha Casa Minha Vida, nosso crescimento: Onde fica política habitacional?; Texto para Discussão No 1853, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); 2013; Dokument abrufbar unter: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1853.pdf>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 34-44.

⁴⁶ Vgl. FRANÇA, M.; Abiko, A. K.; Minha Casa Minha Vida: uma avaliação preliminar.; Anais da 13a Conferência Internacional da LARES - Latin American Real Estate Society.; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: <<http://lares.org.br/Anais2013/artigos/895-1041-1-SP.pdf>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 1-10.

⁴⁷ FERREIRA, J. S. W.; Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil Urbano.; Editora FUPAM. 1ª Ed.; São Paulo; 2012; Dokument abrufbar unter: <http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/ferreira_2012_produzirhab_cidades.pdf>; Abrufdatum: 10.11.2015.

1.3 Klimata Brasiliens

Durch seine Größe und die fast kontinentale Ausdehnung trifft man in Brasilien die verschiedensten Klimaverhältnisse an (Abb. 14). Dementsprechend müssen die Gebäude diese Herausforderung in geeigneter Form gerecht werden und auch mögliche Veränderungen dieser klimatischen Bedingungen berücksichtigen.

Grundsätzlich kann man das Klima mit drei verschiedenen Begriffen eingrenzen: Makroklima, Mesoklima und Mikroklima⁴⁸.

Makroklima: die Variablen werden durch meteorologische Stationen gemessen und beschreiben die allgemeinen Charakteristiken einer Region für Sonneneinstrahlung, Bewölkung, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge.

Mesoklima: die Merkmale beziehen sich auf die Umgebung eines Gebäudes, wie zum Beispiel in einer Küstenregion, im Hinterland, in Wäldern oder Tälern, in Stadtgebieten oder Gebirgen. Die dort anzutreffenden Variablen beeinflussen das lokale Klima über die Vegetation, die Topografie, die Bodeneigenschaften und über natürlich oder künstlich geschaffene Einflussfaktoren.

Mikroklima: besitzt ähnliche Eigenschaften wie die des Mesoklimas, ist aber auf die nähere Umgebung eines Gebäudes beschränkt und kann durch die Architektur beeinflusst oder verändert werden.

Für das Konzept eines neuen Projektes müssen die variablen Einflüsse und die klimatischen Merkmale in der Planung berücksichtigt werden. Über diese Adaptierung und Optimierung der Architektur kann die Energieeffizienz für das Wohlbefinden der Bewohner verbessert werden.



Abb. 14 Brasilien Karte im Vergleich zu Deutschland [IBGE 2014; Statistik und Daten mit Stand 2014]

⁴⁸ Vgl. LAMBERTS, R; Dutra, L; Pereira, F.O.R., Eficiência Energética nas Edificações. PW Editores, Patrocínio PROCEL, São Paulo, 1997, S. 24 f., S. 34, 35.

1.3.1 Klimata Brasiliens nach Köppen-Geiger

Das Weltklima ist nach Köppen-Geiger⁴⁹ im Wesentlichen in fünf Klimazonen einzuteilen:

(A) Äquatoriales Klima – (B) Arides Klima – (C) Warmgemäßigtes Klima – (D) Schneeklima und E) Polares Klima (Abb. 15). In mehr als der Hälfte der Fläche Brasiliens herrscht das Klimagebiet A, u.a. im Norden am Äquator entlang mit einem tropischen Klima; im Nordosten und im Inneren des Landes liegt ein geringflächiges Klimagebiet B mit einem Trockenklima und im Süden Brasiliens herrscht vorwiegend ein gemäßigtes Klima mit dem Klimagebiet C.

Eine feinere Klassifizierung der fünf oben genannten Klimazonen wird durch einen zwei- und dreistelligen Buchstabencode gekennzeichnet. Der erste Buchstabe steht für die Definition der Klimaregion, in den zweiten und dritten Buchstabe gehen die globalen Verteilungen von Pflanzen und deren Adaption an vorherrschende Wärme- und Feuchteverhältnisse wie die Niederschlagsmenge und die Temperaturverhältnisse als Parameter ein. Genauere Berechnungsmethoden sind bei Kottek⁵⁰ zu finden. In Brasilien herrschen folgende Klimazonen:

- Af: Tropische Klimate / alle Monate ausreichend Niederschlag
- Am: Tropische Klimate / Urwaldklima trotz Trockenzeiten
- Aw: Tropische Klimate / Trockenzeit im Winter
- BWh: Trockenklimate / Wüstenklima / heißes Trockenklima
- BWk: Trockenklimate / Wüstenklima / kaltes Trockenklima
- BSh: Trockenklimate / Steppenklimate / heißes Trockenklima
- Cwb: Warmgemäßigte Klimate / Trockenzeit im Winter / warme Sommermonate
- Cwc: Warmgemäßigte Klimate / Trockenzeit im Winter / kühle Sommermonate
- Cfa: Warmgemäßigte Klimate / ausreichend Niederschlag im Jahr / heiße Sommermonate

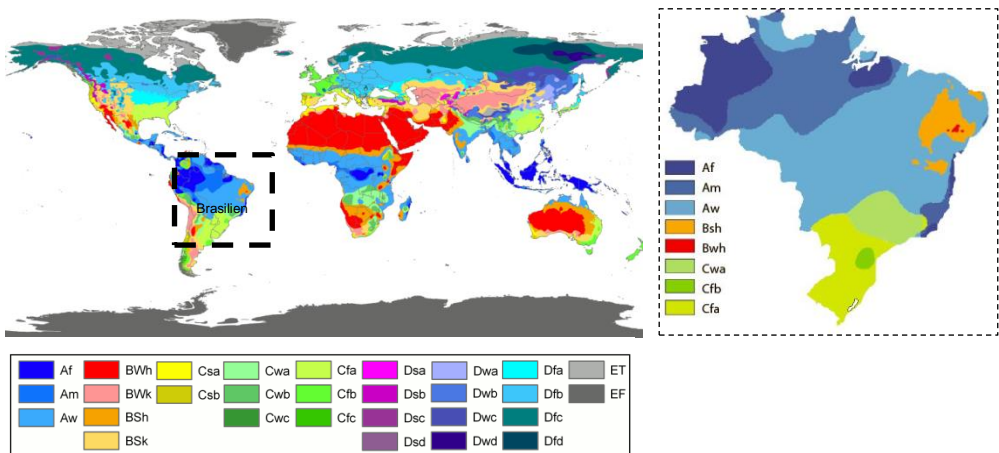


Abb. 15 Klassifizierung des Weltklimas nach Köppen-Geiger; Vergrößerung Brasilien [KOTTEK, 2006; S. 261]

⁴⁹ KÖPPEN, W.: The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and of the impact of heat on the organic world, Meteorol. Z., 1, 215-226 (translated and edited by Volken, E. and S. Brönnimann). Meteorologische Zeitschrift, Volume 20, S. 351-360. Dokument abrufbar unter <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1884.pdf> Abrufdatum: 19.06.2013.

⁵⁰ KOTTEK, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorologische Zeitschrift, Volume 15, Nummer 3, 2006, S. 259-263. Dokument abrufbar unter <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf> Abrufdatum: 19.06.2013.

1.3.2 Klimazonen Brasiliens nach Norm ABNT NBR 15220-3

Mit den Kriterien der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3⁵¹ (Abb. 16) hat man die Voraussetzungen geschaffen, Brasilien in acht bioklimatische Zonen aufzuteilen. Insgesamt wurden 330 Städte (Anlage A⁵²) repräsentativ nach ihrem Klima untersucht. Die Einteilung⁵³ der Zonen erfolgte unter den Kriterien der mittleren Lufttemperatur, der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit und unter der Betrachtung ihrer Höhenlage über dem Meeresspiegel. Die Städte, die nicht in der Tabelle der Normstädte erscheinen, können durch die nächstgelegenen Städte mit ähnlicher Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und mit der gleichen Höhe ü.d.M. ersetzt werden. Als Mitautor der Norm hat Prof. Dr. Maurício Roriz⁵⁴ das Programm ZBBR – *Zoneamento Bioclimático do Brasileiro* – abgeleitet, mit einer Interpolation weiterer +/- 5.200 Städte mit ihren Charakteristiken in der betreffenden Klimazone. (Abb. 17)

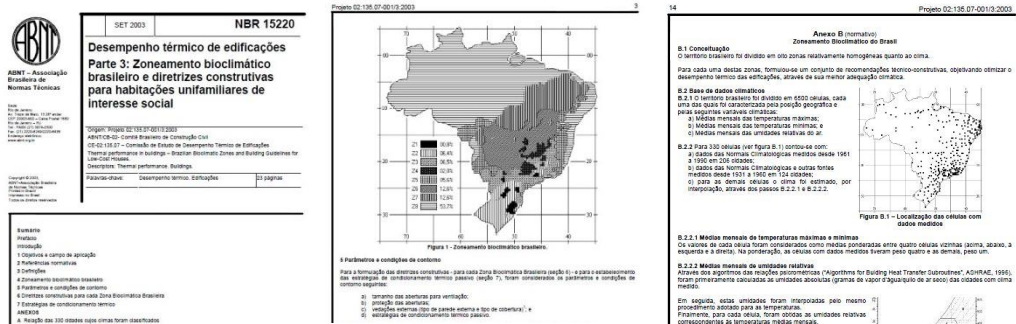


Abb. 16 Norm ABNT NBR 15220 Wärmeschutz von Gebäuden [ABNT, 2005; S. 1, 3 und 14]

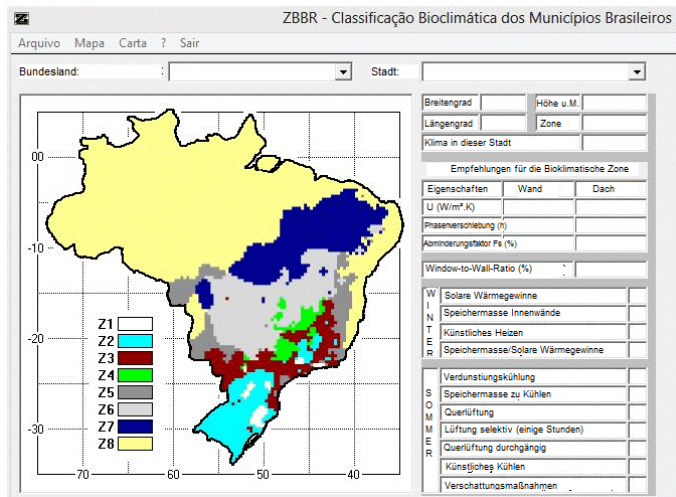


Abb. 17 Bioklimatische Zonierung des Programms ZBBR [RORIZ, 2006; Fensterabbild des Programms]

⁵¹ ABNT; Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto Q2:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Aburdatum: 21.01.2012.

⁵² Siehe Anlage A, S. 190 f.

⁵³ Vgl. ABNT, 2003; S.14 ff.

⁵⁴ RORIZ, Maurício; Programa computacional ZBBR 1.1 - Zoneamento bioclimático do Brasil. Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, ABNT NBR 15220-3, São Carlos: UFScar, 2005. Programm Download <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbbr>> Aburdatum: 16.02.2012.

Klimazonen 01-08

Im Folgenden werden die insgesamt acht Klimazonen, jeweils repräsentiert durch eine Referenzstadt (siehe dazu Tab. 01), ausführlich unter den vier Kriterien a) bis d) erklärt:

- Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“);
- Monatliche Klimaauswertung: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*)⁵⁵ durch das Simulationsprogramm *EnergyPlus* ausgewertet. (Ausführliche Auswertungen in Anlage B⁵⁶);
- Psychrometric Chart* der Referenzstadt;
- Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und seinem Inkrement dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁵⁷).

Klimazone	Bundesland	Referenz Stadt ⁵⁸ Norm ABNT NBR	Analysis BIO 2.2 und EPW-Datei	Längengrad	Breitengrad	Höhe ü.d.M.
01	PR	Curitiba	01_PR_Curitiba	29° 21' S	50° 48' W	934 m
02	RS	Passo Fundo	02_RS_Passo Fundo	28° 15' S	52° 24' W	687 m
03	SP	São Paulo	03_SP_ São Paulo	23° 55' S	46° 56' W	760 m
04	DF	Brasília	04_DF_Brasília	15° 79' S	47° 82' W	1170 m
05	SP	Iguapé	05_SP_Iguapé	24° 72' S	47° 33' W	3 m
06	GO	Goiânia	06_GO_ Goiânia	16° 66' S	49° 16' W	749 m
07	PI	Picos	07_PI_Picos	7° 07' S	41° 38' W	206 m
08	PE	Recife	08_PE_Recife	8° 05' S	34° 92' W	4 m

Tab. 01 Referenzstadt Auswahl für diese Forschungsarbeit [RORIZ, 2006; Daten aus dem Programm ZBBR]

⁵⁵ Vgl. EPW; EnergyPlus Weather File für die Referenzstädte; LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações; Arquivos climáticos em formato EPW; 2012; Datei abrufbar unter: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>; Abrufdatum: 27.07.2012.

⁵⁶ Siehe Anlage B, S. 192-198.

⁵⁷ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

⁵⁸ RORIZ, Maurício; Programa computacional ZBBR 1.1 - Zoneamento Bioclimático do Brasil. Mit Hilfe des Programms ZBBR wurden die Referenzstädte der acht Klimazonen Brasiliens festgelegt.

Klimazone 01

Die bioklimatische Zone 01 ist die kälteste Klimazone Brasiliens mit einer längeren Winterperiode. Für ein behagliches Raumklima entsteht in den Wintermonaten ein Bedarf zum Heizen.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 01 0,08% (Abb. 18) des gesamten brasilianischen Territoriums und somit auch der geringste Anteil im Vergleich zu anderen Klimazonen. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 12.

Die folgenden Auswertungen⁵⁹ beziehen sich auf die Referenzstadt Curitiba, Bundesstaat Paraná.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

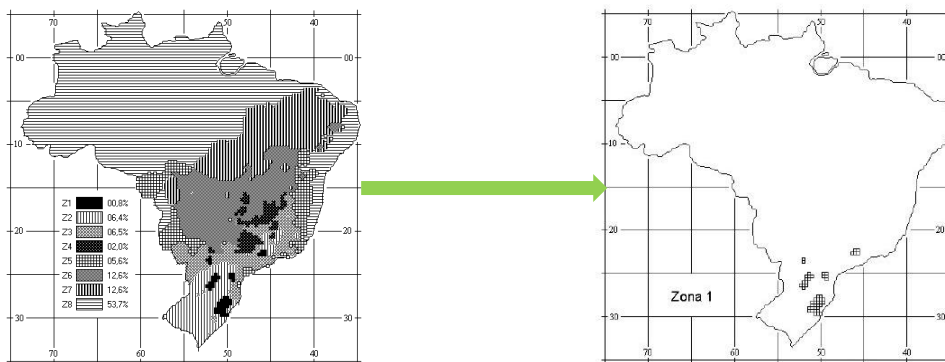


Abb. 18 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 01 [ABNT, 2005; S. 3 f]

Referenzstadt Zone 01		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	PR - Curitiba	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	29° 21' S	Öffnungen	Solare Wärmegewinne im Winter
Breitengrad	50° 48' W	Aussenwand	Konstruktion Leicht
Höhe über d. NN	934 m		U-Wert W/m²K < 3,0
Temperatur Min	8,72 °C		Phasenverschiebung φ < 4,3 h
Temperatur Ø	17,31 °C		Solare Wärmegewinne < 5,0 %
Temperatur Max	28,56 °C	Dach	Konstruktion Leicht isolierend
Rel. Feuchte Max	97,50 %		U-Wert W/m²K < 2,0
Rel. Feuchte Min	29,17 %		Phasenverschiebung φ < 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	2086,29 h		Solare Wärmegewinne < 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1066,08 W/m²	Strategien für Referenzstadt	A B C F
Niederschlag/Jahr Ø	18,05 mm	Allgemeine Strategien Z08	A B C D, A B C D F
		Strategien	Sommer Winter
			Solare Wärmegewinnung Innenwände massiv Heizen notwendig Sonnenstrahlen durchlassen

Abb. 19 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3 f]

⁵⁹ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Curitiba: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugelttemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁶⁰).

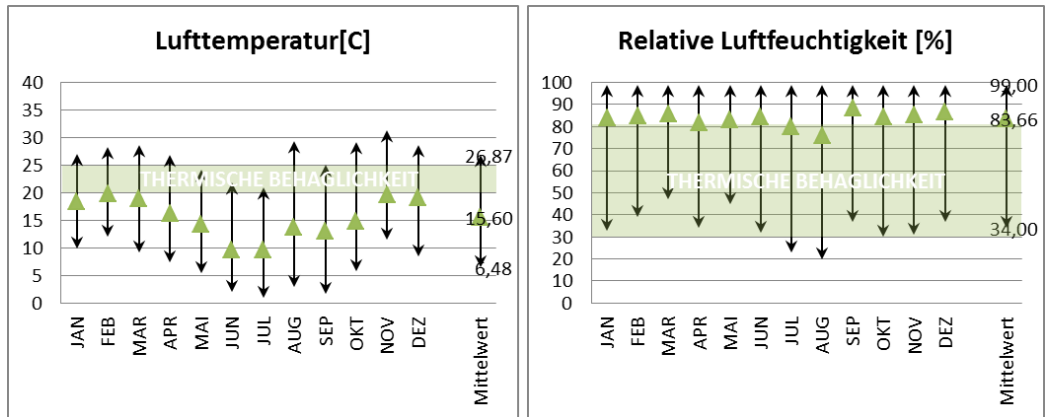
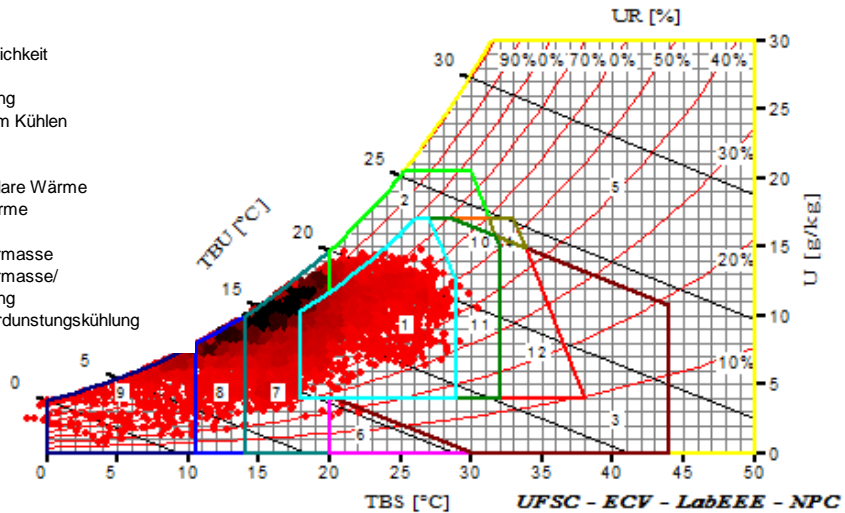


Abb. 20 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Curitiba

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:

Behaglichkeit: 22,3 %

Unbehaglichkeit: 77,7 %

Kälte: 75,18 %

Hitze: 2,48 %

Abb. 21 Psychrometric Chart Curitiba (Paraná) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁶⁰ Siehe Anlage B, S. 192-198.

d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁶¹).

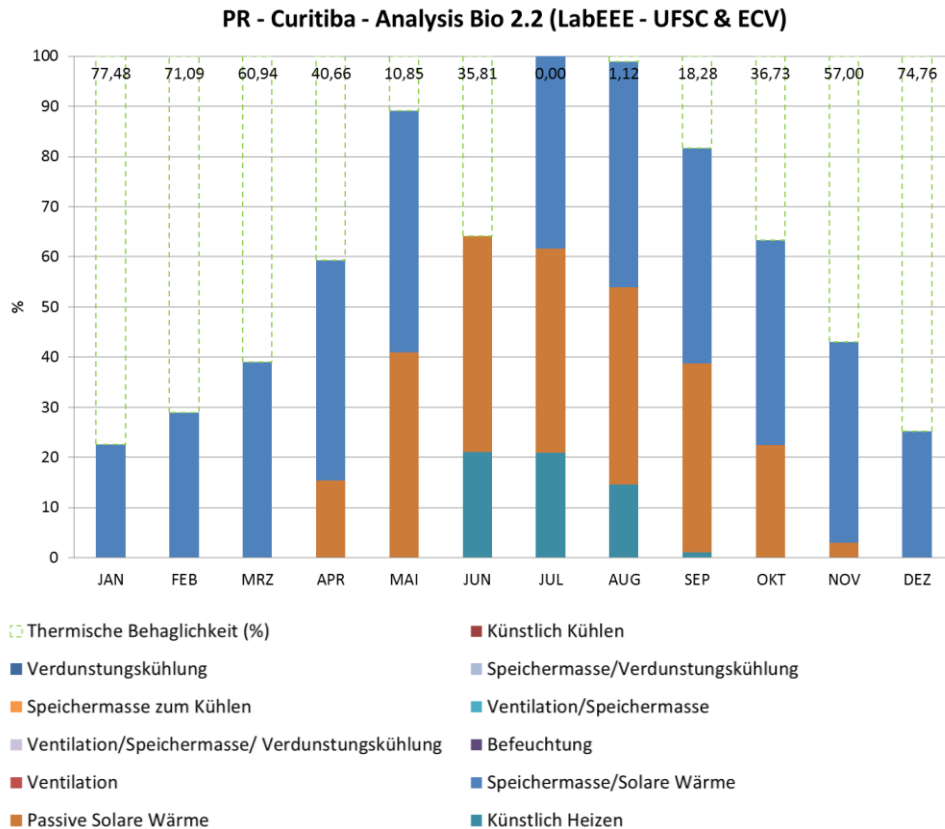


Abb. 22 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)													
PR - Curitiba		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Thermische Behaglichkeit (%)		77,48	71,09	60,94	40,66	10,85	35,81	0,00	1,12	18,28	36,73	57,00	74,76
Unbehaglichkeit (%)		22,52	28,91	39,06	59,34	89,15	64,19	100,00	98,88	81,72	63,27	43,00	25,24
Strategien nach Givoni (%)	Künstlich Heizen						21,00	20,94	14,61	1,08			
	Passive Solare Wärme				15,39	40,97	43,19	40,69	39,33	37,64	22,46	3,00	
	Speichermasse/Solare Wärme	22,52	28,91	39,06	43,95	48,18		38,37	44,94	43,00	40,81	40,00	25,24
	Befeuchtung												
	Ventilation												
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung												
	Ventilation/Speichermasse												
	Speichermasse zum Kühlen												
	Speichermasse/Verdunstungskühlung												
	Verdunstungskühlung												
	Künstlich Kühlen												

Tab. 02 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁶¹ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 02

Die bioklimatische Zone 02 ist schwerpunktmäßig im südlichen und südöstlichen Teil Brasiliens gelegen. Die Charakteristik dieser Zone zeigt eine starke Trennung zwischen der Sommer- und Winterperiode.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 02 6,40% (Abb. 23) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 33.

Die folgenden Auswertungen⁶² beziehen sich auf die Referenzstadt Passo Fundo, Bundesstaat Rio Grande do Sul.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

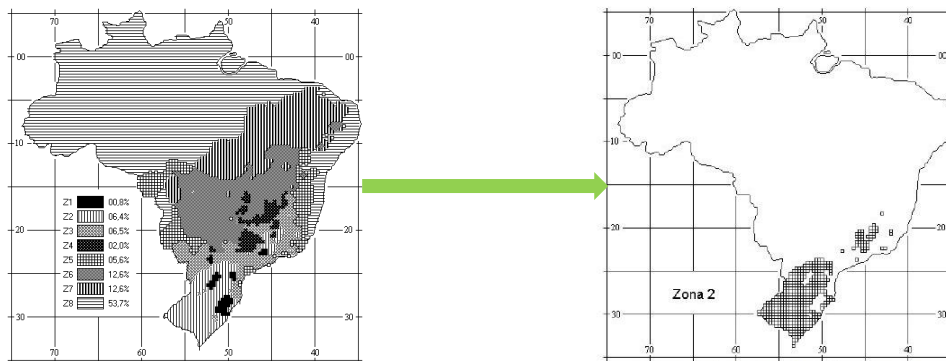


Abb. 23 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 02 [ABNT, 2005; S. 3 ff]

Referenzstadt Zone 02		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	RS - Passo Fundo	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	28° 15' S	Öffnungen	Solare Wärmegewinne im Winter
Breitengrad	52° 24' W	Aussenwand	Konstruktion Leicht
Höhe über d. NN	687 m		U-Wert W/m ² K < 3,0
Temperatur Min	6,37 °C		Phasenverschiebung φ < 4,3 h
Temperatur Ø	17,33 °C		Solare Wärmegewinne < 5,0 %
Temperatur Max	29,08 °C	Dach	Konstruktion Leicht isolierend
Rel. Feuchte Max	98,75 %		U-Wert W/m ² K < 2,0
Rel. Feuchte Min	27,33 %		Phasenverschiebung φ < 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	968 h		Solare Wärmegewinne < 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1036,63 W/m ²	Strategien für Referenzstadt	A B C F I
Niederschlag/Jahr Ø	18,50 mm	Allgemeine Strategien Z08	A B C F I
		Strategien	Sommer Winter
		Querlüftung	Solare Wärmegewinnung Innenwände massiv Heizen notwendig Sonnenstrahlen durchlassen

Abb. 24 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3 ff]

⁶² Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Passo Fundo: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁶³).

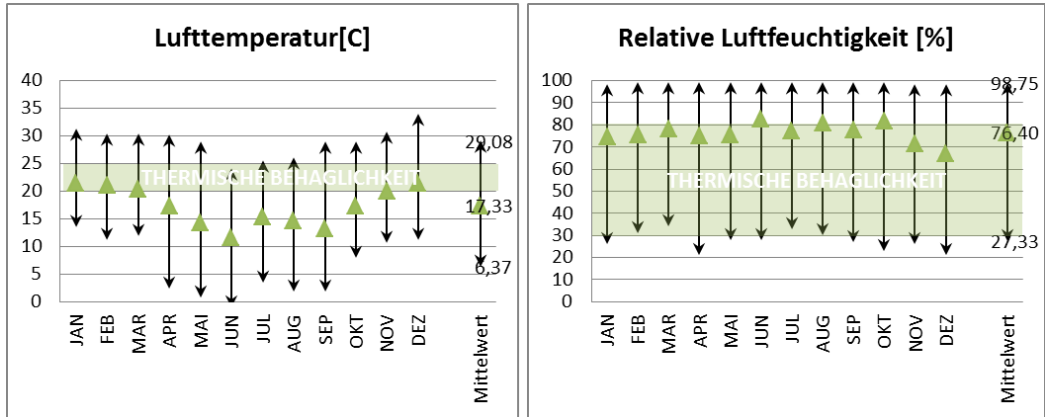
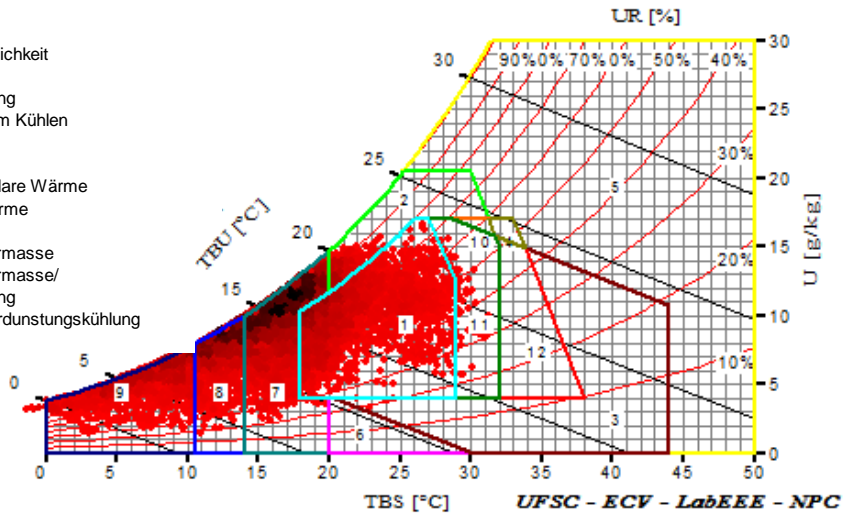


Abb. 25 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Passo Fundo

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 25,0 %
Unbehaglichkeit: 75,0 %
Kälte: 71,4 %
Hitze: 3,62 %

Abb. 26 Psychrometric Chart Passo Fundo (Rio Grande do Sul) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁶³ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁶⁴).

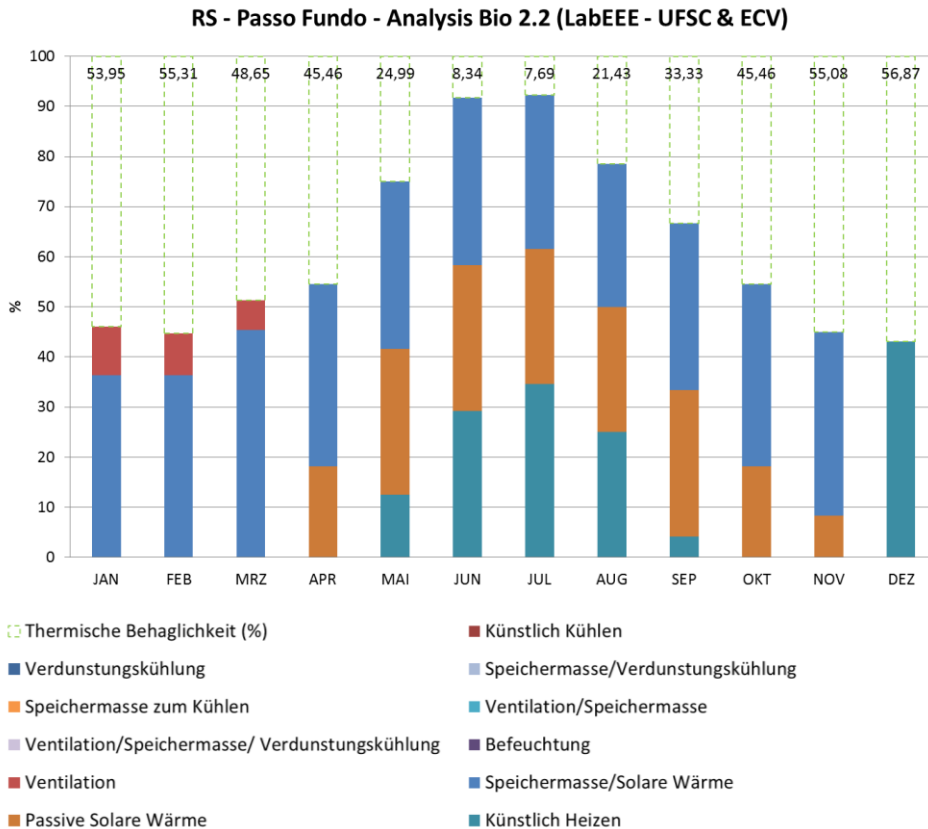


Abb. 27 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)													
RS - Passo Fundo		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)		53,95	55,31	48,65	45,46	24,99	8,34	7,69	21,43	33,33	45,46	55,08	56,87
Unbehaglichkeit (%)		46,05	44,69	51,35	54,54	75,01	91,66	92,31	78,57	66,67	54,54	44,92	43,13
Strategien nach Givoni (%)	Künstlich Heizen					12,51	29,17	34,62	25,01	4,17			43,13
	Passive Solare Wärme				18,19	29,16	29,16	26,92	25,00	29,17	18,18	8,34	
	Speichermasse/Solare Wärme	36,37	36,36	45,44	36,35	33,34	33,33	30,77	28,56	33,33	36,36	36,58	
	Befeuchtung												
	Ventilation	9,68	8,33	5,91									
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung												
	Ventilation/Speichermasse												
	Speichermasse zum Kühlen												
	Speichermasse/Verdunstungskühlung												
	Verdunstungskühlung												
	Künstlich Kühlen												

Tab. 03 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁶⁴ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 03

Die bioklimatische Zone 03 im südöstlichen und südwestlichen Teil Brasiliens gelegen. Die Charakteristik dieser Zone unterliegt einer starken Trennung zwischen der Sommer- und Winterperiode.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 03 6,50% (Abb. 28) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 62.

Die folgenden Auswertungen⁶⁵ beziehen sich auf die Referenzstadt São Paulo, Bundesstaat São Paulo.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

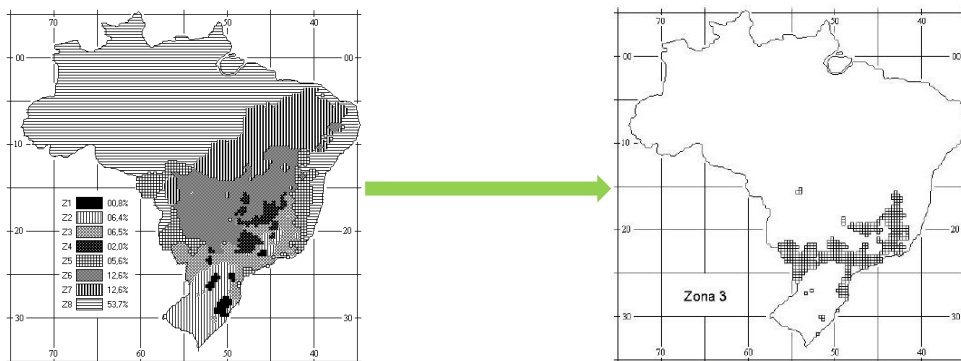


Abb. 28 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 03 [ABNT, 2005; S. 3, 5]

Referenzstadt Zone 03		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	SP - Sao Paulo	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	23° 55' S	Öffnungen	Solare Wärmegewinne im Winter
Breitengrad	46° 56' W	Aussenwand	Konstruktion Leicht reflektierend
Hohe über d. NN	760 m		U-Wert W/m²K < 3,6
Temperatur Min	12,08 °C		Phasenverschiebung φ < 4,3 h
Temperatur Ø	20,91 °C		Solare Wärmegewinne < 4,0 %
Temperatur Max	29,24 °C	Dach	Konstruktion Leicht isolierend
Rel. Feuchte Max	92,75 %		U-Wert W/m²K < 2,0
Rel. Feuchte Min	33,17 %		Phasenverschiebung φ < 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	2065,09 h		Solare Wärmegewinne < 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1018,17 W/m²	Strategien für Referenzstadt	B C F I J
Niederschlag/Jahr Ø	17,27 mm	Allgemeine Strategien Z08	B C F, B C F I, B C F I J
		Strategien	Sommer Winter
		Querlüftung	Solare Wärmegewinnung Innenwände massiv Sonnenstrahlen durchlassen

Abb. 29 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 5]

⁶⁵ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt São Paulo: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁶⁶).

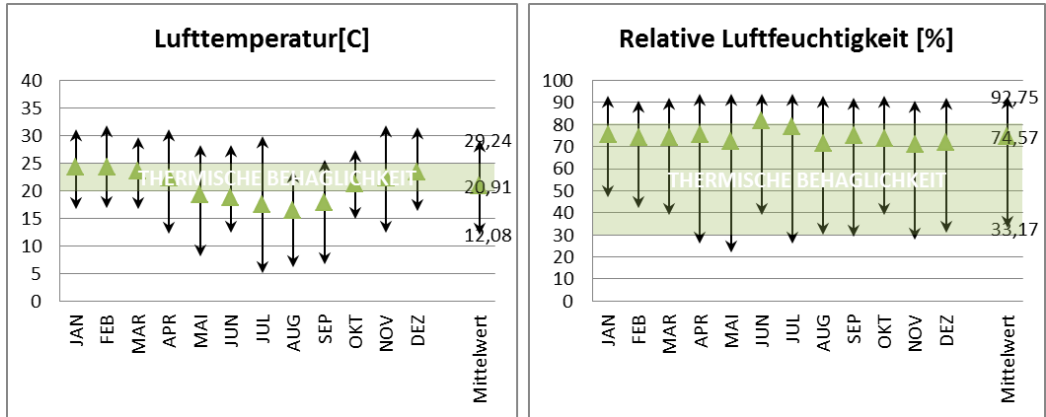
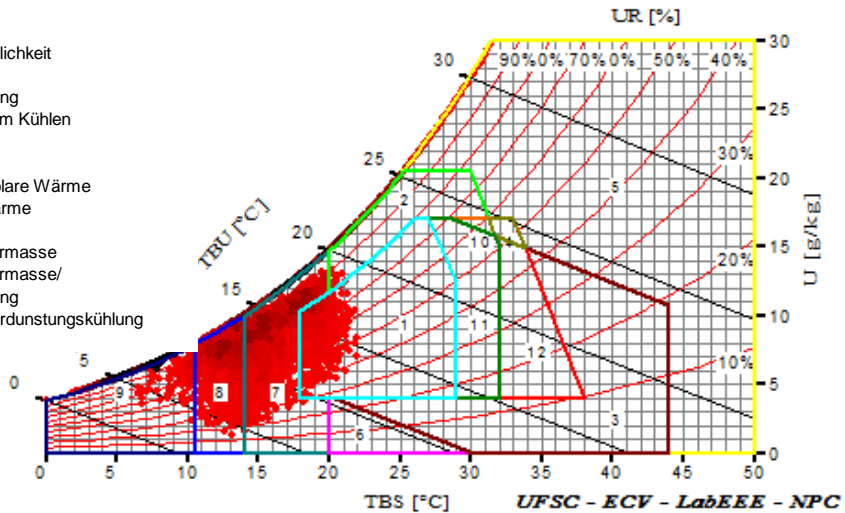


Abb. 30 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) *Psychrometric Chart* der Referenzstadt São Paulo

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 34,8 %
Unbehaglichkeit: 65,2 %
Kälte: 59,5 %
Hitze: 5,71 %

Abb. 31 Psychrometric Chart São Paulo (São Paulo) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁶⁶ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁶⁷).

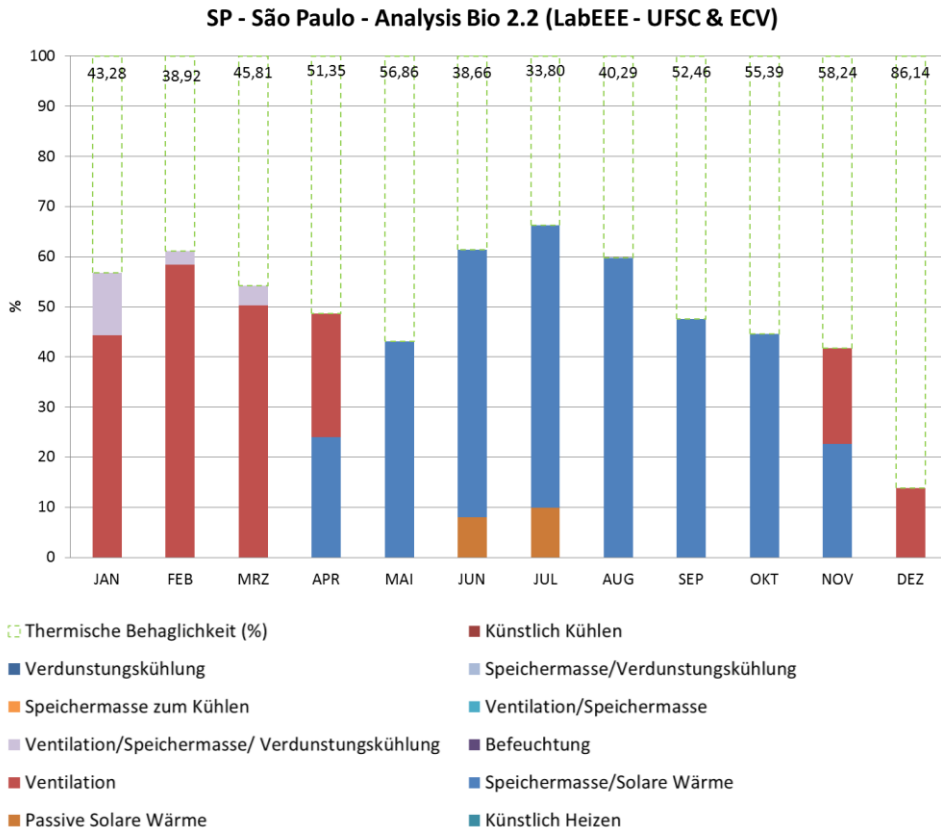


Abb. 32 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEEE - UFSC & ECV)													
SP - São Paulo		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)		43,28	38,92	45,81	51,35	56,86	38,66	33,80	40,29	52,46	55,39	58,24	86,14
Unbehaglichkeit (%)		56,72	61,08	54,19	48,65	43,14	61,34	66,20	59,71	47,54	44,61	41,76	13,86
Strategien nach Givoni (%)	Künstlich Heizen												
	Passive Solare Wärme						8,00	9,86					
	Speichermasse/Solare Wärme				23,94	43,14	53,34	56,34	59,71	47,54	44,61	22,58	
	Befeuchtung												
	Ventilation	44,37	58,45	50,31	24,71							19,18	13,87
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung	12,35	2,63	3,88									
	Ventilation/Speichermasse												
	Speichermasse zum Kühlen												
	Speichermasse/Verdunstungskühlung												
	Verdunstungskühlung												
	Künstlich Kühlen												

Tab. 04 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁶⁷ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 04

Die bioklimatische Zone 04 ist ebenfalls geprägt von einer Trennung zwischen Sommer- und Winterzeit, jedoch ist diese weniger akzentuiert als in der vorherigen Klimazone 03.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 04 2,00% (Abb. 33) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 17.

Die folgenden Auswertungen⁶⁸ beziehen sich auf die Referenzstadt Brasília, Bundesstaat Distrito Federal.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

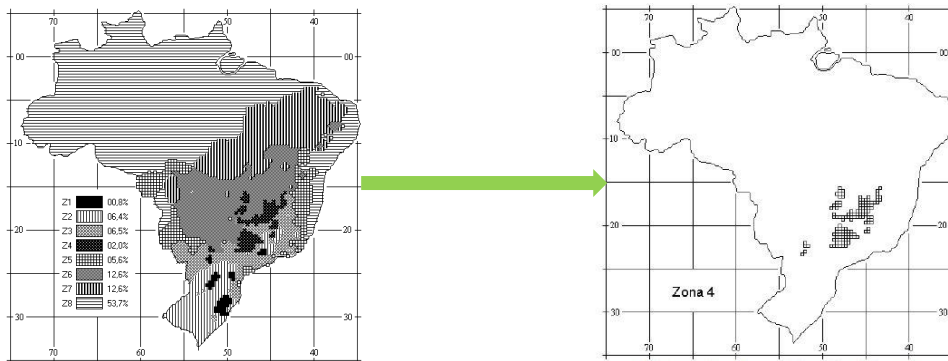


Abb. 33 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 04 [ABNT, 2005; S. 3, 6]

Referenzstadt Zone 04		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	DF - Brasília	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	15° 79' S	Öffnungen	Öffnungen verschatten
Breitengrad	47° 82' W	Aussenwand	Konstruktion Massiv
Hohe über d. NN	1170 m		U-Wert W/m ² K < 2,2
Temperatur Min	14,61 °C		Phasenverschiebung φ < 6,5 h
Temperatur Ø	21,09 °C		Solare Wärmegewinne < 3,5 %
Temperatur Max	29,35 °C	Dach	Konstruktion Leicht isolierend
Rel. Feuchte Max	96,08 %		U-Wert W/m ² K < 2,0
Rel. Feuchte Min	28,92 %		Phasenverschiebung φ < 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	2364,79 h		Solare Wärmegewinne < 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1169,42 W/m ²	Strategien für Referenzstadt	B C D F I
Niederschlag/Jahr Ø	16,53 mm	Allgemeine Strategien Z08	
		Strategien	Sommer Winter
			Adiabate Kühlung Solare Wärmegewinnung
			massive Speicherkapazität Innenwände massiv
			selektives Lüften

Abb. 34 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 6]

⁶⁸ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Brasília: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁶⁹).

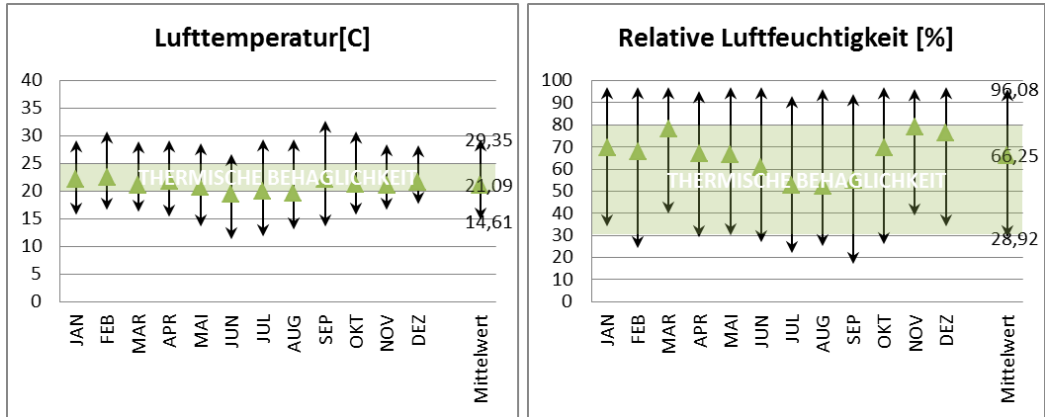
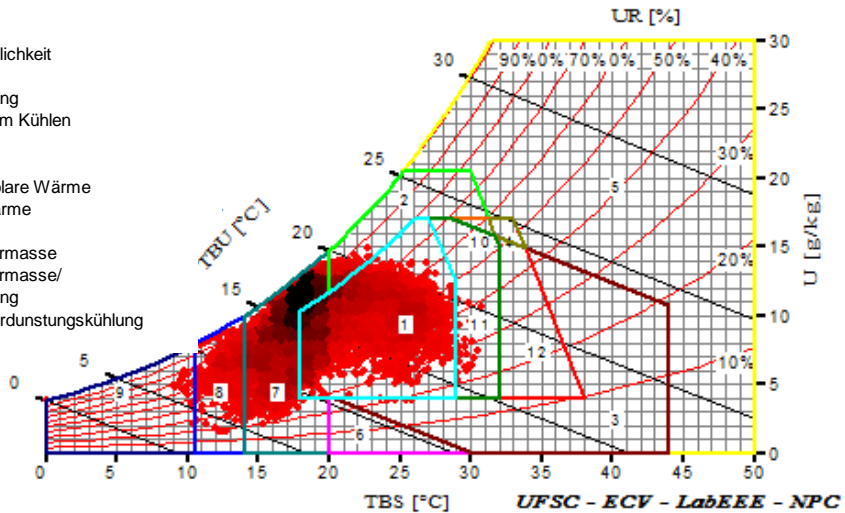


Abb. 35 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Brasília

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 44,3 %
Unbehaglichkeit: 55,7 %
Kälte: 53,13 %
Hitze: 2,66 %

Abb. 36 Psychrometric Chart Brasília (Distrito Federal) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁶⁹ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁷⁰).

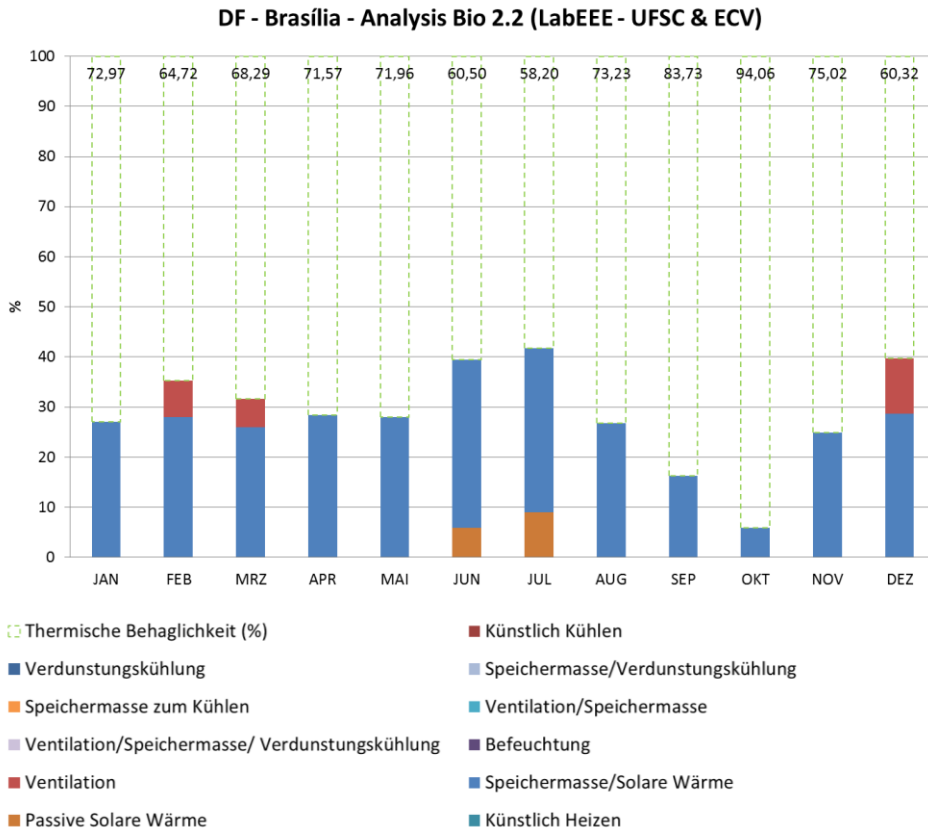


Abb. 37 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)												
DF - Brasília	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)	72,97	64,72	68,29	71,57	71,96	60,50	58,20	73,23	83,73	94,06	75,02	60,32
Unbehaglichkeit (%)	27,03	35,28	31,71	28,43	28,04	39,50	41,80	26,77	16,27	5,94	24,98	39,68
Künstlich Heizen						5,88	9,02					
Passive Solare Wärme												
Speichermasse/Solare Wärme	27,03	27,95	26,05	28,43	28,04	33,62	32,78	26,77	16,27	5,94	24,98	28,74
Befeuchtung												
Ventilation		7,33	5,66									10,94
Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung												
Ventilation/Speichermasse												
Speichermasse zum Kühlen												
Speichermasse/Verdunstungskühlung												
Verdunstungskühlung												
Künstlich Kühlen												

Tab. 05 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁷⁰ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 05

Die bioklimatische Zone 05 ist ebenfalls geprägt von einer Trennung zwischen der Sommer- und Winterzeit, jedoch ist diese weniger akzentuiert als in den vorherigen Klimazonen.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 05 5,60% (Abb. 38) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 30.

Die folgenden Auswertungen⁷¹ beziehen sich auf die Referenzstadt Iguapé, Bundesstaat São Paulo.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

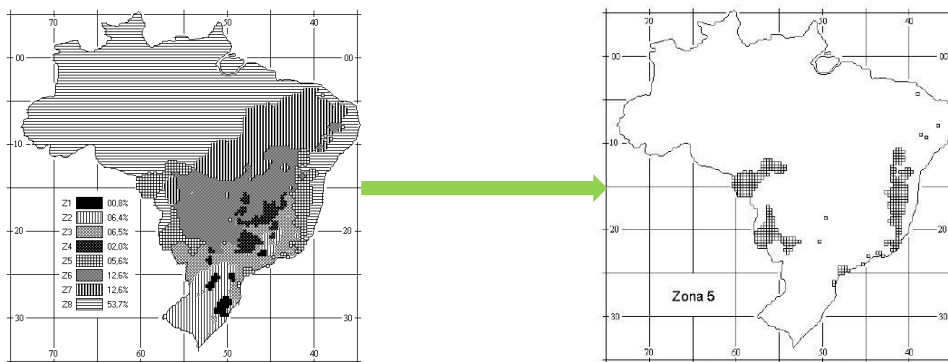


Abb. 38 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 05 [ABNT, 2005; S. 3, 6 f]

Referenzstadt Zone 05		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	SP - Iguapé	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	24° 72' S	Öffnungen	Öffnungen verschatten
Breitengrad	47° 33' W	Aussenwand	Konstruktion Leicht reflektierend
Höhe über d. NN	3 m	U-Wert W/m²K	< 3,6
Temperatur Min	13,27 °C	Phasenverschiebung φ	< 4,3 h
Temperatur Ø	21,12 °C	Solare Wärmegewinne	< 4,0 %
Temperatur Max	32,03 °C	Dach	Konstruktion Leicht isolierend
Rel. Feuchte Max	98,50 %	U-Wert W/m²K	< 2,0
Rel. Feuchte Min	44,25 %	Phasenverschiebung φ	< 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	1494,09 h	Solare Wärmegewinne	< 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1149,50 W/m²	Strategien für Referenzstadt	C F I J
Niederschlag/Jahr Ø	18,50 mm	Allgemeine Strategien Z08	C F I, C F I J, C F I J K
		Strategien	Sommer Winter
			Querlüftung Innenwände massiv

Abb. 39 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 6 f]

⁷¹ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Iguapé: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁷²).

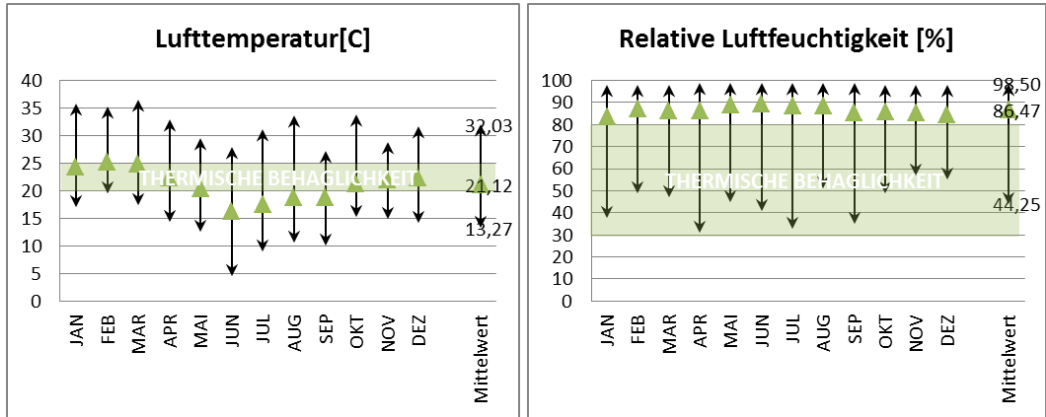
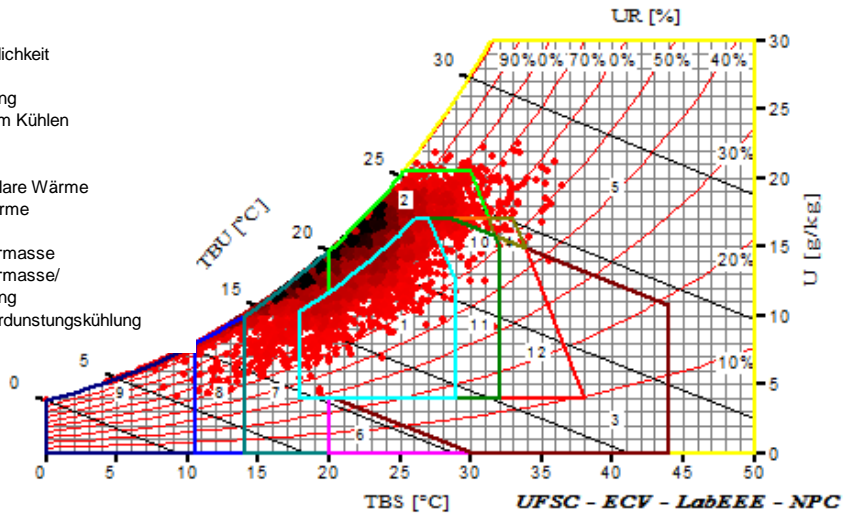


Abb. 40 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Iguapé

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 19,5 %
Unbehaglichkeit: 80,4 %
Kälte: 31,77 %
Hitze: 48,7 %

Abb. 41 Psychrometric Chart Iguapé (São Paulo) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁷² Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁷³).

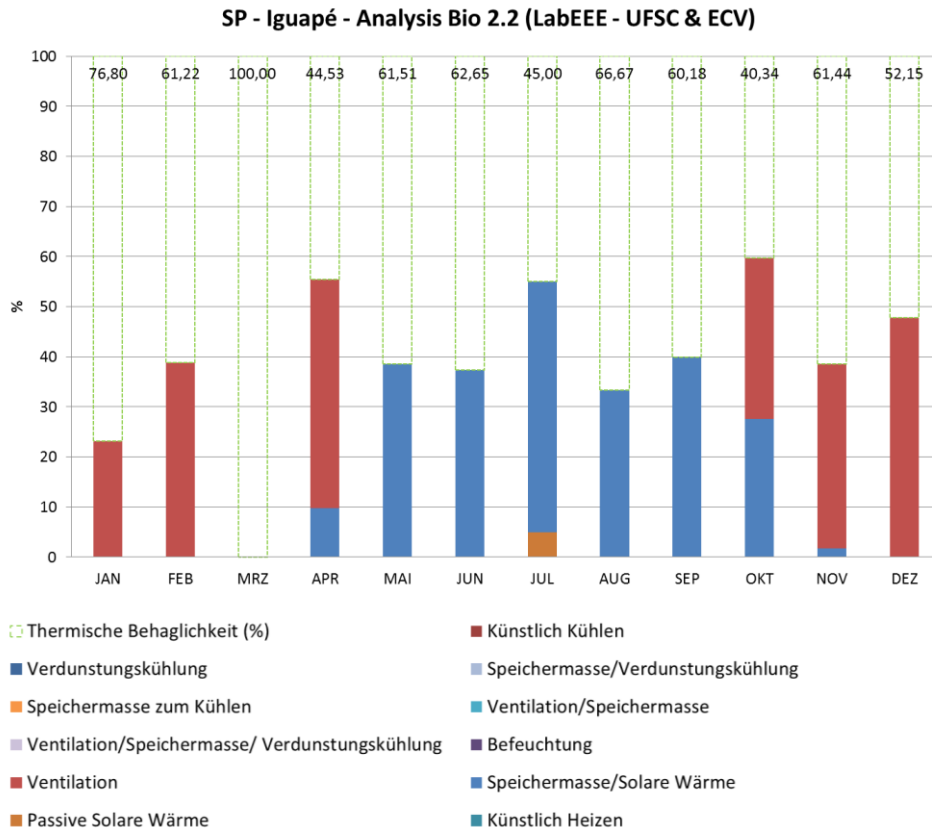


Abb. 42 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)															
SP - Iguapé		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR	
Strategien nach Clivoni (%)	Behaglichkeit (%)	76,80	61,22	100,00	44,53	61,51	62,65	45,00	66,67	60,18	40,34	61,44	52,15	61,04	
	Unbehaglichkeit (%)	23,20	38,78	0,00	55,47	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	59,66	38,56	47,85	38,96	
	Künstlich Heizen							5,00						5,00	
	Passive Solare Wärme														
	Speichermasse/Solare Wärme				9,73	38,49	37,35	50,00	33,33	39,82	27,57	1,71		29,75	
	Befeuchtung														
	Ventilation	23,20	38,78		45,74							32,09	36,85	47,85	37,42
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung														
	Ventilation/Speichermasse														
	Speichermasse zum Kühlen														
	Speichermasse/Verdunstungskühlung														
	Verdunstungskühlung														
	Künstlich Kühlen														
	Gesamt (%)	23,20	38,78	0,00	55,47	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	59,66	38,56	47,85	37,42	
	Thermisches Empfinden Kalt (%)	0,00	0,00	0,00	9,73	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	27,57	1,71	0,00		34,75
	Thermisches Empfinden Warm (%)	23,20	38,78	0,00	45,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,09	36,85	47,85	37,42

Tab. 06 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁷³ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 06

Die bioklimatische Zone 06 ist geprägt von einer Trennung zwischen Sommer- und Winterzeit, jedoch ist diese ebenfalls weniger akzentuiert als bei den vorherigen Klimazonen.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 06 12,6% (Abb. 43) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 38.

Die folgenden Auswertungen⁷⁴ beziehen sich auf die Referenzstadt Goiânia, Bundesstaat Goiás.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

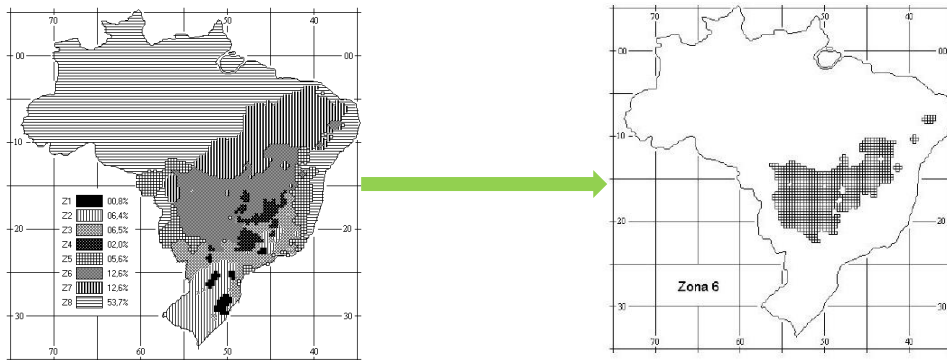


Abb. 43 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 06 [ABNT, 2005; S. 3, 7]

Referenzstadt Zone 06		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	GO - Goiânia	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Mittel 15 % < A < 25 %
Längengrad	16° 66' S	Öffnungen	Öffnungen verschatten
Breitengrad	49° 16' W	Aussenwand	Konstruktion: Massiv U-Wert W/m ² K: < 2,2 Phasenverschiebung φ: < 6,5 h Solare Wärmegewinne: < 3,5 %
Höhe über d. NN	749 m	Dach	Konstruktion: Leicht isolierend U-Wert W/m ² K: < 2,0 Phasenverschiebung φ: < 3,3 h Solare Wärmegewinne: < 6,5 %
Temperatur Min	13,82 °C	Strategien für Referenzstadt	C D F H I
Temperatur Ø	23,24 °C	Allgemeine Strategien Z08	C D F I, C D F H I, C F H I, C F H I J
Temperatur Max	33,70 °C	Strategien	Sommer: Adiabate Kühlung, massive Speicherkapazität, selektives Lüften Winter: Innenwände massiv
Rel. Feuchte Max	92,67 %		
Rel. Feuchte Min	24,50 %		
Sonnenstunden/Jahr	2588,09 h		
Sonneneinstrahlung Ø	1134,67 W/m ²		
Niederschlag/Jahr Ø	18,50 mm		

Abb. 44 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 7]

⁷⁴ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Goiânia: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁷⁵).

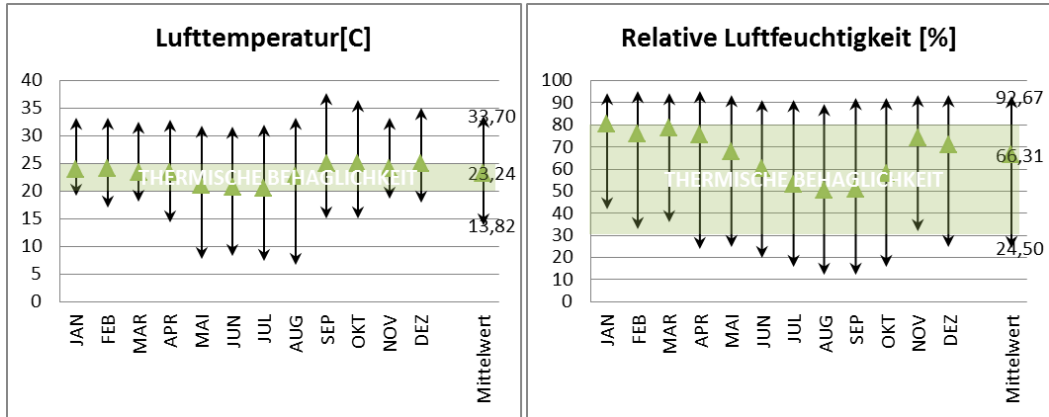
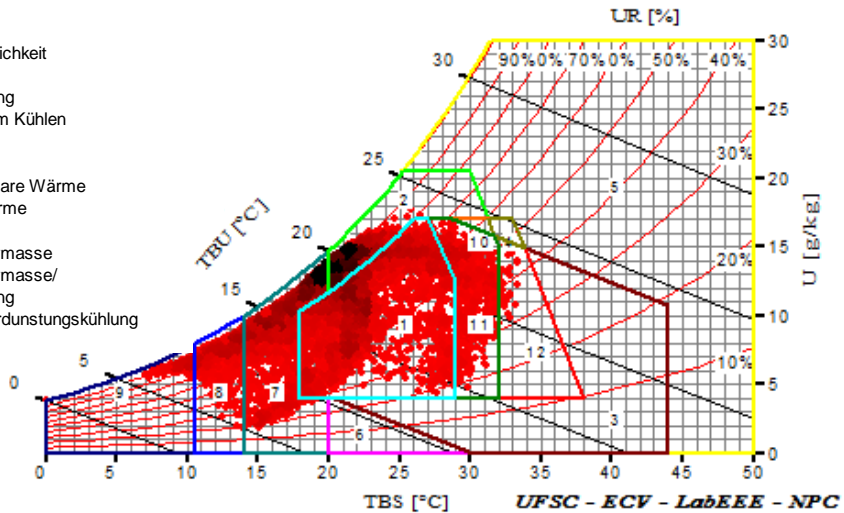


Abb. 45 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Goiânia

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 34,7 %
Unbehaglichkeit: 65,3 %
Kälte: 35,05 %
Hitze: 30,22 %

Abb. 46 Psychrometric Chart Goiânia (Goiás) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁷⁵ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁷⁶).

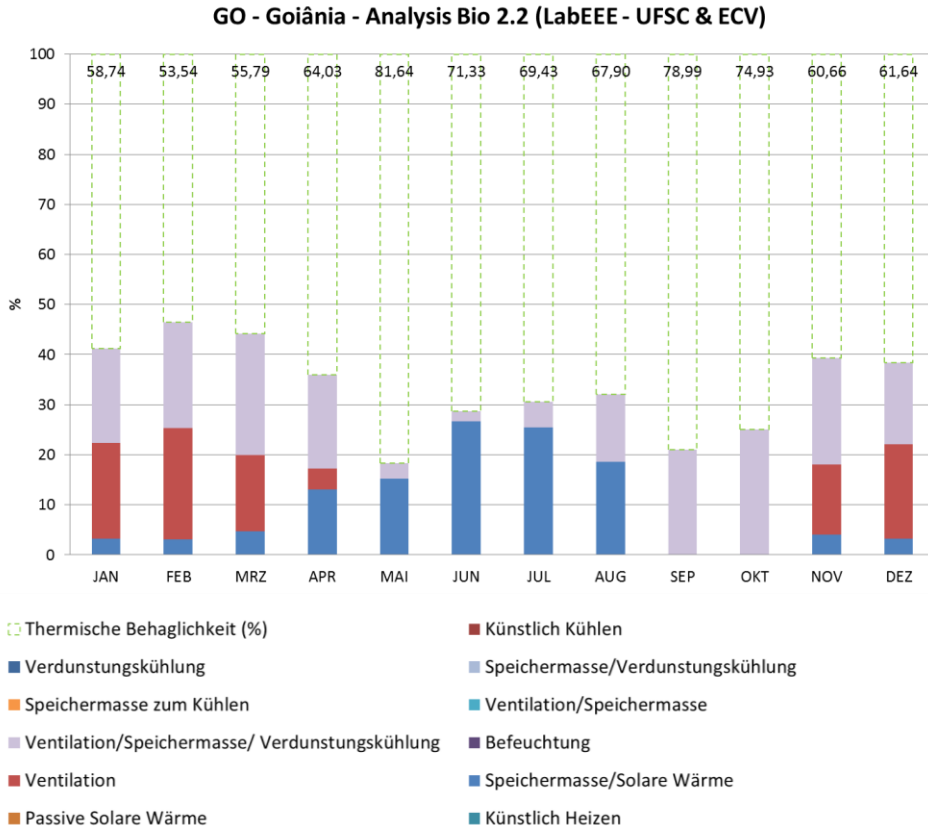


Abb. 47 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)													
GO - Goiânia		JAN	FEB	MARZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)		58,74	53,54	55,79	64,03	81,64	71,33	69,43	67,90	78,99	74,93	60,66	61,64
Unbehaglichkeit (%)		41,26	46,46	44,21	35,97	18,36	28,67	30,57	32,10	21,01	25,07	39,34	38,36
Strategien nach Givoni (%)	Künstlich Heizen												
	Passive Solare Wärme												
	Speichermasse/Solare Wärme		3,17	3,10	4,72	13,05	15,27	26,67	25,48	18,52		3,97	3,27
	Befeuchtung												
	Ventilation	19,25	22,21	15,27	4,25							14,04	18,87
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung	18,84	21,15	24,22	18,67	3,09	2,00	5,09	13,58	21,01	25,07	21,33	16,22
	Ventilation/Speichermasse												
	Speichermasse zum Kühlen												
	Speichermasse/Verdunstungskühlung												
	Verdunstungskühlung												
	Künstlich Kühlen												

Tab. 07 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁷⁶ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 07

Die bioklimatische Zone 07 liegt im nördlichen und nord-östlichen Teil Brasiliens. Das Ganzjahresklima weist überwiegend Sommermonaten aus. Grund dafür ist die Äquatornähe der Klimazone.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 07 12,6% (Abb. 48) des gesamten brasilianischen Territoriums. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 39.

Die folgenden Auswertungen⁷⁷ beziehen sich auf die Referenzstadt Picos, Bundesstaat Piauí.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

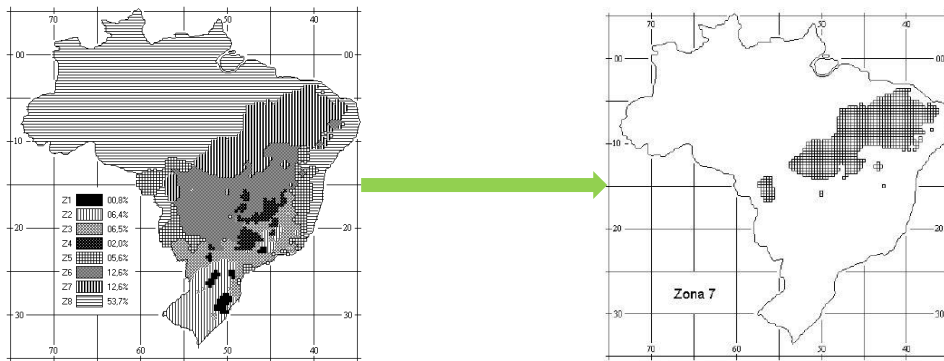


Abb. 48 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 07 [ABNT, 2005; S. 3, 8]

Referenzstadt Zone 07		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	PI - Picos	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Klein 10 % < A < 15 %
Längengrad	07° 07' S	Öffnungen	Öffnungen verschatten
Breitengrad	41° 38' W	Aussenwand	Konstruktion Massiv
Höhe über d. NN	206 m	U-Wert W/m²K	< 2,2
Temperatur Min	19,57 °C	Phasenverschiebung φ	< 6,5 h
Temperatur Ø	28,23 °C	Solare Wärmegewinne	< 3,5 %
Temperatur Max	37,98 °C	Dach	Konstruktion Massiv
Rel. Feuchte Max	91,33 %	U-Wert W/m²K	< 2,0
Rel. Feuchte Min	20,00 %	Phasenverschiebung φ	< 6,5 h
Sonnenstunden/Jahr	2815,59 h	Solare Wärmegewinne	< 6,5 %
Sonnentrahlung Ø	1205,33 W/m²	Strategien für Referenzstadt	D F H I J
Niederschlag/Jahr Ø	11,30 mm	Allgemeine Strategien Z08	D F H I, D F H I J, F H I, F H I J, F H I J K
		Strategien	Sommer Winter
			Adiabate Kühlung massive Speicherkapazität selektives Lüften Kühlung notwendig Öffnungen verschatten

Abb. 49 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 8]

⁷⁷ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Picos: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁷⁸).

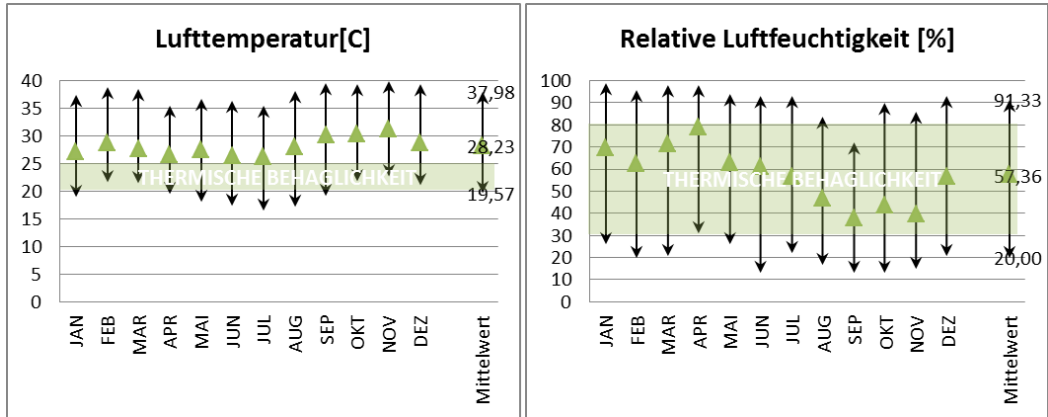
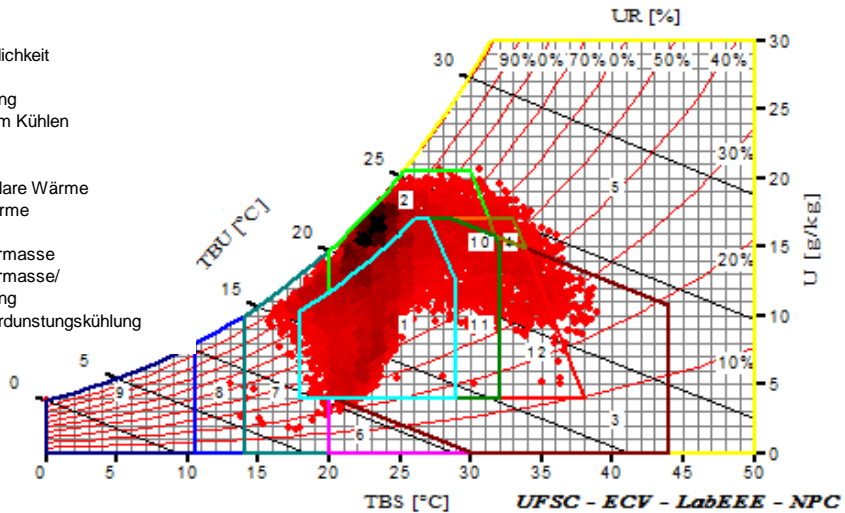


Abb. 50 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) Psychrometric Chart der Referenzstadt Picos

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 43,3 %
Unbehaglichkeit: 56,7 %
Kälte: 4,41 %
Hitze: 52,37 %

Abb. 51 Psychrometric Chart Picos (Piauí) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁷⁸ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁷⁹).

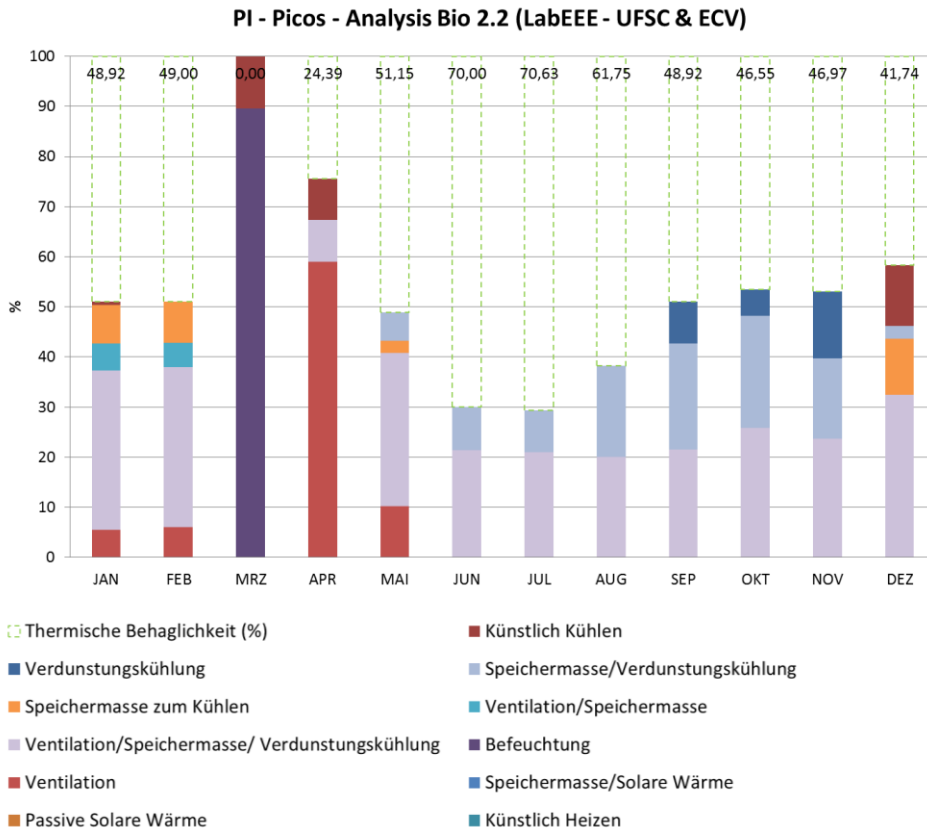


Abb. 52 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)													
PI - Picos - Analysis		JAN	FEB	MARZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)		48,92	49,00	0,00	24,39	51,15	70,00	70,63	61,75	48,92	46,55	46,97	41,74
Unbehaglichekeit (%)		51,08	51,00	100,00	75,61	48,85	30,00	29,37	38,25	51,08	53,45	53,03	58,26
Strategien nach Givoni (%)	Künstlich Heizen												
	Passive Solare Wärme												
	Speichermasse/Solare Wärme												
	Befeuchtung			89,61									
	Ventilation	5,51	6,03		58,98	10,22							
	Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung	31,77	31,99		8,32	30,62	21,43	20,98	20,13	21,59	25,87	23,71	32,46
	Ventilation/Speichermasse	5,43	4,87										
	Speichermasse zum Kühlen	7,62	8,11			2,37							11,11
	Speichermasse/Verdunstungskühlung					5,64	8,57	8,39	18,12	21,1	22,38	16,08	2,58
	Verdunstungskühlung									8,39	5,2	13,24	
Künstlich Kühlen	0,75		10,39	8,31									12,11

Tab. 08 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁷⁹ Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

Klimazone 08

Die bioklimatische Zone 08 liegt umfasst das gesamten nördliche Amazonasgebiet, sowie die nordöstliche Küstenlandschaft. Das Ganzjahresklima besteht aus Sommermonaten.

In der Norm beträgt der Flächenanteil der Klimazone 08 53,7% (Abb. 53) des gesamten brasilianischen Territoriums und stellt damit im Vergleich zu den anderen Klimazonen den größten Anteil dar. Die Anzahl der Referenzstädte beläuft sich auf insgesamt 99.

Die folgenden Auswertungen⁸⁰ beziehen sich auf die Referenzstadt Recife, Bundesstaat Pernambuco.

- a) Vorgaben nach der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3 („Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau“).

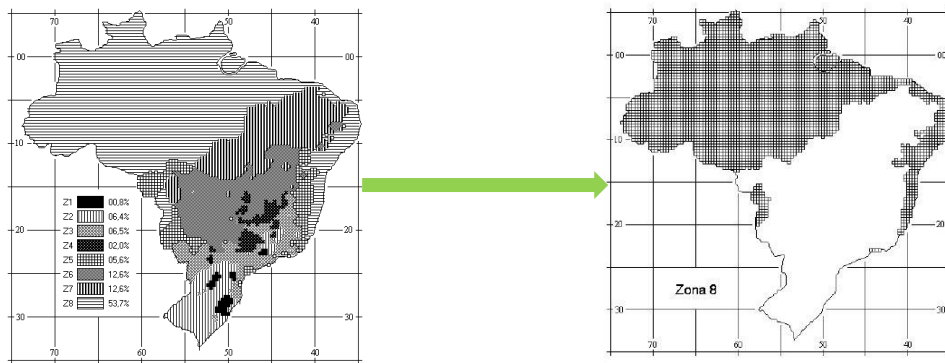


Abb. 53 Bioklimatische Zonierung Brasiliens (Gesamt) und Bioklimatische Zone 08 [ABNT, 2005; S. 3, 8 f]

Referenzstadt Zone 08		Daten nach der Norm ABNT NBR 15220-3	
Bundesland - Stadt	PE - Recife	Fassadenflächen Fenster (A in % Gesamtfläche)	Gross A > 40 %
Längengrad	08° 05' S	Öffnungen	Öffnungen verschatten
Breitengrad	34° 92' W	Aussenwand	Konstruktion Leicht reflektierend
Höhe über d. NN	4 m	U-Wert W/m²K	< 3,6
Temperatur Min	22,88 °C	Phasenverschiebung φ	< 4,3 h
Temperatur Ø	27,16 °C	Solare Wärmegewinne	< 4 %
Temperatur Max	33,75 °C	Dach	Konstruktion Leicht reflektierend
Rel. Feuchte Max	94,92 %	U-Wert W/m²K	< 2,3
Rel. Feuchte Min	46,75 %	Phasenverschiebung φ	< 3,3 h
Sonnenstunden/Jahr	2219,79 h	Solare Wärmegewinne	< 6,5 %
Sonneneinstrahlung Ø	1138,92 W/m²	Strategien für Referenzstadt	F J K
Niederschlag/Jahr Ø	29,03 mm	Allgemeine Strategien Z08	F I, F I J, F J K, F I J K, J K
		Strategien	Sommer Winter
			Querlüftung
			Kühlung notwendig
			Sonnenschutz
			Öffnungen verschatten

Abb. 54 Referenzstadt mit den Vorgaben nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3, 8 f]

⁸⁰ Siehe dazu Auswertungskriterien auf S. 32.

- b) Monatliche Klimaauswertung der Referenzstadt Recife: Temperatur (Feuchtkugel- und Trockenkugeltemperatur), relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Sonnenverlauf. Jeweils eine die Klimazone repräsentierende Stadt wurde im EPW-Format (*EnergyPlus Weather File*) durch das Simulationsprogramm EnergyPlus ausgewertet (Anlage B⁸¹).

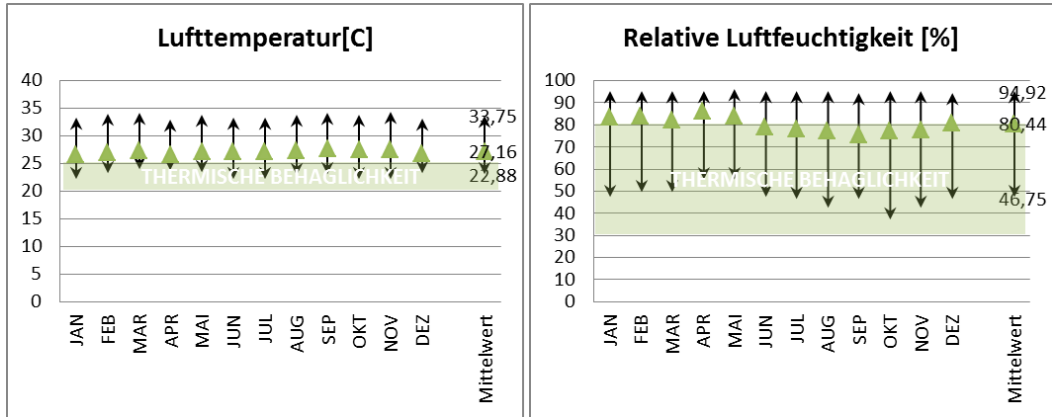
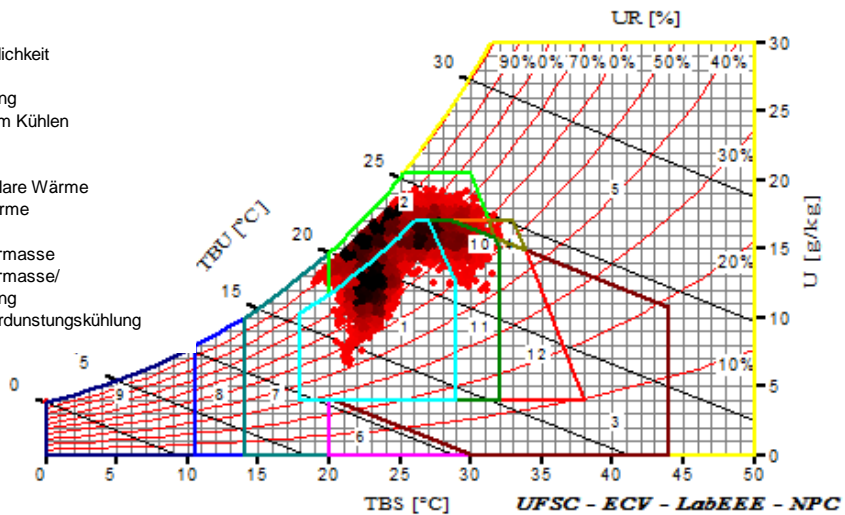


Abb. 55 Min/Med/Max Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeitsbereich [Daten aus EnergyPlus]

- c) *Psychrometric Chart* der Referenzstadt Recife

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung



Klima Auswertung:
Behaglichkeit: 42,8 %
Unbehaglichkeit: 57,2 %
Kälte: 0,23 %
Hitze: 57,02 %

Abb. 56 Psychrometric Chart Recife (Pernambuco) [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

⁸¹ Siehe Anlage B, S. 192-198.

- d) Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement, dargestellt durch die passiven Strategien nach der Norm ABNT NBR 15220-3. Als Hilfsmittel diente das Programm AnalysisBio 2.2 der brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações)“ (Numerische Auswertung in Anlage C1⁸²).

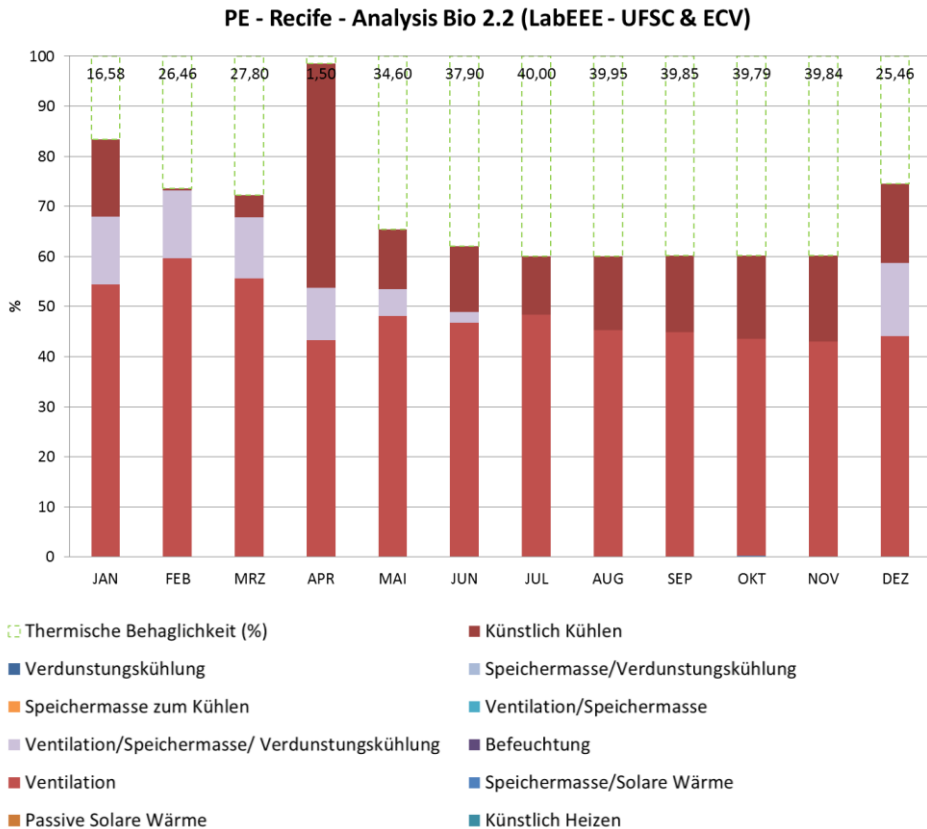


Abb. 57 Monatsauswertung der Strategien und thermischen Behaglichkeit anhand der Wetterdaten

Analysis Bio 2.2 (LabEEE - UFSC & ECV)												
PE - Recife	JAN	FEB	MARZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Behaglichkeit (%)	16,58	26,46	27,80	1,50	34,60	37,90	40,00	39,95	39,85	39,79	39,84	25,46
Unbehaglichkeit (%)	83,42	73,54	72,20	98,50	65,40	62,10	60,00	60,05	60,15	60,21	60,16	74,54
Künstlich Heizen												
Passive Solare Wärme												
Speichermasse/Solare Wärme								0,05	0,15	0,21	0,16	
Befeuchtung												
Ventilation	54,47	59,69	55,57	43,24	48,06	46,82	48,36	45,29	44,74	43,39	42,87	44,13
Ventilation/Speichermasse/ Verdunstungskühlung	13,42	13,54	12,2	10,5	5,4	2,1						14,54
Ventilation/Speichermasse												
Speichermasse zum Kühlen												
Speichermasse/Verdunstungskühlung												
Verdunstungskühlung												
Künstlich Kühlen	15,53	0,31	4,43	44,76	11,94	13,18	11,64	14,71	15,26	16,61	17,13	15,87

Tab. 09 Numerische Monatsauswertung der Strategien anhand der Wetterdaten

⁸² Siehe Anlage C1, S. 199 fff.

1.4 Innenraumklima

Durch staatliche und private Initiativen und unter Einführung von Normen und Zertifizierungen wächst in Brasilien das Bewusstsein eines energetisch-effizienten Energieverbrauchs. Innerhalb dieser Verordnungen werden die verschiedensten Systeme der Zertifizierung mit entsprechendem Energieausweisen angeboten, um eine maximale thermisch-energetische Behaglichkeit zu erreichen und nachzuweisen. Davon sind sowohl in Planung als auch schon fertiggestellte und in Benutzung stehende Gebäude betroffen. Die spezifisch für ein Gebäude ausgewählten Baumaterialien und die Kenntnis ihrer bauphysikalischen Eigenschaften, sowie der Einfluss der auf das Gebäude einwirkenden klimatischen Bedingungen sind Faktoren, die bei richtiger Auswahl und Anwendung zu einer Einsparung beim Energiebedarf führen können. Die Baukonstruktion eines Gebäudes ist hinsichtlich der Energieeffizienz von großer Bedeutung. Zur besseren Definition des Wärmeaustausches in Gebäuden versuchen die Unternehmen und die Planer, ein verständlicheres Bild für die ablaufenden Wärmeprozesse zu erzeugen, damit durch Energieeinsparungsmaßnahmen eine bessere Nutzung der Energie für die Bauindustrie erreicht werden kann.

Ein Gebäude kann dann als thermisch effizient angesehen werden, wenn dessen Energieverbrauch unter der Voraussetzung einer ausreichenden thermischen Behaglichkeit für den Benutzer optimiert wird.⁸³

1.4.1 Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird als subjektives menschliches Gefühl angesehen. Sie hängt von physikalischen, physiologischen und psychologischen Faktoren ab. Der Wärmeaustausch des Körpers und seiner Umgebung wird von den physischen Faktoren bestimmt, während die physiologischen Faktoren die Veränderungen des physiologischen Zustandes des Organismus unter bestimmten Wärmekonditionen beschreiben.⁸⁴ Daraus folgend sind die psychologischen Faktoren diejenigen, die sich auf die verschiedenen Wahrnehmungen beziehen und ihre Auswirkungen anhand der Reaktion der Sinnesreize beziehen, mit den Erfahrungen der Vergangenheit und den zukünftigen Erwartungen.⁸⁵

Die Untersuchungen für die thermische Behaglichkeit beschäftigen sich hauptsächlich mit der Analyse und der Definition der notwendigen Bedingungen für eine Bewertung und die Wahrnehmung einer angemessenen thermischen Behaglichkeit, bezogen auf das menschliche Befinden unter körperlicher Aktivität. Weiter werden Methoden und Prinzipien für eine detaillierte thermische Analyse einer bestimmten Umgebung festgelegt. Die wichtigsten Argumente in der Forschung zur thermischen Behaglichkeit basieren auf drei Faktoren⁸⁶:

- 1) Die Zufriedenheit des Menschen und sein Wohlbefinden innerhalb des thermischen Komfortbereichs;

⁸³ ABRAVA; Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento; Dokument abrufbar unter: <<http://www.abrava.com.br/>>; Artikel abrufbar unter: <<http://www.abrava.com.br/comunicado-gbc-brasil-abesco-abrava-consumo-de-energia-eletrica-nas->>; Abrufdatum: 27.08.2015.

⁸⁴ Vgl. LAMBERTS, R. et al.; Conforto Térmico e Stress Térmico; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf> Abrufdatum: 24.06.2015; S. 3.

⁸⁵ Vgl. LAMBERTS, 2014; S. 11, 12.

⁸⁶ Vgl. LAMBERTS, 2014; S. 9-11.

-
- 2) Aus den durchgeführten Untersuchungen ergibt sich eine klare Tendenz, dass das menschliche Leistungsvermögen durch Hitze- oder Kälteempfinden negativ beeinflusst und reduziert werden kann. Die intellektuelle Leistung und auch die körperliche Aktivität weisen unter der Bedingung einer thermischen Behaglichkeit bessere Ergebnisse auf.
 - 3) Allgemein verbringt die Gesellschaft den größten Teil ihres Lebens in einer künstlich geschaffenen Umwelt durch Einsatz von Technologien für die Regelung des Raumklimas. Ein unnötiges Heizen und/oder Kühlen der Umgebung könnte man durch eine Neudefinition der Parameter für die thermische Behaglichkeit vermeiden.

Die Kriterien der thermischen Behaglichkeit sind nur bedingt auf einen allgemeinen Personenkreis übertragbar, da das Empfinden eines jeden Einzelnen unterschiedlich reagiert. Vielmehr sollte die Zielsetzung sein, ein behagliches Raumklima für die überwiegende Mehrheit zu schaffen. Nicht nur die Anforderungen, sondern auch die Voraussetzungen der thermischen Behaglichkeit von Innenräumen spielen zunehmend eine wichtige Rolle.

1.4.2 Normen Weltweit

Zum Thema der thermischen Behaglichkeit und des Raumklimas haben in den letzten Jahrzehnten weitreichende Überlegungen und Diskussionen weltweit stattgefunden. Die wichtigsten Ergebnisse sind in den nachfolgenden Normen ISO 7730 (*International Organization for Standardization*)⁸⁷ und ASHRAE Standard 55 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*)⁸⁸ zusammengefasst.

ISO 7730/2005

Die Norm DIN EN ISO 7730 mit dem Titel "*Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.*", wurde im Jahre 1984 erstmals publiziert und bezieht sich auf ein gemäßigtes thermisches Raumklima. Im Wesentlichen handelt es sich um die Gleichung nach Fanger⁸⁹, in der das thermische Empfinden mit dem Metabolismus des menschlichen Körpers in Beziehung gebracht wird. In dem Ansatz von Lamberts und Xavier⁹⁰ wurde das thermische Empfinden in Beziehung zu der daraus folgenden Unbehaglichkeit einer gemäßigt thermischen Umgebung gesetzt, um die Grenzwerte des "noch" Behaglichkeitsbereiches festzulegen.

Mit der Messung der physischen Parameter wie Lufttemperatur, mittlere Raumtemperatur, der Zugluft und der relativen Luftfeuchtigkeit, sowie der Annahme einer Aktivität von Personen und ihrer dabei benutzten Kleidung, kann man aus diesen Messungen das thermische Raumgefühl

⁸⁷ DIN EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005; Abrufdatum: 31.05.2012.

⁸⁸ Vgl. ASHRAE STANDARD 55-2004; Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Inc. Atlanta, GA; 2010; Abrufdatum: 21.07.2012.

⁸⁹ Vgl. FANGER, P. O.; Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering; McGraw-Hill-Books; Danish Technical Press, Copenhagen; 1970; S. 244, 245.

⁹⁰ Vgl. Lamberts, R. et al.; Conforto Térmico e Stress Térmico; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf> Abrufdatum: 24.06.2015; S. 8, S. 13-15.

anhand des PMV-Index⁹¹ ableiten. Als weitere Messgrundlage stellt der PPD-Index⁹² den Prozentsatz derjenigen Raumnutzer dar, die mit dem zum Zeitpunkt herrschenden Raumklimabedingungen unzufrieden sind und sich unbehaglich fühlen (Abb. 58).

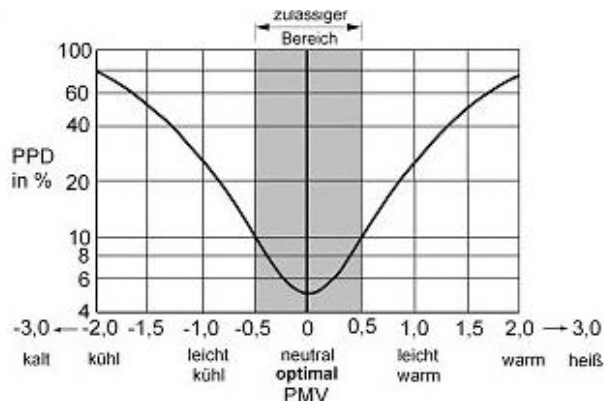


Abb. 58 PPD- Index in Abhängigkeit des PMV- Maßstabes

[FANGER, 1973; Abbildung abgerufen auf der Website: http://www.cats-software.com/CATSnewsletter/NL0610/CATS_NewsLthermischebimg/abb1.jpg, Dr. J. Seifert, Prof. W. Richter, Aktualisiert 10/2006]

ASHRAE Standard 55

Die ASHRAE⁹³ ist eine amerikanische Norm für die Energieeffizienz von Gebäuden und Neubauten und wurde erstmals in 1975 veröffentlicht. Bis zum Jahr 2010 wurde die Norm stetig verbessert und erweitert und beschreibt in der Fassung *Standard 90.1* unter anderem die Klimazonen von acht brasilianischen Großstädten⁹⁴. Die Einstufung der Klimazonen erfolgt über die Berechnung der Heiz-Grad-Tage und Kühl-Grad-Tage von opaken und transparenten Bauteilen der Gebäude.

Nach weiteren Veröffentlichungen zwischen den Jahren 2010 und 2011 beschreibt die Norm ASHRAE eine Methode zur Definierung des thermischen Komfortbereiches für zwei Situationen:

- künstlich-klimatisierte Räume und
- natürlich-belüftete Räume.

Die gemischt klimatisierten Räume, künstlich und natürlich, sollen wie natürlich belüftete Räume betrachtet werden.

Die ASHRAE Standard 55 beschreibt die thermische Behaglichkeit als: *“Der Zustand der Zufriedenheit einer Person mit dem klimatischen Raumbedingungen”*⁹⁵. Die Parameter für die

⁹¹ Vgl. DIN EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005; Abrufdatum: 31.05.2012.; S. 6 ff.: *Predicted Mean Vote ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand folgender 7-stufiger Klimabeurteilungsskala vorhersagt...beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers.*

⁹² Vgl. DIN EN ISO 7730; S. 8 f.

⁹³ ASHRAE STANDARD 55-2010; Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Inc. Atlanta, GA; 2010; Abrufdatum: 21.07.2012.

⁹⁴ Vgl. ASHRAE Standard 90.1-2004; Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building; I-P Edition; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2014; Abrufdatum: 28.09.2012; S. 144.

⁹⁵ Vgl. ASHRAE Handbook—Fundamentals; Indoor Environmental Quality; Chapter 9: Thermal Comfort; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2009; Abrufdatum: 28.09.2012; S. 177-190.

Festlegung des Komfortbereichs setzen sich aus der operativen Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Zugluft und den lokal-bedingten thermischen Unbehaglichkeiten zusammen. Die Abbildung 59 zeigt zwei verschiedene Grenzkurven der maximalen Rauminnentemperatur, mit 80% bzw. 90% einer Nutzerakzeptanz für ein behagliches Raumklimaempfinden.

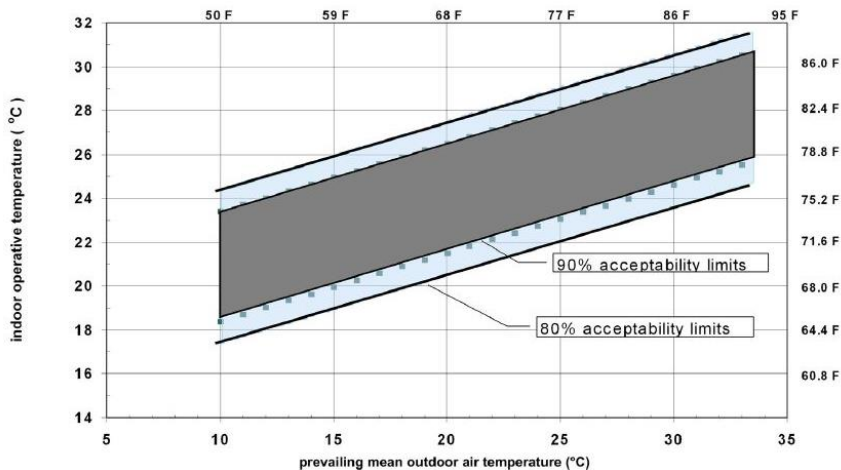


Abb. 59 Behaglichkeitsfeld für natürlich belüftete Räume nach ASHRAE Standard 55-2010 [ASHRAE, 2010; S. 3]

1.4.3 Normen Brasiliens

Seit dem Jahr 1984⁹⁶ wurden in Brasilien zunehmende Anstrengungen im Hinblick auf die Energieeffizienz und den Energieverbrauch in privaten und öffentlichen Haushalten gemacht. Mit Hilfe der Ministerien und der staatlichen Organisationen haben die verschiedenen Regierungen versucht, das Energiebewusstsein eines Landes bzw. eines ganzen Kontinents zu beeinflussen, welcher durch natürliche Ressourcen über weitreichendste Energievorräte verfügt.

Mit der Gründung des nationalen Programmes für rationelle Energienutzung – *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* – PROCEL, bisher unter der Leitung des staatlichen Unternehmens *Eletrobras*, wurde im Jahr 1991 erstmals die Planung und Steuerung der Energieressourcen von der Regierung übernommen. Die *Eletrobras* ist ein brasilianisches Energieunternehmen, welches Strom produziert und verkauft. Die Mehrheit des Aktienkapitals wird vom brasilianischen Staat gehalten⁹⁷. Die PROCEL hatte die Mission, "die Förderung der Energieeffizienz als Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität und der Effizienz von Warenaustausch und Dienstleistungen in der Bevölkerung zu verbessern und schädliche Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden."⁹⁸

⁹⁶ PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem; <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>, <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>; Datum der Veröffentlichung: Abrufdatum: 24.08.2012.

⁹⁷ ELETRO; Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>; Datum der Veröffentlichung: 2010; Abrufdatum: 13.08.2012.

⁹⁸ PROCEL; Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team={505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC}>> und <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>; Abrufdatum: 24.08.2012.

ABNT NBR 15220

Im Jahr 1991 fand in Florianópolis – Bundesland Santa Catarina, die erste nationale Normenkonferenz⁹⁹ für die rationale Anwendung von Energie und thermischer Behaglichkeit für Gebäude statt („*Primeiro Encontro Nacional sobre Normalização em Uso Racional de Energia e Conforto Ambiental em Edificações*“). Initiator dieser Konferenz war die seit 1988 gegründete Forschungsgruppe ANTAC¹⁰⁰ - Landesverband für die Technologie der gebauten Umwelt (*Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído*). Für die offizielle Vorstellung dieser Konferenz wurde unter anderem eine Kommission zu Forschungszwecken für den Bereich der thermischen Behaglichkeit und Energieeffizienz bei Gebäuden gegründet (*Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações - CE-02:135.07*) zur Erarbeitung eines Normenwerks für den Wärmeschutz für Gebäude des sozialen Wohnungsbaus – genannt ABNT NBR 15220. Seit ihrer ersten Veröffentlichung hat diese Norm einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des thermischen Verhaltens im sozialen Wohnungsbau in Brasilien geleistet.

Die brasilianische Norm ABNT NBR 15220¹⁰¹ „Wärmeschutz von Gebäuden“ beschreibt die Strategien und die technisch-konstruktiven Empfehlungen für den sozialen Wohnungsbau bis zu drei Vollgeschossen. In dieser Norm werden außerdem die Bedingungen der Mindestanforderungen für die thermische Behaglichkeit definiert. Diese Richtlinien befassen sich mit den Auslegungen der Verschattung der Öffnungen in den verschiedenen Jahreszeiten, sowie den Öffnungsgrößen für die Belüftung in Bezug zur Raumfläche und den anzuwendenden passiven Strategien. Unterteilung der Norm in fünf Abschnitte (Abb. 60):

- Teil 1: Definition, Symbole und Einheiten.
- Teil 2: Berechnungsmethoden des Wärmedurchgangskoeffizienten, Wärmedurchgangswiderstand, Phasenverschiebung und Abminderungsfaktor aller Bauteile.
- Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens mit konstruktiven Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau.
- Teil 4 und 5: Messung des Widerstandskoeffizienten und der Wärmeleitfähigkeit (Methode „*placa quente*“ und Strömungsmessmethode „*placa fluxímetro*“)

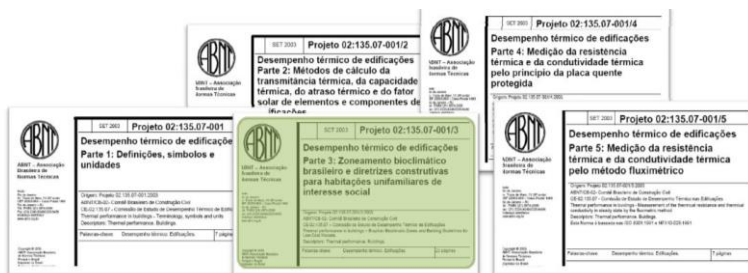


Abb. 60 Brasilianische Norm ABNT NBR 15220 [ABNT, 2005]

⁹⁹ Vgl. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional; Kap. 2 - Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações; Porto Alegre; 2003; Dokument abrufbar unter <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/122.pdf>> Abrufdatum: 20.02.2012; S. 16-46.

¹⁰⁰ ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; Website abrufbar unter: <<http://www.antic.org.br/>>; Abrufdatum: 20.02.2012.

¹⁰¹ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter <<http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

Die thermischen Eigenschaften von Gebäuden können sowohl in der Planungsphase festgestellt als auch nach der Fertigstellung untersucht werden. Bei einem fertigen Gebäude kann die Auswertung durch vor-Ort-Messungen von variablen Messpunkten durchgeführt werden, genannt *Monitoring*. Bei einem noch in der Planungsphase befindlichen Gebäude kann die Bewertung durch eine dynamische Gebäudesimulation oder anhand der Berechnungen und Prüfungen nach den Normvorgaben erfolgen.

Außer der bioklimatischen Zonierung und den konstruktiven Richtlinien für den sozialen Wohnungsbau schlägt der dritte Teil der Norm ABNT NBR 15220-3¹⁰² passive Strategien für das Raumklima anhand von Parametern festzulegenden Bereichen vor. Die bioklimatische Zonierung Brasiliens wurde zur Standardisierung der klimatischen Verhältnisse in Abhängigkeit zur thermischen Analyse der verschiedenen Klimazonen eingeführt. Die Aufteilung des Landes erfolgte in insgesamt acht Klimazonen (Abb. 61). Siehe dazu auch die einzelnen Klimaauswertungen in Kapitel 1.3.2¹⁰³.

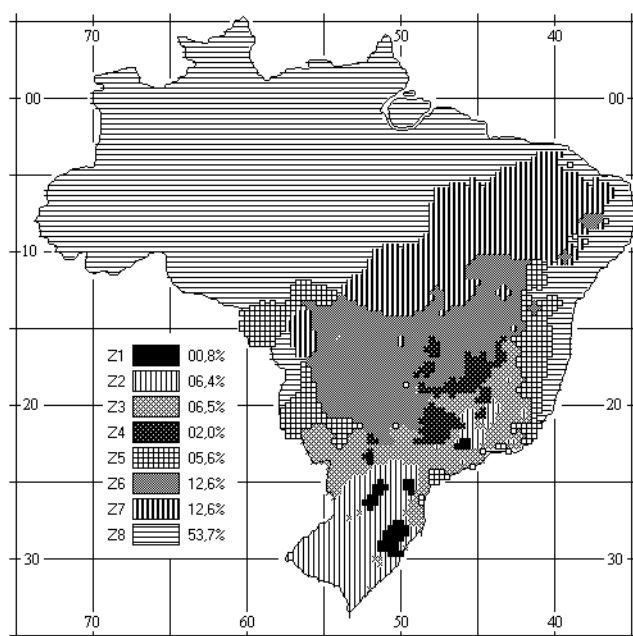


Abb. 61 Bioklimatische Zonierung Brasiliens nach der Norm ABNT NBR 15220-3 [ABNT, 2005; S. 3]

In den acht Klimazonen beschreibt die Norm NBR 15220-3 technisch-konstruktive Vorgaben zur Verbesserung der energetischen Effizienz der Gebäude. Jede Klimazone wird im Einzelnen aufgeführt und mit spezifischen Parametern versehen:

- Öffnungsgrößen (Fenster) für die Ventilation;
- Sonnenschutz- und Verschattungsmaßnahmen;
- Konstruktive bauphysikalische Eigenschaften;
- Passive Strategien für das Raumklima anhand der bioklimatischen Karte nach Givoni;

¹⁰² ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

¹⁰³ Vgl. Kap. 1.3.2, S. 31-56.

Abminderungsfaktor, massive/mittlere/leichte Bauart, Lüftungsmöglichkeiten, Verdunstungskühlung, Speicherfähigkeit der Bauteile, usw.

Alle Maßnahmen und Strategien basieren auf der bioklimatischen Untersuchungen nach Givoni¹⁰⁴ und den Erhebungen nach Mahoney¹⁰⁵.

Die Forschungsarbeiten von Mahoney dienen zur Bestimmung der konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften von Wänden und Dächern, wie:

- der Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [W/m^2K],
- die Phasenverschiebung ϕ [h] und
- dem solaren Abminderungsfaktor F_s [%].

In den Untersuchungen von Givoni¹⁰⁶ wurde ein bioklimatisches Diagramm entwickelt, welches auf den in den USA, in Europa und in Israel ermittelten Grenzwerten der Behaglichkeitszone basiert. Die in heißen Ländern durchgeführten Erhebungen und die dort angetroffenen Verhaltensweisen der Bewohner beweisen jedoch, dass in den Entwicklungs- und Schwellenländern mit warmen und feuchten Klimaten höhere Grenzwerte für eine thermische Behaglichkeit akzeptiert werden. Deshalb sollte für eine Neubewertung eine entsprechend dimensionierte Ausdehnung der Komfortzone neu definiert werden. Givoni führt weiter aus, dass das innere Raumklima von nicht konditionierten Gebäuden größere Schwankungen in Bezug zum Außenklima und zu den Gewohnheiten seiner Bewohner aufweist. Deshalb sollte der Einfluss des äußeren Klimas stärker in die Gewichtung eingehen.

Die inneren Behaglichkeitsbedingungen werden erreicht, wenn die richtige Beziehung zwischen den äußeren Klimaschwankungen mit den Gebäudeprinzipien und den Eigenschaften der Außenfläche erreicht wird. Hierdurch werden die von Givoni vorgeschlagenen Grenzwerte der Behaglichkeitszone für Entwicklungsländer in heißen Klimazonen wie folgt festgelegt:

Grenzwertpunkte des thermischen Behaglichkeitsfeldes nach Givoni (Abb. 62):

Minimumwert	18°C bei 30% bis 80% relative Luftfeuchtigkeit.
Maximalwert	26°C bei 20% bis 80% relative Luftfeuchtigkeit und 29°C bei 15% bis 50% relative Luftfeuchtigkeit.

Grenzwertpunkte des thermischen Behaglichkeitsfeldes nach Norm ABNT NBR 15220-3(Abb. 63):

Minimumwert	17°C bei 80% relative Luftfeuchtigkeit und 19°C bei 30% relative Luftfeuchtigkeit.
Maximalwert	25°C bei 80% relative Luftfeuchtigkeit und 29°C bei 30% relative Luftfeuchtigkeit.

¹⁰⁴ Vgl. GIVONI, B.: Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building, Volume 18, Issue 1; 1992; Dokument abrufbar unter <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K>> Abrufdatum: 02.11.2012; S. 11-23.

¹⁰⁵ Vgl. UNITED NATIONS. Design of low-cost housing and community facilities: Vol. 1 Climate and House Design. Department of Economic and Social Affairs. New York; 1971; Mahoney's Tabellen, S. 25-42.

¹⁰⁶ Vgl. GIVONI, 1992; S. 21, Abb. 9.

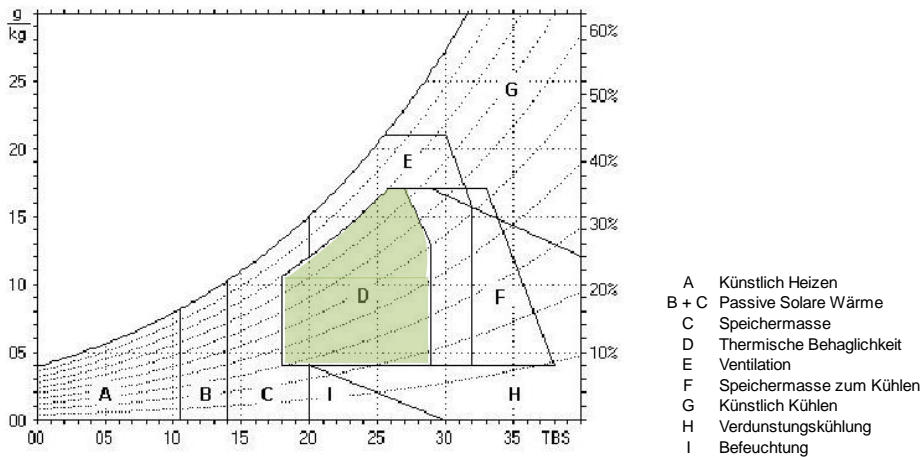


Abb. 62 Bioklimatisches Diagramm nach Givoni [GIVONI, 1992; S. 21]

Nach der ABNT Norm 15220-3¹⁰⁷ wurde darauf aufbauend ein angepasstes bioklimatisches Diagramm für Brasilien entwickelt (Abb. 66).

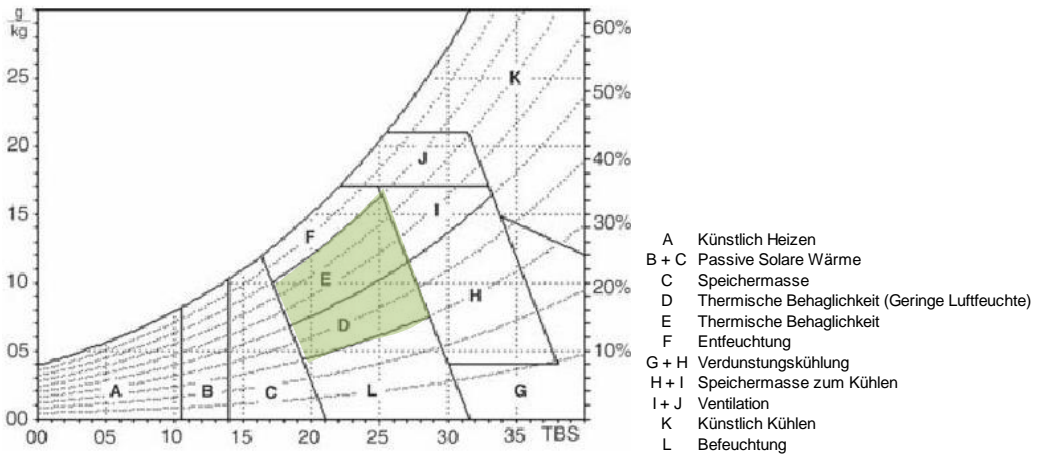


Abb. 63 Für Brasilien angepasstes bioklimatisches Diagramm nach der Norm ABNT [ABNT, 2005; S. 14]

¹⁰⁷ Vgl. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html> > Abrufdatum: 21.01.2012; S. 14 Abb. B.2.

1.4.4 Psychrometric Chart

Das *Psychrometric Chart* dient der Messung und Bestimmung der physikalischen Bedingungen der Umgebungsluft, der Beschaffenheit der Trockenluft und der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft.

Für viele Bereiche unseres menschlichen Wohlbefindens, wie zum Beispiel der thermischen Behaglichkeit, ist der Anteil des Wasserdampfes in der Luft wichtiger als die Lufttemperatur¹⁰⁸. Die Luft in einem Raum ist bestimmt durch die Temperatur und einer bestimmten Menge an Wasserdampf. Dieser Wasserdampfgehalt – genannt die Luftfeuchtigkeit – steht in unmittelbarer Abhängigkeit mit der Lufttemperatur. Normalerweise ist die Luftfeuchtigkeit für den Menschen nicht sichtbar bis zu dem Zeitpunkt, wo die Luft die Menge an Wasser nicht mehr aufnehmen kann und die maximale Luftfeuchtigkeit, also der Sättigungspunkt, überschritten wird und als Wassertropfen sichtbar ist.

In einem auf den ersten Blick komplex erscheinenden Koordinatensystem gibt das *Psychrometric Chart* fünf thermodynamische Eigenschaften der Luft an¹⁰⁹ (Abb. 64):

- Feucht- und Trockenkugeltemperatur (°C),
- Taupunkttemperatur (°C),
- Relative Luftfeuchtigkeit (%),
- Absolute Luftfeuchtigkeit (g/kg),
- Spezifische Enthalpie und Dichte (kJ/kg).

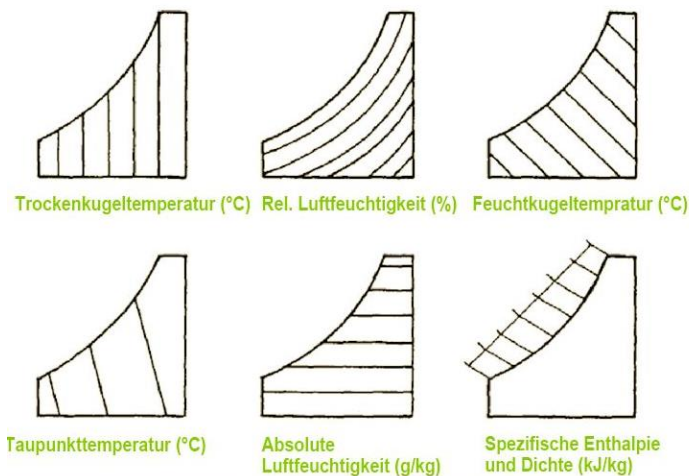


Abb. 64 Thermodynamische Eigenschaften innerhalb des *Psychrometric Charts* [CASTRO, 2008; S. 14]

¹⁰⁸ Vgl. CASTRO, Prof. Dr. Eng. José de; Engenharia Mecânica; Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, 2008, Dokument abrufbar unter: <<http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/materiais/materiais.html>> und <<http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/FT/Psicrometria2.pdf>> Abrufdatum: 15.06.2012; S. 3, 14 und 29.

¹⁰⁹ Vgl. LAMBERTS, R. et al.; Conforto Térmico e Stress Térmico; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf> Abrufdatum: 24.06.2015; S. 58 f.

Um das Diagramm benutzen zu können, müssen mindestens zwei dieser oben aufgezählten Parameter bekannt sein. Die anderen Einflussgrößen lassen sich daraus ableiten.

Zur Erreichung der Behaglichkeitszone (siehe dazu in Abb. 65 die hellgrüne Fläche) sind vertikale, horizontale und diagonale Richtungen abzulesen, denen unterschiedliche Maßnahmen zuzuordnen sind. Hat man einen Punkt durch mindestens zwei der oben aufgezählten Parameter bestimmt, so wird versucht – falls der Punkt sich außerhalb des thermischen Behaglichkeitsfeldes befindet – mittels Raumklima-Maßnahmen dem Behaglichkeitsfeld anzunähern. Vereinfacht dargestellt bestehen die Raumklima-Maßnahmen aus: Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten. In der Diagonalen gelten diese Maßnahmen als Kombination von: Heizen und Befeuchten, Heizen und Entfeuchten, Kühlen und Befeuchten, sowie Kühlen und Entfeuchten.

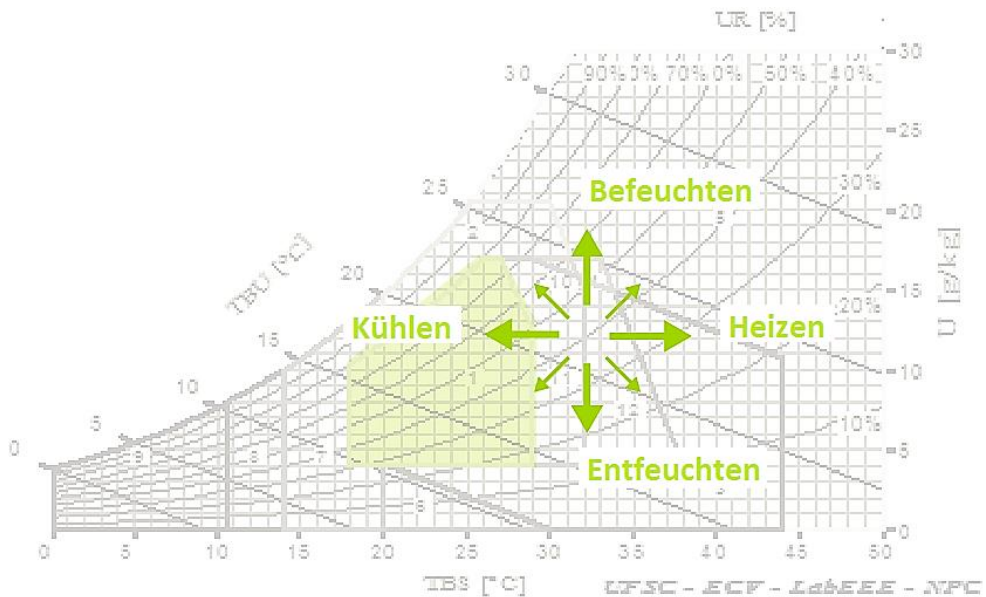


Abb. 65 Psychrometric Chart mit den Raumklima-Maßnahmen und thermischem Behaglichkeitsfeld
 [LABEEE, 1996; Programm AnalysisBio 2.2 zur Veranschaulichung des Psychrometric Charts]

1.5 Energetische Bilanzierung von Gebäuden

Das Raumklima nach Lamberts et al.¹¹⁰ wird definiert als die Summe aller Faktoren, die das Wohlbefinden der Bewohner mit dem sie umgebenden Raum aufzeigen. „Das Raumklima eines Gebäudes ist unter anderem abhängig vom Außenklima und davon, wie die Räume genutzt werden und wie viel Wärme und Feuchtigkeit innen entstehen. Der wichtigste Aspekt ist die Übertragung von Wärme zwischen innen und außen.“¹¹¹ Der Zusammenhang zwischen dem Raumklima innerhalb eines Gebäudes und dem Makroklima, also außerhalb des Gebäudes, wird maßgeblich durch die natürliche Lüftung, bzw. die Luftwechselrate bestimmt.¹¹² Aufgrund der unterschiedlichen Klimaverhältnisse besteht in Brasilien ein Heizwärme- und Kühlenergiebedarf [kWh/(m².a)] innerhalb der Gebäude. Dieser Bedarf ist davon abhängig, wieviel Wärme in das Gebäudeinnere eindringt und/oder innen durch die Inneren Lasten entsteht, sowie der Menge an Wärme, die durch Transmissions- und Lüftungswärmeverluste an den Außenraum abgegeben wird. Diese Vorgänge werden als Wärmegewinne und Wärmeverluste definiert (Abb. 66). Zur Energiebilanzierung des Heizwärme- und des Kühlenergiebedarfs werden die Wärmegewinne den Wärmeverlusten eines Gebäudes gegenübergestellt.¹¹³ Zu unterscheiden ist dabei in „sommerlichen Wärmeschutz“ und „winterlichen Wärmeschutz“. In Brasilien wird der Wärmeschutz von Gebäuden durch die Norm ABNT NBR 15220-3¹¹⁴ beschrieben.

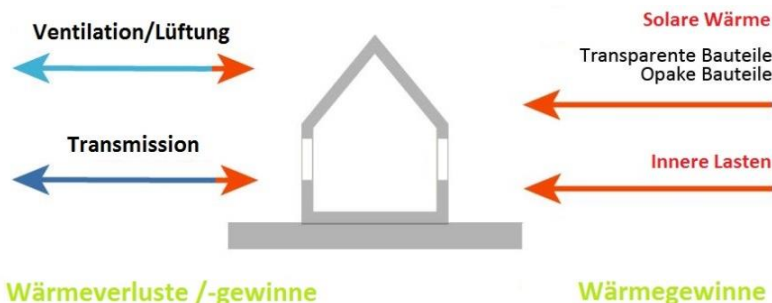


Abb. 66 Einfluss-Skala der Strategien

Passive Strategien für den winterlichen Wärmeschutz nach Norm ABNT 15220-3¹¹⁵:

Für die Klimazonen 01 bis 06, insbesondere für die gemäßigt-kalten Klimazonen 01 und 02, ist nach der brasilianischen Norm ein winterlicher Wärmeschutz zur Reduzierung der Wärmeverluste

¹¹⁰ Vgl. LAMBERTS, R. et al.; Conforto Térmico e Stress Térmico; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf> Abrufdatum: 24.06.2015; S. 3, 4.

¹¹¹ Vgl. GENIUS: GrAT - Gruppe Angepasste Technologie; Projektleiter Dr. Katharina Zwiauer; Titel Raumklima und thermische Behaglichkeit im Passivhaus; Dokument abrufbar unter <www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/raumklima/raumklima.pdf> oder <www.e-genius.at> Datum der Veröffentlichung: 2011 Abrufdatum: 17.06.2013; S. 1.

¹¹² Vgl. LAMBERTS, R.; GHISI, E. et al; Desempenho térmico de edificações; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; 2011; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_1.pdf> Abrufdatum: 31.01.2012.S. 5-8.

¹¹³ Vgl. ENEV 2014 - Leitfaden für Wohngebäude; Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V; Mein Ziegelhaus GmbH & Co. KG; Bonn; 2014; Dokument abrufbar unter: <www.zwk.de/downloads/fremde_prospekte/EnEV-Broschuere.pdf> Datum der Veröffentlichung: Mai 2014; Abrufdatum: 18.06.2014; S. 5-7.

¹¹⁴ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://norma-abnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

¹¹⁵ Vgl. ABNT, 2003; S. 3-10.

für die Gebäude vorzusehen. Die Norm beschreibt unter den Buchstaben A, B und C die entsprechenden Strategien für den winterlichen Wärmeschutz.¹¹⁶

Strategie A wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da diese den Einsatz technischer Mittel vorsieht. Die baulichen Maßnahmen und die Bauarten sollen die größtmögliche Wärmegegewinnung, Wärmespeicherung und Wärmeverteilung erzielen. Die Gebäudeform und die Ausrichtung, sowie effiziente Öffnungsgrößen und -positionierungen sind bestimmende Faktoren für eine solare Wärmegegewinnung während der kalten Jahreszeit (B). Wärmeverluste werden durch Anwendung von Bauteilen mit niedrigem Wärmedurchgangskoeffizient und hoher Rohdichte gemindert und erzeugen ein warmes und angenehmes Innenraumklima (C).

Zusammengefasst ergeben sich nach Norm folgende passive Strategien für die Klimazonen 01 bis 08:

- gemäßigt-kalte Klimazonen 01 und 02: Anwendung (B) und (C), mit Ausnahme bei extrem niedrigen Temperaturen mit Heizwärmebedarf.
- gemäßigte Klimazonen 03 und 04: Anwendung (B) und (C). Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*¹¹⁷) von 15 bis 25 % empfohlen.
- gemäßigte Klimazonen 05 und 06: Anwendung (C). Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 15 bis 25 % empfohlen.
- für die warm-trockene Klimazone 07 und die warm-feuchte Klimazone 08 ergeben sich passive Strategien nach Norm ausschließlich für den sommerlichen Wärmeschutz.

Passive Strategien für den sommerlichen Wärmeschutz nach Norm ABNT 15220-3¹¹⁸:

Für die Klimazonen 01 bis 08, insbesondere für die warm-trockene Klimazone 07 und warm-feuchte Klimazone 08, ist nach der brasilianischen Norm ein sommerlicher Wärmeschutz vorzusehen, um das Gebäude vor einer Überhitzung zu schützen und ein angenehmes Raumklima sicherzustellen. Insbesondere wird die Gebäudehülle (Wand-Boden-Dach) durch die Solarstrahlung einer Überwärmung ausgesetzt. Unter den Buchstaben F bis J beschreibt die Norm entsprechende Strategien für den sommerlichen Wärmeschutz, wobei auf die Komfortzonen unter D und E nicht eingegangen wird.¹¹⁹

Für warm-trockene Klimazonen gilt die Strategie der Verdunstungskühlung in Verbindung mit natürlicher Lüftung zur Reduzierung des Hitzeempfindens, u.a. über die Vegetation und Wasserverdunstungsmaßnahmen (G und H). Für warm-feuchte Klimazonen gilt als Hauptstrategie die natürliche Lüftung (F). Die Gebäude- und Öffnungspositionierungen sollten so ausgewählt werden, dass durch den Winddurchfluss unter einer bestimmten Windrichtung eine optimale Durchlüftung durch die Räume erzielt werden kann, um die im Innenraum entstandene Wärme aus dem Gebäude abzuführen (I und J). Eine dämmende Wirkung der an den Außenraum angrenzenden Schicht der Gebäudehülle wird mit einer niedrigen Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit unter einer zugleich hohen Rohdichte der eingesetzten Materialien erreicht (H und I). Zusammengefasst ergeben sich nach Norm folgende passive Strategien für die Klimazonen 01 bis 08:

¹¹⁶ Vgl. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012; Tabelle 25 – Passive Strategien für den winterlichen Wärmeschutz; Beschreibung der Strategien A, B und C; S. 9, 10.

¹¹⁷ Der WWR-Anteil gibt einen auf die Außenwände bezogenen Prozentsatz an, die von Öffnungen und transparenten Bauteilen bzw. den Fenstern belegt werden.

¹¹⁸ Vgl. ABNT, 2003; S. 3-10.

¹¹⁹ Vgl. ABNT; Tabelle 25 – Passive Strategien für den sommerlichen Wärmeschutz; Beschreibung der Strategien F, G, H, I, J, K und L; S. 9, 10.

-
- für die gemäßigt-kalte Klimazone 01 ergeben sich passive Strategien nach Norm ausschließlich für den winterlichen Wärmeschutz.
 - gemäßigt-kalte Klimazone 02 und gemäßigte Klimazone 03: Anwendung (J). Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 15 bis 25 % empfohlen.
 - gemäßigte Klimazone 04: Anwendung (H) und (J), letztere nur für Perioden mit einer höheren Innenraumtemperatur als die des Außenraumes. Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 15 bis 25 % empfohlen.
 - gemäßigte Klimazone 05: Anwendung (J). Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 15 bis 25 % empfohlen.
 - gemäßigte Klimazone 06: Anwendung (H) und (J), letztere nur für Perioden mit einer höheren Innenraumtemperatur als die des Außenraumes. Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 15 bis 25 % empfohlen.
 - warm-trockene Klimazone 07: Anwendung (H) und (J), letztere nur für Perioden mit einer höheren Innenraumtemperatur als die des Außenraumes. Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von 10 bis 15 % empfohlen.
 - warm-feuchte Klimazone 08: durchgängige Anwendung (J), mit Ausnahme bei extrem hohen Temperaturen mit Kühlenergiebedarf. Für die Durchlüftung wird ein WWR-Anteil (*Window-to-Wall-Ratio*) von über 40 % empfohlen.

1.5.1 Wärmegewinne

Die Wärmegewinne der Heizperiode im Gebäude setzen sich aus den Lüftungsgewinnen zusammen, den solaren Wärmegewinnen durch transparente oder opake Bauteile und den inneren Lasten (Abb. 66¹²⁰). „Die Gewinne entstehen durch die Sonneneinstrahlung auf das Gebäude und werden über Fensterflächen, aber auch durch das Dach, die Wände oder von der Bodenplatte ins Innere des Gebäudes geleitet. Wie hoch die solaren Gewinne sind, hängt von mehreren Faktoren ab (Jahres-/Tageszeit, Standort, Bewölkung, Verschattung usw.) und kann durch planerische Entscheidungen auch beeinflusst werden.“¹²¹ Die transparenten Bauteile, wie Öffnungen und Öffnungsgröße, können dementsprechend dimensioniert und für eine bestimmte Ausrichtung positioniert werden.

Für Brasilien, also für Länder der Südhalbkugel, bringen großflächige Öffnungen nach Norden ausgerichtet zusätzlichen Eintrag an solaren Gewinnen. Für kalt-gemäßigte Klimaregionen mit Bedarf an Heizwärme können solare Wärmegewinne eine Reduzierung des Heizenergiebedarfs erzielen. Für die warm-feuchten und warm-trockenen Klimaregionen sollten nach Norden gerichtete Öffnungen hauptsächlich für eine bessere Ventilation und Durchlüftung eingesetzt werden. Je nach Region und entsprechender Klimazone, haben solare Wärmegewinne eine negative Beeinflussung auf das Gebäude und können zu einer Überhitzung und einer daraus resultierenden Unbehaglichkeit des Raumklimas führen. Das Raumklima kann dann nur noch durch aktive Strategien verbessert werden, die aber zu einer Erhöhung des Kühlenergiebedarfs führen. Bei einer Untersuchung der klimatischen Verhältnisse einer genaueren Analyse unterzogen, um mit passiven Strategien, wie z.Bsp. dem Einsatz von Verschattungselementen, der Planung natürlicher Verschattungen durch Vegetation oder durch Lüftungsmethoden einen unerwünschten Einsatz aktiver Maßnahmen zu vermeiden. Die solaren Wärmegewinne entstehen an allen Bauteilen der Gebäudehülle, insbesondere aber durch den direkten Strahlungsdurchgang

¹²⁰ Siehe Abb. 66, S. 68.

¹²¹ GENIUS: GrAT - Gruppe Angepasste Technologie; Projektleiter Dr. Katharina Zwiauer; Titel Raumklima und thermische Behaglichkeit im Passivhaus; Dokument abrufbar unter <www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/raumklima/raumklima.pdf> oder <www.e-genius.at> Datum der Veröffentlichung: 2011 Abrufdatum: 17.06.2013; S. 6.

durch die transparenten Bauteile eines Gebäudes. Folgende Faktoren haben Einfluss auf die solaren Gewinne¹²²:

- Fensterflächenanteil im Bezug zu den Außenwänden (WWR-Anteil);
- feste Verschattungselemente, wie Vordächer oder eine Nachbarbebauung;
- bewegliche und flexible Sonnenschutzeinrichtungen;
- der von transparenten Bauteilen bestimmte Gesamtenergiedurchlassgrad [g-Wert] der Verglasung.

1.5.2 Wärmeverluste

Die Wärmeverluste innerhalb des Gebäudes setzen sich zusammen aus den Transmissions- und den Lüftungswärmeverlusten (Abb. 66¹²³). Beide Faktoren werden durch die Wärmeleitung und den Wärmestrom aus dem Gebäude nach außen übertragen.

„Transmissionswärmeverluste [kWh/a]: Transmissionswärmeverluste werden auch Wärmedurchgangsverluste genannt. Sie umfassen die Menge an Energie, die durch den Temperaturunterschied von innen nach außen durch die gesamte Gebäudehülle transmittiert. Das Bauteil setzt dabei dem Wärmedurchgang einen Widerstand entgegen. [...] oder kurz U-Wert des Bauteils ausgedrückt.“¹²⁴

Der U-Wert von Bauteilen [W/(m².K)] – Wärmedurchgangskoeffizient – ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Transmission. Als allgemeine Aussage kann man sagen: Je größer der U-Wert von Bauteilen einer Gebäudehülle, umso größer sind die Wärmeverluste. Je kleiner der U-Wert, umso geringer sind die Wärmeverluste und umso größer sind die Wärmedämmeigenschaften eines Bauteils.

„Lüftungswärmeverluste [kWh/m².a]: Lüftungswärmeverluste beschreiben die Verluste, die durch die Belüftung eines Gebäudes entstehen: Warme Innenluft wird durch kühlere Außenluft ersetzt und muss auf Raumtemperatur erwärmt werden. Zählt man die Transmissionswärmeverluste hinzu, so ergibt sich der notwendige Heizwärmebedarf.“¹²⁵ Dabei gilt es zwischen einer kontrollierten und unkontrollierten Lüftung zu unterscheiden, wobei letztere aufgrund von Undichtigkeiten des Gebäudes den Heizwärmebedarf negativ beeinflussen kann.

1.5.3 Maßnahmen

Für die Einhaltung eines behaglichen Raumklimas bedarf es einiger Raumklimamaßnahmen, wie Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten und Lüften. Diese Maßnahmen stehen in Abhängigkeit mehrerer Einflüsse, die innerhalb und außerhalb des Gebäudes auftreten und in direkter Verbindung zum Energiebedarf des Gebäudes stehen, der sich aus den Wärmegewinnen und den Wärmeverlusten errechnet. „Sind die Wärmegewinne höher als die Wärmeverluste, erwärmt sich der Innenraum und im Extremfall kann Kühlung notwendig werden. Sind umgekehrt die Wärmeverluste höher als die Wärmegewinne, muss Heizenergie zugeführt werden, um die Temperaturen im Komfortbereich zu halten. Diese Kühl- und Heizlasten können vermieden oder

¹²² ENEV 2014 - Leitfaden für Wohngebäude; Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.; Mein Ziegelhaus GmbH & Co. KG; Bonn; 2014; Dokument abrufbar unter: <www.zwk.de/downloads/fremde_prospekte/EnEV-Broschuere.pdf> Datum der Veröffentlichung: Mai 2014; Abrufdatum: 18.06.2014; S. 12 f.

¹²³ Siehe Abb. 66, S. 68.

¹²⁴ HEGGER, M.; Faßflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 282.

¹²⁵ HEGGER, 2013; S. 279.

verringert werden, indem man Wärmegewinne und -verluste bereits beim Planen eines Gebäudes beachtet.“¹²⁶

Heizen

Die Raumklimamaßnahme Heizen wird dann eingesetzt, wenn die Innenraumtemperatur so weit abgekühlt ist, dass dem Raum eine gewisse Menge an Wärme zugeführt werden muss, um eine thermisch-behagliche Raumtemperatur zu erzielen. Um den Wärmebedarf zu decken, müssen in der Planung die Eigenschaften des Gebäudes hinsichtlich Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung und Wärmeübertragung berücksichtigt werden. Der Heizwärmebedarf wird aus den Wärmegewinnen und Wärmeverlusten der Gebäudehülle berechnet. „Die Wärmeübertragung erfolgt immer von der höheren zur niedrigeren Temperatur.“¹²⁷ Zur Berechnung des Heizwärmebedarfs wird in dieser Arbeit das dynamische Verfahren der Gebäudesimulation angewendet.

Kühlen

Die Raumklimamaßnahme Kühlen wird dann eingesetzt, wenn die Innenraumtemperatur so aufgewärmt ist, dass eine gewisse Menge dieser Wärme aus dem Raum abgeführt oder entnommen werden muss, um eine thermisch-behagliche Raumtemperatur zu erzielen. Das Kühlen steht im Zusammenhang mit dem Begriff des Sonnenschutzes. „Der Sonnenschutz umfasst die Funktionen Wärme- und Blendschutz, wobei ein Wärmeschutz zusätzlich die Funktion des Blendschutzes übernehmen kann.“¹²⁸ Der Wärmeschutz im Sommer besteht darin, das Gebäude vor einer inneren Überhitzung zu schützen. Im Winter hingegen wird eine maximale Nutzung der solaren Wärmegewinne angestrebt. Für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs wird in dieser Arbeit das dynamische Verfahren der Gebäudesimulation angewendet.

Lüften

Die Raumklimamaßnahme Lüften wird unter anderem aus hygienischen Gründen zur Erneuerung der Innenraumluft eingesetzt. Das Außenklima, Temperaturdifferenzen, Luftströmungen und Windgeschwindigkeit sowie das Verhältnis von Außenluft- und Innenraumtemperatur und die Anzahl und das Nutzerverhalten der Bewohner sind maßgebende Faktoren für die Bestimmung der Menge und Notwendigkeit des benötigten Luftaustausches innerhalb eines Gebäudes. „Eine natürliche Luftbewegung resultiert immer aus Druckunterschieden infolge von Temperaturdifferenzen. Makroklimatisch steht diese Energie als Wind zur Verfügung, mikroklimatisch als thermischer Auftrieb.“¹²⁹ Dieses Lüften kann sich auf die Energiebilanzierung des Gebäudes zum negativen oder positiven auswirken. Für die Raumklimamaßnahme Lüften geht die Ventilation in dieser Arbeit als fester Eingangsparameter für das dynamische Verfahren der Gebäudesimulation ein und wird anhand der Luftwechselrate bestimmt.¹³⁰

¹²⁶ GENIUS: GrAT - Gruppe Angepasste Technologie; Projektleiter Dr. Katharina Zwiauer; Titel Raumklima und thermische Behaglichkeit im Passivhaus; Dokument abrufbar unter <www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/raumklima/raumklima.pdf>; Datum der Veröffentlichung: 2011 Abrufdatum: 17.06.2013; S. 4, 5.

¹²⁷ HAYNER, M., Ruoff, J., Thiel, D.; Faustformel Gebäudetechnik: für Architekten; Deutsche Verlags-Anstalt (DVA); München; 2010; S. 11.

¹²⁸ HAYNER, 2010; S. 54.

¹²⁹ HEGGER, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M.; Energie Atlas: Nachhaltige Architektur; Birkhäuser GmbH; 2007; S. 99.

¹³⁰ Siehe dazu Kap. 3.3.2 Strategie G – Gebäude, Ventilation – Natürliche Lüftung, S. 129-132.

1.6 Energetische Strategien in Gebäuden

Das Bauwesen hat bezüglich Ressourcenverbrauch und seiner Auswirkung auf den Klimawandel einen wichtigen Einfluss. „Für Gebäude gilt es, systemische Lösungsansätze zu entwickeln, die passive sowie aktive Strategien für die fünf grundlegenden Energiethemen eines Gebäudes behandeln: Wärme, Kälte, Luft, Licht und Strom. Passive Strategien versuchen den Energiebedarf des Gebäudes zu minimieren“¹³¹ – also in kälteren Klimaten die Wärme innerhalb des Gebäudes zu halten oder in wärmeren Klimaregionen das Gebäude vor einer Überhitzung zu schützen. Bei der Nutzung passiver Energie geht es darum, die Wärme im Winter zu halten und im Sommer eine Überhitzung zu vermeiden. Strategien für eine natürliche Belüftung und Belichtung sollten in das Gebäudekonzept einbezogen werden. Dabei sind natürliche Ressourcen und die vor Ort gegebenen Energiequellen ein wichtiger Einflussfaktor. Der Energiebedarf soll anhand passiver Strategien in Form von planerischen Maßnahmen der Bauweise, der Konstruktion und der Materialauswahl reduziert werden.

1.6.1 Passive Strategien

Im folgenden Kapitel werden die passiven Strategien unter dem Prinzip der Raumklima-Maßnahmen dargestellt. Das Potenzial der passiven Maßnahmen hängt in erster Linie von den vor Ort gegebenen Energiequellen wie Sonne, Wind, Wasser und Erde ab. Anhand einer genauen Analyse der Klimaverhältnisse kann man eine Aussage treffen, ob ausreichend Potenzial vorhanden ist, um den Bedarf an Raumklima-Maßnahmen wie Heizen, Kühlen, Entfeuchten und Befeuchten hinsichtlich einer Behaglichkeit des Raumklimas auszuschöpfen und mit Hilfe passiver Strategien zu decken.

Vorrangig sollten die in der Umgebung vorhandenen Energiequellen zur Planung von Strategien einer passiven Architektur genutzt und ausgeschöpft werden, bevor ein aktiver Einsatz zur Regelung des Raumklimas erfolgt. In der Abbildung 67 werden die Verknüpfungen zwischen Energiequellen, Raumklima-Maßnahmen und den Klimazonen Brasiliens dargestellt. Bei den Klimazonen sind vier ausgewählte Zonen gekennzeichnet, einschließlich der dazugehörigen Referenzstädte. Als Verbindungsglied zwischen den Energiequellen und den Klimazonen gelten die Raumklimamaßnahmen mit den dazugehörigen passiven Strategien. Aus der Abbildung kann man die für die jeweiligen Klimazonen Brasiliens benötigten Raumklima-Maßnahmen¹³² entnehmen:

- Klimazone 08 mit der Referenzstadt Recife und ihrem thermischen Empfinden im Jahr: Warm mit 73,4 %; Raumklimamaßnahme: Kühlen und Entfeuchten;
- Klimazone 07 mit der Referenzstadt Picos und ihrem thermischen Empfinden im Jahr: Warm mit 86,8 %; Raumklimamaßnahme: Kühlen und Befeuchten;
- Klimazone 03 mit der Referenzstadt São Paulo und ihrem thermischen Empfinden im Jahr: Kalt mit 52,8 % und Warm mit 43,1 %; Raumklimamaßnahme: Kühlen, Entfeuchten und Heizen;
- Klimazone 01 mit der Referenzstadt Curitiba und ihrem thermischen Empfinden im Jahr: Kalt mit 82,5 %; Raumklimamaßnahme: Heizen.

¹³¹ HARTWIG, J.; Keller, M.; Pick, P.; Kommunal-Info 3/2014; Energieeffizient bauen, Nachhaltiger Bau und Betrieb von Gebäuden; Dokument abrufbar unter <https://issuu.com/links-sachsen/docs/links_04_2014>; Datum der Veröffentlichung: 26.03.2014 unter www.gemeinderat-online.de/; Abrufdatum: 17.06.2014; S. 4.

¹³² Siehe prozentual-numerische Auswertungen der Klimazonen 01 bis 08 in Anlage C1; S. 199-202.

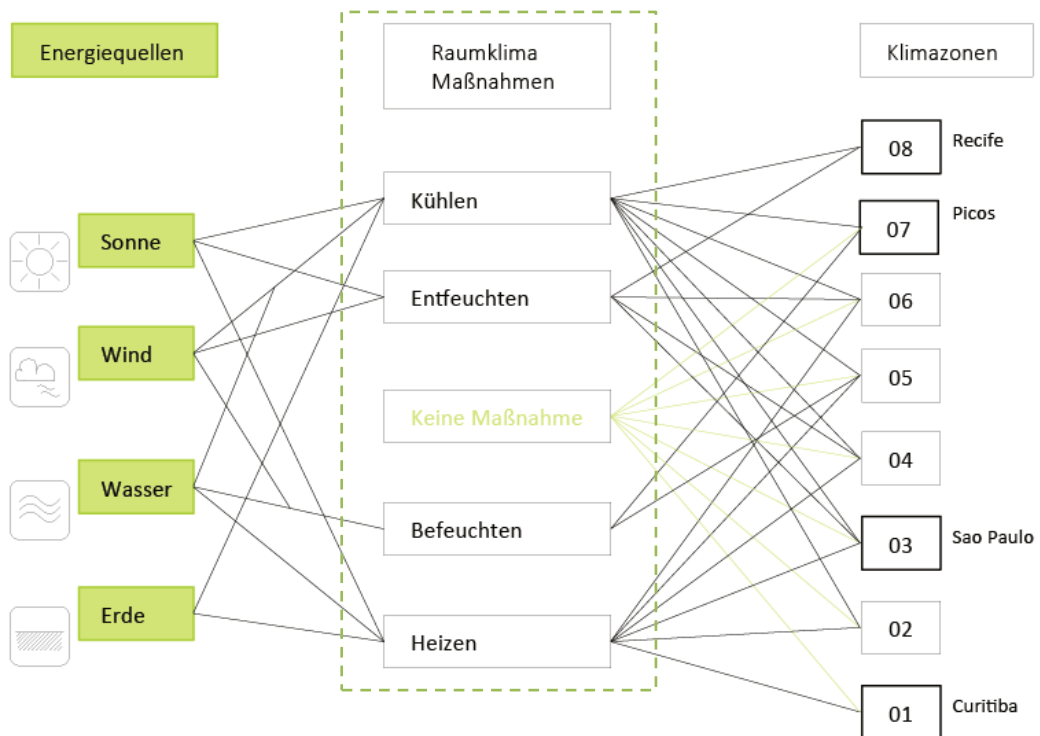


Abb. 67 Verknüpfung zwischen Energiequellen – Raumklimamaßnahmen – Klimazonen Brasiliens

1.6.2 Strategien-Katalog

Für die Aufteilung der passiven Strategien wurde eine erste „Katalog-Matrix“ erstellt, mit einer Gruppierung der Raumklimamaßnahmen in Bezug zu verschiedenen Strategien. Diese Matrix (Anlage G) ist ein beispielhafter, den jetzigen Forschungsstand beschreibender Katalog, der nur eine begrenzte Anzahl von noch viel mehr möglich erscheinenden Strategien Optionen aufzeigt.

Zu unterscheiden ist der Einsatz von passiven Strategien:

- Entwurfs- und Planungsphase, erste Ideen und Ansätze;
- Nutzungsphase: Aufnahme des Ist-Zustandes (thermische Behaglichkeit im Innenraum und Energieverbrauch der Raumklimamaßnahmen) zur Auswahl der Strategien; Ausrichtung und Positionierung von Öffnungen (Fenster, Türen) und Bauteile (Dach), Variablen der Konstruktions- und Bauweise (Außenwand, Bodenplatte), Verschattungsmaßnahmen und Untersuchung Materialität Gebäudehülle (Aufbringung Lehmputz, Absorptionsgrad der Außenwand).

In der Entwurfsphase ist das Gebäude noch in Planung und bedarf einer breitgefächerten Analyse des Ortes, der vorhandenen potenziellen Energiequellen, der Festlegung der Gebäudetypologie und seiner Ausrichtung, sowie der Konstruktions- und Bauweise und der Materialauswahl. In der Nutzungsphase bedarf es entsprechend der Entwurf- und Planungsphase ebenso einer Analyse des Ortes und der dort vorhandenen potenziellen Energiequellen. Zusätzlich wird eine Auswertung des Ist-Zustandes benötigt, um den Energieverbrauch hinsichtlich der Raumklimamaßnahmen zu berechnen und den Zustand der thermischen Behaglichkeit innerhalb

des Gebäudes darzustellen. Mit diesen Auswertungen können im nächsten Schritt Maßnahmen an passiven Strategien getroffen werden, um die Effizienz des Gebäudes zu optimieren. Beide Phasen werden in dieser Forschungsarbeit berücksichtigt.

In Abbildung 68 wird eine Skala dargestellt, die die verschiedenen Einflussgrößen in Beziehung setzt: ausgehend vom Ort als Außenraum zum Gebäude bis hin zum Innenraum, unter dem jeweiligen Detaillierungsgrad der Konstruktion und der Materialität des Gebäudes. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Bereiche „Ort“, „Gebäude“, „Konstruktion“ und „Material“ mit ihren dazugehörigen möglichen passiven Strategien beschrieben.

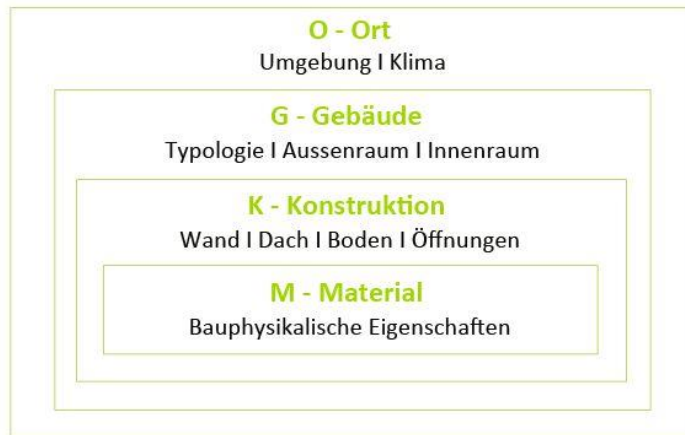


Abb. 68 Größenskala der Strategien

1.6.3 O - Ort

Für die Planung und den Bau eines Gebäudes und seinen energie- und materialtechnischen Anforderungen müssen der geografische Ort mit seinen dazugehörigen Klimadaten berücksichtigt werden. Sonne und Wind, Erde und Wasser, sowie die Vegetation gelten als Energiequellen für die Planung der Raumklimamaßnahmen durch passive Strategien.

Energiequellen

Der Ort sollte so ausgewählt sein, dass ausreichend energetisches Potenzial ausgeschöpft werden kann. Für eine nachhaltige Architektur sollte sich das Gebäude der Umgebung anpassen, planerisch wie auch konstruktiv. Eine fundierte Kenntnis der klimatischen Bedingungen, sowie das Integrieren von vor Ort vorhandenen baulichen Ressourcen und Materialien erzeugen ein Gleichgewicht zwischen Natur und Gebäude für eine maximale Nutzung und Ausschöpfung der gegebenen Energiepotenziale der Umgebung.

Um das Potenzial dieser Quellen zu nutzen, ist eine Voranalyse der Klimadaten und eine Bewertung des geografischen Standortes aufzustellen. Eine ausführliche Klimaauswertung berücksichtigt u.a. die Außenlufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit und -richtung, die Globalstrahlung (zusammengesetzt aus direkter Solarstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung) und den Bewölkungsgrad (Einfluss auf die Solarstrahlung). Durch diese Auswertung können die notwendigen Schlüsse zur Auswahl der

Bauform, der Materialität, der Konstruktion, der Bauweise und der Ausrichtung des Gebäudes getroffen werden.

1.6.4 G - Gebäude

Die auf das Gebäude einwirkenden Raumklimamaßnahmen, wie Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten, werden in dem folgenden Abschnitt durch bauliche Maßnahmen aufgezeigt.

Ausrichtung

Eine ressourcenschonende Architektur wird als bioklimatisch bezeichnet, wenn sie durch die Anwendung geeigneter passiver Strategien mit den das Gebäude umgebenden Klimaverhältnissen im Einklang steht.¹³³ Als Einflussfaktoren für passive Strategien können im Wesentlichen die Windrichtung und Windstärke, die Sonneneinstrahlung, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit, sowie die in der Umgebung anzutreffenden Naturgegebenheiten genannt werden.

Die Orientierung eines Gebäudes und die Ausrichtung seiner transparenten Bauteile bestimmen maßgeblich den Wärmegewinn bzw. Wärmeverlust während der Heizperiode - können aber gleichzeitig eine Überhitzung während der Kühlperiode verursachen. Brasilien liegt auf der Südhalbkugel, sodass Gebäude, welche der gemäßigten Klimazone angehören, nach Norden ausgerichtet ein maximales Potenzial an solarer Energie nutzen können. Gebäude, die nahe dem Äquator liegen und ein warm-feuchtes oder warm-trockenes Klima haben, sollten die Öffnungen nach Norden reduzieren, um solare Wärmegewinne zu vermeiden und das Gebäude vor einer Überhitzung zu schützen. Ist die Ausrichtung eines Gebäudes festgelegt, so können weitere Strategien konstruktiv wie auch planerisch darauf konzipiert und eingesetzt werden.

Kompaktheit von Gebäuden

Das A/V-Verhältnis beschreibt das Verhältnis zwischen der Hüllfläche des Gebäudes A (m²) und dessen Volumen V (m³). Als Gebäudehülle zählen alle opaken und transparenten Bauteile, die an den Außenraum angrenzen, wie Boden, Wand, Dach, sowie Öffnungen allgemein. Je kompakter ein Gebäude, desto geringer der A/V-Wert und desto weniger wärmeübertragende Flächen pro Gebäudevolumen. Jedoch bedeutet das auch, je kompakter und geringer die Gebäudehülle, desto geringer die Energiegewinnung.¹³⁴

Raumbildung

Für eine angenehme Behaglichkeit des Raumklimas und eine größtmögliche Anpassung der Gebäude an zukünftige Notwendigkeiten und Bedarfe seiner Bewohner soll die Gebäudeplanung Änderungs- und Erweiterungsmöglichkeiten (Flexibilität) berücksichtigen, die zum Beispiel den Anbau von weiteren Schlafräumen oder den Bau eines zusätzlichen Stockwerks ermöglichen.

¹³³ Vgl. LAMBERTS, R.; GHISI, E. et al; Desempenho térmico de edificações; LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; 2011; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_1.pdf> Abrufdatum: 31.01.2012.S. 23.

¹³⁴ Vgl. HEGGER, M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 119, 120.

Für die Grundrissgestaltung bedeutet das eine Anordnung der Räumlichkeiten mit ähnlichen Temperaturbedingungen, thermischen Anforderungen, Belichtung und Nutzung in einer gemeinsamen Zone.¹³⁵

Für kältere Regionen Brasiliens, zwischen dem 34° und 18° südlicher Breite (Klimazone 01, 02 und ein Teil der Klimazonen 03 und 04)¹³⁶, die entsprechend eine kürzere oder längere Winterperiode aufweisen, sollte eine effiziente thermische Zonierung angewendet werden. Für die Planung bedeutet das eine Ausrichtung der Wohn- und Aufenthaltsräume nach Norden, sodass diese Räumlichkeiten in den Wintermonaten direkter Sonneneinstrahlung unterliegen. Auf der Südseite können Nebenräume, Treppen und der Eingangsbereich angeordnet werden. Ebenfalls können aus energetischer Sicht die Küche und die Wasch- und Abstellräume nach Süden hin positioniert werden. Verschattungselemente, wie ein Vordach, halten die senkrecht einfallenden Sonnenstrahlungen im Sommer ab und ergeben solare Gewinne in den kälteren Jahreszeiten.

Für die gemäßigten und tropisch-wärmeren Regionen Brasiliens, zwischen dem 18° südlicher und 5° nördlicher Breite (hauptsächlich Klimazonen 05, 06, 07 und 08, sowie einem Teil der Klimazonen 03 und 04)¹³⁷, bedarf es einer genaueren Klimaanalyse, in der sich eine Aufteilung in warm-trockene und tropisch-feuchte Klimaregionen ergibt. Eine konzentrische Zonierung kann die Räumlichkeiten vor einer Überhitzung schützen, da diese im verschatteten Innenkern angeordnet sind, unter der Voraussetzung einer ausreichenden Verschattung und Durchlüftung. Für die wärmeren Klimazonen 07 und 08 ist der Einsatz der Durchlüftung wegen der hohen Außentemperaturen in seinen Auswirkungen begrenzt.

Ventilation - Natürliche Lüftung

Die natürliche Lüftung ist eine passive Strategie, in der durch Temperaturdifferenzen ein Austausch der Raumluft mit der externen Luft stattfindet. Je höher ein Temperaturunterschied zwischen Außen- und Innenraumtemperatur besteht, desto größer ist der Luftaustausch. Die natürliche Lüftung verringert die effektive Innenraumtemperatur. Die Luftbewegung sorgt für zusätzliche Aufnahme von Feuchte und beschleunigt den konvektiven Wärmeaustausch zwischen Umgebungsluft und dem menschlichen Körper, da die durch die Luftzirkulation trockenere Luft Wasserdampf aufnehmen kann und somit Verdunstungskälte freigesetzt wird. Bei den in Brasilien teilweise anzutreffenden warm-feuchten Klimaregionen wird die natürliche Belüftung als einfachste Strategie eingesetzt, um eine thermische Behaglichkeit bei einer hohen Innenraumtemperatur im Vergleich zu einer niedrigeren Außenraumtemperatur zu erzielen. Für den Menschen hat dieser Prozess subjektiv eine abkühlende Wirkung. Die Umgebung fühlt sich dadurch thermisch behaglicher an.¹³⁸

Die klimatischen Auswertungen der acht Klimazonen in Kap. 1.3.2¹³⁹ haben aufgezeigt, dass die Strategie der Ventilation für die Klimazone 05 mit 37% und für die Klimazone 08 mit 48% als wichtigste raumklimatische Maßnahme für eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit vorgeschlagen wird. Für die Klimazone 06 mit 16% und die Klimazone 07 mit 20% gilt die Ventilation erst nach der Strategie der Verdunstungskühlung als zweit-wichtigste Maßnahme.

Wichtige Einflussfaktoren sind die Öffnungstypologien und -größen, sowie die Ausrichtung, bezogen auf eine natürlich-dominante Lüftungsrichtung. Die Gebäudepositionierung sollte so

¹³⁵ Vgl. HEGGER, M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 121.

¹³⁶ Siehe dazu Auswertungen der Klimazonen 01-04 auf S. 33-44.

¹³⁷ Siehe dazu Auswertungen der Klimazonen 05-08 auf S. 45-56.

¹³⁸ Vgl. GIVONI, Baruch; Man, climate and architecture. London: Applied Science Publisher, 1976; S. 60-67.

¹³⁹ Siehe Kapitel 1.3.2; Seite 31-56.

ausgewählt werden, dass durch den Winddurchfluss einer bestimmten Windrichtung eine optimale Durchlüftung erzielt werden kann. Nachbarbebauungen und Vegetationen sollten bei dieser Analyse berücksichtigt werden. Die unterschiedlichen Lüftungsarten bestehen aus der einseitigen Lüftung, der Querlüftung und dem Kamineffekt, wobei die ersteren beiden durch Windeinwirkungen verursacht werden, während letzterer durch Auftrieb aus der Temperaturdifferenz erzeugt wird.

Einseitige Lüftung: Findet bei einem Raum mit nur einseitiger Öffnung statt. Einflussfaktoren sind u.a. die Öffnungsgröße und –positionierung. Wenn die Innenraumtemperatur höher ist als die Außenraumtemperatur, gelangt bei dem Luftaustausch durch die Öffnung die kältere Luft in den unteren Raumbereich und drängt die nach oben steigende wärmere Luft durch Auftriebskräfte nach außen. Ist die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen niedrig oder die Windstärke fällt niedrig aus, ist die Luftzirkulation dementsprechend gering. Für einen Kühlungseffekt in heißen Klimaregionen ist die einseitige Raumlüftung nicht besonders wirksam¹⁴⁰, ähnlich wie auch bei Klimazonen mit Heizperioden.

Querlüftung: Die Querlüftung findet bei einem Raum mit zwei nach außen und entgegengesetzt liegenden Öffnungen statt, welcher eine Durchlüftung durch verschiedene Druckverhältnisse ermöglicht. Der Wind, welcher durch die Öffnung in das Rauminnere gelangt, erzeugt einen positiven Druck auf dieser Öffnungsseite, genannt Luv. Auf der entgegengesetzten Seite und zweiten Öffnung wird dadurch ein negativer Druck erzeugt, genannt Lee. Diese Druckdifferenz verursacht eine Luftströmung von positiv zur negativ. Die Intensität des Luftdurchflusses hängt u.a. von der Entfernung der Öffnungen ab, von den verschiedenen zu durchquerenden Räumen und der Öffnungsgröße und –positionierung. Der Winddurchfluss ist bei der Querlüftung proportional zu der Druckdifferenz und der Windgeschwindigkeit der Außenluft. Das Potenzial zur Anwendung der Querlüftung steht in Abhängigkeit von Windrichtung und Windstärke.¹⁴¹

Kamineffekt: Steht in Abhängigkeit von der Luftdichte und der erhitzten Innenraumluft. Bei wärmerer Innenraumluft steigt die erhitzte Luftmasse zu dem oberen Raumbereich. Der unten verbleibende Raumbereich wird von einer Luftmasse mit niedrigerer Temperatur und größerer Luftdichte ausgefüllt. Diese Luftströmung bzw. die Abluft des Gebäudes erfolgt von der Lufteintrittsöffnung eines niedrigeren Bereiches zu Austrittsöffnungen im oberen Bereich des Raumes. Die Intensität und Geschwindigkeit des Luftdurchflusses hängt von der Raumhöhe und der Temperaturdifferenz zwischen erhitzter Innenraumluft und der Außenluft ab.¹⁴²

In wärmeren Klimazonen haben die Innen- und Außenlufttemperaturen eine geringe Differenz zueinander und nähern sich der Zone der thermischen Unbehaglichkeit. Die geringen Temperaturunterschiede sind nicht ausreichend, um eine für die thermische Behaglichkeit notwendige Luftströmung bzw. Ventilation zu erzeugen. Eine Differenz zwischen Innen- und Außenraumluft von 10°C erzeugt maximal eine Luftgeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s.¹⁴³ Die Strategie des Kamineffektes ist für diese Klimazonen aufgrund einer zu niedrigen Amplitude kaum anwendbar. Nur unter verschiedenen Druckverhältnissen und entsprechenden Luftöffnungen ist eine natürliche Lüftung zu erzielen und nur dann anzuwenden, wenn die Außenlufttemperatur nicht höher ist als die des Innenraumes.

In den urbanen Räumen oder Siedlungen bedeutet eine ungünstige Gebäudepositionierung eine Beeinträchtigung des Luftdurchflusses, wobei sich die Gebäude als Hindernis für die natürliche

¹⁴⁰ Vgl. SANTAMOURIS, M.; Wouters, P.; *Building Ventilation: The State of the Art.*; Verlag Earthscan; London; 2006; S. 6, 7.

¹⁴¹ Vgl. SANTAMOURIS, 2006; S. 7-9.

¹⁴² Vgl. SANTAMOURIS, 2006; S. 9, 10.

¹⁴³ BITTENCOURT, L.; Candido, C.; *Introdução à ventilação natural.*; Verlag EDUFAL; Maceió; 2005.

Luftzirkulation erweisen und somit die Lebensqualität der Bewohner verringern. Aufgrund vieler unterschiedlicher Einflussfaktoren ist die natürliche Lüftung bei der Stadtplanung und dem Siedlungsbau das am meisten sich verändernde Element und sollte in seiner Auswirkung für jede Projektsituation untersucht und betrachtet werden. Eine klimatische Auswertung des Ortes hinsichtlich dominierender Windstärken, und -richtungen die Nachbarbebauung, sowie die Berücksichtigung der umgebenden Vegetation helfen bei einer optimalen Gebäudepositionierung mit maximaler Nutzung der vorhandenen Windströmungen für eine positiv sich auf das thermische Behaglichkeitsempfinden auswirkende Durchlüftung.

Innere Lasten

Innere Lasten oder auch interne Gewinne entstehen, wenn sich innerhalb eines Gebäudes Wärmequellen befinden, wie z.Bsp. Bewohner und elektrische Geräte, und diese nicht auf eine Heiztechnik zurückzuführen sind. Die Bedürfnisse der Nutzer sind sehr verschieden und stimmen zum Teil nicht mit den Anforderungen für ein energieeffizientes Gebäude überein. Jedes Wohngebäude ist ein Einzelfall und sollte individuell analysiert werden, da die in der kalten Jahreszeit vielleicht sinnvolle Maximierung der internen Gewinne im Sommer hingegen zu einem zusätzlichen Kühlenergiebedarf führen kann.

1.6.5 K - Konstruktion

In den folgenden Abschnitten werden Einflussfaktoren auf den Bereich der Konstruktion unter Anwendung passiver Strategien dargestellt.

Solare Gewinne

Der Einfluss der Solarstrahlung ist für die acht Klimazonen Brasiliens durch die geographische Lage eines betreffenden Ortes, also dem Breitengrad bestimmt. Die Betrachtungsweise ändert sich beträchtlich bei der fast kontinentalen Ausdehnung Brasiliens in Nord- und Südrichtung. In der südlichen Hemisphäre erzielen transparente Bauteile, die nach Norden ausgerichtet sind, im Winter die höchsten Wärmegewinne, während sie im Sommer leichter gegen Überhitzung zu schützen sind. Für eine maximale Nutzung der solaren Gewinne und einer sinnvollen Fensteranordnung und -orientierung bedarf es einer Festlegung des Ortes und dessen Analyse der klimatischen Bedingungen, insbesondere der Einflussgröße der diffusen und direkten solaren Strahlung¹⁴⁴, sowie dem Sonnenstands Diagramm.

Bei der Anwendung passiver Strategien zur maximalen Nutzung der Solarstrahlung¹⁴⁵ und des daraus resultierenden Einflusses auf den Energiebedarf eines Gebäudes sind bestimmte Maßnahmen zur Verschattung, zur Ausrichtung und zur Materialität zu berücksichtigen:

- In den heißen Klimazonen ist eine fast ganzjährige Verschattung anzuraten, während in den gemäßigten und kälteren Klimazonen Brasiliens eine selektive Verschattung vorzusehen ist, um einen Zugang der Strahlung zur Erwärmung des Gebäudes zu ermöglichen. Von Vorteil ist es grundsätzlich, das Gebäude nach der Nord-Süd-Achse auszurichten und die Anwendung von festen Verschattungselementen vorzusehen.

¹⁴⁴ Vgl. HEGGER, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M.; Energie Atlas: Nachhaltige Architektur; Birkhäuser GmbH; 2007; S. 53, 54.

¹⁴⁵ Für die Auswertungen der Referenzstädte der Klimazonen 01-08 siehe dazu Anlage B, S. 192-198.

- Feste oder flexible bzw. alternative Verschattungselemente für die Winter- und Sommerzeit, um auch die je nach Jahreszeit verschiedenen Einfallswinkel der Sonnenstrahlung für den Maßnahmenkatalog auszunutzen.
- Planung einer spezifischen Vegetation der nächsten Umgebung mit z.B. Laubbäumen, die nicht nur der saisonalen Verschattung dienen, sondern auch zum Eintrag von solaren Wärmege winnen je nach Jahreszeit.
- Größe und Positionierung, Glasflächenanteil der Fassade, besonders aber die Ausrichtung der transparenten Öffnungen und Flächen; Wärmege winne durch direkte und diffuse Strahlung in das Gebäudeinnere und daraus folgende Erwärmung der Böden, Wände und Decken.

Bauart

Durch einen Körper, an dessen Oberfläche eine Temperaturdifferenz herrscht, fließt Wärme. Bei Gebäuden und besonders durch die Gebäudehülle fließt Wärme durch die Bauteile vom wärmeren zum kälteren Ort, in den kalten Jahreszeiten von innen nach außen und im Sommer z.B. von außen nach innen. Die Wärmeleitung durch ein Bauteil wird durch die spezifischen Eigenschaften seiner Materialschichten, dessen Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte und Dicke beeinflusst. „Je kleiner die Wärmeleitung, desto besser die Wärmedämmwirkung des Baustoffs.“¹⁴⁶

Der Wärmedurchgang wird mit seinem Koeffizienten, dem U-Wert, mit der Einheit $[W/(m^2 \cdot K)]$ bemessen und berücksichtigt die Wärmeübertragungseffekte Konvektion und Strahlung. Bauteile mit einem hohen U-Wert haben einen geringeren thermischen Widerstand und eine höhere Wärmeübertragung. Ein geringer U-Wert vermeidet Wärmeverluste in der kalten Jahreszeit, während die Wärme im Sommer außerhalb des Gebäudes bleibt.

Die Wärme wird in massiven Bauteilen wie Beton oder Mauerwerk besonders gut gespeichert. Die im Laufe des Tages gewonnene und gespeicherte Wärme wird zeitversetzt in der kühlen Nacht wieder abgegeben und wird bauphysikalisch als Phasenverschiebung bezeichnet, d.h. hohe sommerliche Außentemperaturen erreichen die Innenseiten der Gebäude erst zeitversetzt und können durch eine geeignete Lüftung abgekühlt werden.¹⁴⁷

Die Wärmespeicherfähigkeit nicht nur der Gebäudehülle, sondern auch von raumangrenzenden Bauteilen beeinflussen das Raumklima mit der Bestimmung des Auskühl- und Aufheizverhaltens eines jeweiligen Raumes. „Je größer deren Wärmespeicherfähigkeit ist, desto langsamer kühlt ein Raum aus und umso langsamer lässt er sich aufheizen.“¹⁴⁸ Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit hängt von der Anordnung der Materialschichten eines Bauteils ab. Jede Materialschicht wird durch die spezifische Wärmekapazität, die Rohdichte, die Dicke, sowie durch die Fläche des Bauteils bestimmt. Dabei ist die thermisch wirksame Wärmespeicherfähigkeit auf eine begrenzte Dicke beschränkt und kann „nur bis zu einer Wärmedämmschicht oder bis maximal 10 cm berücksichtigt werden.“¹⁴⁹

Da in Brasilien sehr unterschiedliche klimatische Bedingungen herrschen, empfiehlt sich vorab in der Planung eine klimatische Analyse, um die passende Bauart auswählen zu können, die den thermischen und energetischen Aspekten genügen. Dabei sollte das Gebäude vor einer

¹⁴⁶ ZUERCHER, C.; Frank, T.; Bauphysik - Bau und Energie; Verlag Vdf Hochschulverlag; 2014; S. 29, 30.

¹⁴⁷ Vgl. HEGGER, M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 158, 159.

¹⁴⁸ FISCHER, H.-M., Jenisch, R., Freymuth, H., Stohrer, M., Richter, E., Häupl, P., Homann, M.; Lehrbuch der Bauphysik, Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima; 6., aktualisierte Auflage; Vieweg+Teubner Verlag; 2008; S. 141.

¹⁴⁹ FISCHER, 2008; S. 268, 269, 293.

Auskühlung und/oder Überhitzung geschützt werden, ohne das Behaglichkeitsempfinden im Innenraum negativ zu beeinträchtigen. Eine erste konstruktive Hilfestellung beschreibt die brasilianische Norm ABNT 15220¹⁵⁰ anhand der Definition der Bauart und ihrer spezifischen Eigenschaften für Wände und Dach, entsprechend der verschiedenen Klimazonen. Dabei wird für jede der acht Klimazonen die Bauart durch die Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit in eine leichte, mittlere oder schwere Bauart eingestuft.

Öffnungen

Für eine maximale passive Solarenergienutzung sollten transparente Flächen der Gebäudehülle über einen hohen g-Wert, Gesamtenergiedurchlassgrad, verfügen. Der g-Wert gibt an, wieviel Prozent der auf den transparenten Flächen auftreffenden Sonnenenergie als durchgelassene Strahlung und Wärme im Gebäude ankommt. Ein Teil der Solarenergie wird reflektiert, ein anderer von der Verglasung absorbiert, dabei erwärmt sich das Glas. Zuletzt wird ein Anteil direkt durch die Verglasung transmittiert. Zusammen ergeben diese Anteile von Reflexion, Absorption und Transmission 100%.¹⁵¹ In der warmen Jahreszeit sollten die Fenstergläser viel Licht, aber wenig solare Wärme in das Gebäude lassen. Um eine sommerliche Überhitzung zu vermeiden, sollte der g-Wert daher klein sein. Für eine optimale Tageslichtnutzung sollte der Transmissionsgrad möglichst hoch sein. In der kalten Jahreszeit sollten die Fenstergläser viel solare Wärme gewinnen und wenig davon nach außen durchlassen. Für eine winterliche solare Wärmegegewinnung sollte der g-Wert daher hoch sein.

Ein erhöhter Flächenanteil an transparenten Bauteilen an der Gebäudehülle steigert das Potenzial der passiven Solarenergiegewinnung; entsprechend kann in wärmeren Klimazonen eine Gebäudeüberhitzung entstehen. Der Einsatz von baulichen bzw. baukonstruktiven Verschattungs- und Sonnenschutzmaßnahmen könnte einer solchen Gebäudeerwärmung entgegenwirken. Maßgebende Einflussfaktoren sind die Größe und Anordnungen der Fensterflächen, sowie die Art der Verglasung und Fensterrahmen.

Beim Wärme- und Blendschutz von Öffnungen ist zu beachten, dass ein innenliegender Sonnenschutz eine geringere Auswirkung hat als eine außenliegende Sonnenschutzzeineinrichtung. Zu unterscheiden ist dabei ein außen positionierter, ein am Fenster oder ein innenliegender Sonnenschutz. Beispiele für innenliegende Maßnahmen sind weiße oder reflektierende Oberflächen, wie z.Bsp. Vorhänge, die vor den Öffnungen angebracht sind. Beispiele für außenliegende Elemente sind Vordächer, Fensterläden, Rollläden, Markisen, usw. „Ein wirksamer Sonnenschutz entsteht aus der sinnvollen Kombination von Verglasung und Sonnenschutzzeineinrichtung. (...) Bei Wärmeschutzverglasungen liegt dieser Wert zwischen 55% und 65%. Durch Sonnenschutzsysteme kann der Gesamtenergiedurchlassgrad auf unter 20% reduziert werden. Ein außenliegender Sonnenschutz hat dabei eine deutlich bessere Wirkung als ein innenliegender.“¹⁵²

¹⁵⁰ Vgl. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012; S. 4-10 und Anhang C auf S. 17.

¹⁵¹ Vgl. FISCHER, H.-M., Jenisch, R., Freymuth, H., Stohrer, M., Richter, E., Häupl, P., Homann, M.; Lehrbuch der Bauphysik, Schall-Wärme-Feuchte-Licht-Brand-Klima; 6., aktualisierte Auflage; Vieweg+Teubner Verlag; 2008; S. 167-169.

¹⁵² HAYNER, M., Ruoff, J., Thiel, D.; Faustformel Gebäudetechnik: für Architekten; Deutsche Verlags-Anstalt (DVA); München; 2010; S. 57.

1.6.6 M - Material

Der energetische Wirkungsgrad hängt für ein Gebäude zum überwiegenden Maße von den konstruktiven Maßnahmen und der Auswahl der baulichen Materialien ab. Mit einer adäquaten thermischen Anpassung an die lokal geltenden Klimabedingungen versuchen Architekten und Ingenieure den Energieverbrauch zu minimieren und den Einsatz von technischen Lösungen zur künstlichen Klimatisierung anhand passiver Maßnahmen zu vermeiden.

In der brasilianischen Norm ABNT-NBR 15220¹⁵³ sind Richtwerte für die Bauweise von Wänden, Decken und Dächern unter dem Einfluss der Temperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit für alle acht Klimazonen beschrieben. Die Norm definiert den Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [W/m^2K], die Phasenverschiebung ϕ [h] und den solaren Abminderungsfaktor F_s [%] von Wänden und Decken.

Die Materialwahl hat einen großen Einfluss auf die Wärmeeigenschaften der thermischen Gebäudehülle. „Materialien bieten über die drei physikalischen Prozesse Absorption, Wärmespeicherfähigkeit und Phasenverschiebung die Möglichkeit, den Wärmefluss zu regulieren.“¹⁵⁴ Ihre Wärmespeicherfähigkeit ist sehr wichtig für den Energiebedarf des Gebäudes. Das Wärmespeichervermögen eines Materials bestimmt die Zeit, welche der Baustoff des Bauteils braucht, um sich auszukühlen bzw. aufzuheizen. Dabei ist die Rohdichte, die Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmekapazität des Materials ein wichtiger Einflussfaktor. Je höher die Rohdichte, desto länger ist die Phasenverschiebung und desto höher ist das Wärmespeichervermögen. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, je höher ist das Wärmedämmverhalten eines Materials.¹⁵⁵

In Brasilien herrschen unterschiedliche klimatische Bedingungen, sodass die Gebäude sowohl gegen Kälte und Hitze geschützt werden müssen, um z.Bsp. eine zu hohe oder zu niedrige Luftfeuchtigkeit ausgleichen und regulieren zu können. Die Gebäudehülle sollte einen guten Wärmeschutz aufweisen können. Bei der Konstruktion ist es entscheidend, ob der Wandaufbau aus einer Materialschicht besteht oder ob eine zusätzliche Wärmedämmschicht aufgebracht werden soll. Bei einer zusätzlich aufgetragenen Wärmedämmschicht ist die Lage der Aufbringung ein entscheidender Faktor, mit folgenden Möglichkeiten: innenseitig, außenseitig oder zwischenliegend als zweischaliger Wandaufbau.¹⁵⁶

Opake Bauteile

Die opaken Bauteile der Gebäudehülle sind die an den Außenraum angrenzenden Bauteile wie die Außenwand und das Dach. In Abhängigkeit von den Bauteileigenschaften werden die auf der Oberfläche aufgenommenen Solarstrahlungen in Wärme umgewandelt. Die opaken Bauteile übertragen die Solarstrahlung nicht in Form von Licht, sondern als Wärme. Ein Teil dieser Wärme wird reflektiert und ein Teil wird als Wärmeenergie in das Gebäudeinnere absorbiert und übertragen. Diese Wärmeübertragung tritt dann auf, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen der inneren und äußeren Oberfläche vorhanden ist. „Die Farbgestaltung der Oberfläche beeinflusst die Absorption maßgeblich. Diese wird durch den Strahlungsabsorptionsgrad α für das

¹⁵³ Vgl. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html> > Abrufdatum: 21.01.2012; S. 4-10 und Anhang C auf S. 17.

¹⁵⁴ HEGGER, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M.; Energie Atlas: Nachhaltige Architektur; Birkhäuser GmbH; 2007; S. 158.

¹⁵⁵ Vgl. FISCHER, H.-M., Jenisch, R., Freymuth, H., Stohrer, M., Richter, E., Häupl, P., Homann, M.; Lehrbuch der Bauphysik, Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima; 6., aktualisierte und erweiterte Auflage; Vieweg+Teubner Verlag; 2008; S. 141-144.

¹⁵⁶ Vgl. FISCHER, 2008; S. 148-153.

energetisch wirksame Spektrum des Sonnenlichts beschrieben.¹⁵⁷ Je dunkler eine Oberfläche ist, desto höher ist der Absorptionsgrad, desto geringer ist der Reflexionsgrad und umso mehr Solarstrahlung wird absorbiert. Je heller die Fläche, desto geringer die Absorption und umso höher die Reflexion.

Transparente Bauteile

Die transparenten Bauteile der Gebäudehülle sind Fenster oder andere Öffnungen¹⁵⁸ mit einem lichtdurchlässigen Material. Die Durchlässigkeit eines jeden transparenten Bauteils definiert den Transmissionsgrad. Bei höherem Transmissionsgrad tritt auch mehr solare Strahlung in das Gebäudeinnere ein. „Eine passive Nutzung der Solarstrahlung über Fensterflächen ist prinzipiell immer vorhanden, selbst (...) durch diffuse Solarstrahlung.“¹⁵⁹ Entscheidende Faktoren sind die Größe, Art der Verglasung und die Positionierung der transparenten Bauteile. Die Solarstrahlung wird sowohl in Form von Licht als auch Wärme übertragen. „Der Gesamtenergiedurchlassgrad g einer Verglasung gibt an, welcher Anteil der außen einfallenden Strahlung im Innern des Gebäudes wärmewirksam wird.“¹⁶⁰

Gebäudehülle

Die thermische Gebäudehülle¹⁶¹ umfasst alle Bauteile, die an den Außenbereich, an einen unbeheizten Außenraum oder an den Erdboden angrenzen: Außenwand, Dach und Boden. Für das thermische und energetische Verhalten eines Gebäudes ist die Gebäudehülle von größter Bedeutung, da sie als Trennebene zwischen dem Außen- und Innenraum eine schützende und zugleich versorgende Funktion übernimmt. „Mit den gestiegenen Behaglichkeitsanforderungen übernimmt die Hülle komplexe, klimaregulierende Eigenschaften und (...) hat als Schnittstelle zudem oft widersprüchliche Anforderungen zu erfüllen.“¹⁶² Im Sommer hat die thermische Gebäudehülle die Funktion einer inneren Überhitzung entgegenzuwirken; im Winter bedarf es einer maximalen Nutzung und Speicherung an solaren Wärmegewinnen. Das ganze Jahr hindurch jedoch gilt es für einen ausreichenden Bedarf an natürlicher Belüftung und Belichtung zu sorgen.

¹⁵⁷ ENEV 2014 - Leitfaden für Wohngebäude; Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.; Mein Ziegelhaus GmbH & Co. KG; Bonn; 2014; Dokument abrufbar unter: <www.zwk.de/downloads/fremde_prospekte/EnEV-Broschuere.pdf> Datum der Veröffentlichung: Mai 2014; Abrufdatum: 18.06.2014; S. 13.

¹⁵⁸ Siehe dazu im Kapitel 1.6.5 – Öffnungen; S. 80, 81.

¹⁵⁹ HEGGER, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M.; Energie Atlas: Nachhaltige Architektur; Birkhäuser GmbH; 2007; S. 118 und S. 92.

¹⁶⁰ ZUERCHER, C.; Frank, T.; Bauphysik - Bau und Energie; Verlag Vdf Hochschulverlag; 2014; S. 50.

¹⁶¹ Vgl. HEGGER, M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 142-144.

¹⁶² HEGGER, M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013; S. 142.

2 Problemstellung, Methode und Zielsetzung

Problemstellung

Bei dem Land Brasilien handelt es sich vom Klima und der geologischen Beschaffenheit um eine der weltweit unterschiedlichsten Staaten, in dem durch die jahrhundertelange Kolonisation und durch die indigene Bevölkerung verschiedenste Haus- und Wohntypologien angetroffen werden können. Brasilien bietet aufgrund seiner immensen Ausdehnung, von 5° nördlicher bis 34° südlicher Breite, eine enorme Klimavielfalt an. Die in jedem Ort der acht verschiedenen Klimazonen vorhandenen passiven energetischen Potenziale durch die Sonneneinstrahlung, durch die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung, durch die Niederschlagsmenge und die Tag-Nacht-Temperaturverhältnisse sind wesentliche Faktoren, die einer genaueren Untersuchung hinsichtlich ihres Einflusses auf die Architektur und die Bauplanung bedürfen.

Die Entwicklung des Landes und die Geschichte der Wohnarchitektur Brasiliens ist aufgrund einer schnell wachsenden Bevölkerung erst in den letzten 50 Jahren von einer großen Dynamik erfasst worden und betrifft mehrheitlich die sozial schwächeren Bevölkerungsschichten (Klasse C und D)¹⁶³. Dass dadurch entstandene Wohnungsbaufizit verursacht eine immense Nachfrage an Wohneinheiten. Dabei kommt es zu enormen sozialen Spannungen im Land. Mit verschiedenen Initiativen von Wohnungsbauprogrammen versuchen Regierung und private Unternehmen diesen Bedarf zu decken. Die Wohneinheiten müssen kurzfristig einer Bevölkerungsschicht zugänglich gemacht werden, die sich in den letzten 30 Jahren vervielfacht hat.¹⁶⁴

Die bisher in der Geschichte anzutreffenden Wohntypologien, zum Teil noch aus der Kolonialzeit mit der „Casa Térrea“, werden dem aktuellen Wohnungsbaukonzept der „Casa Popular“ gegenübergestellt. Trotz der beschleunigten Bauweise dieser neuen sozialen Wohnungsbaueinheiten und ihrer gleichzeitigen Realisierung in allen acht Klimazonen Brasiliens sollten die Mindestanforderungen an Infrastruktur und Wohnqualität erfüllt werden. Über die zuständigen Ministerien und ihren zugeordneten Banken wurde den Bauunternehmen zur Realisierung der Wohnungsbauprogramme ein verbindlicher technischer Baukatalog mit Vorschriften, Auslegungen und Bauausführungen zugänglich gemacht.¹⁶⁵

Eine ungenügende Beachtung der klimatischen Bedingungen kann Defizite für die thermische Behaglichkeit in den Wohnungen erzeugen, ohne das ein am Ort vorhandenes passives energetisches Potenzial genutzt wird. Bei der Menge der zu erstellenden Wohneinheiten - im sechsstelligen Bereich - besteht ein immanenter Forschungsbedarf, um die sozialwirtschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen dieser Wohnungsbauprogramme zu untersuchen, eventuelle Defizite darzulegen und gegebenenfalls mit baulichen und bauphysikalischen Lösungsansätzen für eine Optimierung zu versehen. Kriterien für Optimierungsmaßnahmen des Raumklimas, wie die Ausrichtung der Wohneinheiten zu einer maximalen Nutzung der solaren Gewinne, eine effiziente Materialauswahl, sowie eine dem Wärmeschutz genügende Bauweise stehen im Vordergrund dieser Forschungsarbeit.

¹⁶³ IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Demografische Statistik, Monatliches Einkommen, 2010, <http://ftp.ibge.gov.br/Orcamentos_Familiares/Pesquisa_de_Orcamentos_Familiares_2008_2009/Despesas_rendimentos_e_condicoes_de_vida/tab_rendimentos.zip>, Abrufdatum: 03.09.2012.

¹⁶⁴ Vgl. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Demográfico, rojeção da População do Brasil por sexo e idade: 1980-2050 - Revisão 2008, Dokument abrufbar unter: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2008/projecao.pdf> Abrufdatum: 17.12.2013; S. 21, Tabelle 2; Die Bevölkerungszahlen im Jahr 1980 lagen bei ca. 190.000.000, 1990 bei ca. 157.000.000, 2000 bei ca. 171.000.000 und 2010 bei ca. 193.000.000 Millionen.

¹⁶⁵ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

Methode

In den Grundlagenrecherchen wurden zum einen die acht verschiedenen Klimazonen Brasiliens mit deren jeweiligen energetischen Potenzialen ausgewertet und zum anderen die möglichen energetischen passiven Strategiemaßnahmen aufgezeigt, die auf die Architektur angewendet werden können.

In einer Voruntersuchung werden die *Casa Térrea* eine traditionelle Bauweise der Kolonialzeit mit der *Casa Popular* als Beispiel einer dem heutigen sozialen Wohnungsbauprogramm entsprechenden Wohngebäudetypologie auf ihre Raumstruktur, Konstruktion und Materialität verglichen (Kapitel 2.2).

Für die weitere Untersuchung werden repräsentativ vier Klimazonen für die hauptsächlich vorkommenden Klimata ausgewählt (Kapitel 2.3). Die Auswahl der Klimazonen erfolgte unter Betrachtung bestimmter Kriterien wie dem Wohnungsbaudefizit, der Wohnbaudichte, dem Flächenanteil in Prozent der durch die Norm ABNT NBR 15220-3 bestimmten Ausdehnung der jeweiligen Klimazone, sowie einer Auswahl der in Brasilien anzutreffenden unterschiedlichen warm-feuchten, warm-trockenen, gemäßigten und gemäßigt-kalten Klimata.

Beide Häuser werden für die vier ausgewählten Klimazonen bezüglich ihres thermischen Verhaltens und ihres energetischen Bedarfs als Ganzjahresauswertung simuliert, ausgewertet und miteinander verglichen. Als Bilanzierungs-Werkzeug wird das dynamische Gebäudesimulationsprogramm *EnergyPlus*¹⁶⁶ eingesetzt, welches im folgenden Kapitel 2.1 als Werkzeug vorgestellt wird. Eine ausführliche Beschreibung für die Simulation beider Gebäudemodelle wird im Kapitel 2.4 behandelt.

Die Voruntersuchung mit der Zwischenauswertung (Kapitel 3.1) hat als Zielsetzung, die Potenziale und Defizite zweier unterschiedlicher Bauweisen transparenter zu machen, wobei sich beide Häuser in ihrer Wohnfläche und Nutzung ähnlich sind.

In der Hauptuntersuchung (Kapitel 3.2) dient die *Casa Popular* als Ausgangsmodell, da sie den Mindestanforderungen der aktuellen Bauvorschriften und Wohnstandards entspricht.

Für die weiteren Forschungsschritte werden gezielt energetisch passive Strategien ausgewählt und auf die *Casa Popular* angewendet, simuliert, ausgewertet und mit dem Ist-Zustand verglichen. Eine bibliografische Vorstellung erfolgte bereits im Kapitel 1.6.

Im Kapitel 3.3 werden ausgewählte Strategien ausführlich beschrieben und als bauliche Umsetzungen zeichnerisch dargestellt. Die variablen Strategien sollen dabei eine Auswahl an möglichen Maßnahmen aufzeigen, die sich für die jeweilige Klimazone als thermisch-energetisch-effizientes Potenzial herausstellt oder als Defizit in einem negativen Ergebnis resultiert. Die Auswertungen nach Strategieeinsatz werden getrennt nach Klimazonen in Kapitel 3.4 angegeben.

Zielsetzung

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Optimierung der thermischen Behaglichkeit und eine Reduzierung des Energiebedarfs, bezogen auf die Raumklimatisierung der *Casa Popular* als repräsentatives Wohngebäude mit einer maximalen Nutzung und Ausschöpfung der in den Klimazonen vorhandenen Energiepotenziale als bauliche passive Strategien.

¹⁶⁶ Vgl. ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus; Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus; University of Illinois; Mai 2011; S. 14-16.

2.1 Werkzeug

2.1.1 Dynamische Gebäudesimulation

Der Geschäftsbericht des DOE – *U.S. Department of Energy*¹⁶⁷ (Energieministerium der Vereinigten Staaten von Amerika) listet mehr als 330 unterschiedliche und in verschiedenen Ländern entwickelten Simulationsprogramme auf, wie zum Beispiel: *BLAST*, *DOE2.1E*, *EnergyPlus*, *TRNSYS*, *Tas*, *TRACE*, *eQUEST*, *ECOTECT*, *PowerDomus* u.v.m. Viele dieser nationalen und internationalen Simulationsprogramme wurden hauptsächlich für die Berechnung der thermischen Lasten, der Bewertung der thermischen Behaglichkeit und der Energieeffizienz von Gebäuden entwickelt. Der Einsatz der EDV (Elektronischen Datenverarbeitung) und hochentwickelter Computerprogrammierung hat diese Art von Lösungsansätzen zur Energieoptimierung überhaupt erst möglich gemacht.

Ausgehend von dem architektonischen Projekt und den raumklimatischen Gegebenheiten wird für die Simulation ein Gebäudemodell definiert. Um das thermische und energetische Verhalten durch die Simulation auswerten zu können, wird das Gebäude in thermische Zonen unterteilt.

Für jede thermische Zone werden die Werte der inneren Lasten festgelegt: Beleuchtung, elektrische Geräte und Personenanzahl. Diese Lasten werden in Form von Belegungs- und Zeitplänen dargestellt und fließen als *schedules* in die Simulationen ein. Jede Aufstellung eines Simulationsmodells beginnt mit der Festlegung seiner Parameter (*input*).

Für ein bestehendes Gebäude müssen die Eingangswerte möglichst realitätsnah angenommen werden. Die für die Simulation geltenden Kennwerte werden mit den in der Realität vorkommenden Zustandsdaten des Gebäudes verglichen.

Für ein noch in der Planungsphase befindliches Gebäude werden möglichst geeignete Kennwerte für das thermische Verhalten und die Belüftung definiert. In der Modellierungsphase des Gebäudes können gewisse Vereinfachungen der Parameter zur Verringerung der Komplexität der Berechnungen vorgenommen werden, ohne die Aussagekraft der Ergebnisse zu beeinträchtigen.

Die dynamische Gebäudesimulation wird in drei wesentliche Schritte unterteilt:

- 1) Erstellung eines Gebäudemodells in einem kompatiblen *Add-On Program*;
- 2) Dynamisches Gebäudesimulationsprogramm mit Eingaben von *input*;
- 3) Ausgabe der Simulationsergebnisse als *output*.

Für die Simulationen dieser Forschungsarbeit wurde das dynamische Gebäudesimulationsprogramm *EnergyPlus*¹⁶⁸ ausgewählt. An vielen brasilianischen Universitäten wird dieses Simulationsprogramm für wissenschaftliche Forschungszwecke am häufigsten genutzt. Die Datenbank mit den brasilianischen Wetterdateien ist wissenschaftlich geprüft und steht der Allgemeinheit zur Verfügung. Mit Hilfe von „Schritt-für-Schritt“¹⁶⁹ Anleitungen, die von brasilianischen Universitäten herausgegeben werden, erreicht man einen hilfestellenden und unterstützenden Einstieg in das Programm.

¹⁶⁷ DOE - U.S. Department Of Energy <<http://www.energy.gov/science-innovation/energy-efficiency>> und <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>; Abrufdatum: 18.6.2014.

¹⁶⁸ ENERGYPLUS - EnergyPlus Energy Simulation Software, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, Programm Download unter: <<https://energyplus.net/>>; Abrufdatum: 27.07.2012.

¹⁶⁹ LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações ; Florianópolis; Introdução ao EnergyPlus, s/d.; 2006; Abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Tutorial%20EnergyPlus%202006.pdf>; Abrufdatum: 27.07.2012.

2.1.2 EnergyPlus

„Energy-Plus“¹⁷⁰ ist ein dynamisches Gebäude- und Anlagen-Simulationsprogramm zur Berechnung des Energieverbrauchs für Heizung, Kühlung, Belüftung, Beleuchtung und sonstige Haustechnik. Damit kann die detaillierte Vorhersage des Energieverbrauchs von Gebäuden unter Berücksichtigung der klimatischen Randbedingungen erstellt werden.

Das Programm wurde in der Maschinensprache *Fortran90* geschrieben, ohne ein Betriebssystem wie Windows, Linux oder MacOS zu benötigen. Für die Anwendung von EnergyPlus wird das *Interface EPLaunch* (Abb. 70¹⁷¹) benötigt, mit dem die gewünschten Simulationvarianten berechnet werden können.

Die Eingangsparameter *input* für eine Simulation unter *EnergyPlus* erfolgt mit einer Datei im IDF-Format (*Input Data File*) mit den entsprechenden Informationen zur Ausführung der Simulation. Das *Interface IDF-Editor* (Abb. 71¹⁷²) wird für die Ausführung der Eingabe benutzt und steht in der Archivfunktion nach erfolgten Simulationen zur Verfügung.

Der Einfluss eines jeden Parameters wird mit der thermischen Bilanzierung analysiert. Die Energiebilanz eines jeden Bauteils wird im *EnergyPlus*-Programm berechnet und basiert auf den Wärmeübertragungsprozessen der Wärmeleitung, der Konvektion und der Wärmestrahlung, die bei den inneren und äußeren Oberflächen auftreten.¹⁷³

Die Wärmegewinne durch die inneren Lasten wie Beleuchtung, Geräte und Personenanzahl sind für die Wärmebilanzierung des Gebäudes von großer Bedeutung und fließen mit in die Berechnung der Simulationen ein.

Bei der Modellierung des Gebäudes sind die Räume nicht als geometrische sondern als thermisch-energetische Zonen zu betrachten. Eine thermische Zone besteht aus einem gleichen Raumklima mit externen Oberflächen (Wärmeübertragung) und inneren Oberflächen (Wärmespeicherung). Die thermischen Zonen werden durch die raumklimatischen Verhältnisse bestimmt. Unter dieser Betrachtung können mehrere Räume in einer thermischen Zone zusammengefasst werden, wenn sie den gleichen Temperaturverhältnissen und Raumklimaten unterliegen. Die Trennung dieser Zonen und Verhältnisse wird durch verschiedene Bauteildefinitionen beschrieben: *External*, *Adjacent* und *Boundary Walls*.

„Die Definition und Verortung erfolgt über external, adjacent und boundary walls. Die external Wall grenzt an das Außenklima, die adjacent wall ist verbindendes Bauteil zweier benachbarter Zonen, die boundary wall grenzt an frei definierte Bedingungen.“¹⁷⁴

EnergyPlus simuliert die thermisch-dynamischen Wärmeleistungen und den Energieverbrauch des Gebäudes anhand der Projektdaten und der äußeren Bedingungen:

- Berechnung des Gebäudes und Auswertung der Klimadaten in Zeitschritten von 01-Minute bis 60-Minuten für den betreffenden Ort;
- Geometrische Auslegung des Gebäudes;
- Beschreibung der konstruktiven Bauteile (Wände, Dach, Böden, ...);

¹⁷⁰ ENERGYPLUS Energy Simulation Software, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, Programm Download unter: <<https://energyplus.net/>>, Abrufdatum: 27.07.2012.

¹⁷¹ Siehe Abb. 70 auf S. 89.

¹⁷² Siehe Abb. 71 auf S. 89.

¹⁷³ Vgl. MENEZES, Milton Serpa. Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS. Dissertação Mestrado em Engenharia – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006; S. 51, 52.

¹⁷⁴ TERSLUISEN, Dipl.-Ing. Angèle; Konzept zur Planung und Bewertung wärmeenergiegewinnender, energetisch-dynamischer Bauteil- und Raumstrukturen im Wohnungsbau.; Dissertation; Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt; syntagma-verlag, Freiburg; 2012; Verweis 81; Anmerkung auf S. 44.

-
- Bauphysikalische Kennwerte der Baumaterialien;
 - Nutzungs- und Belegungspläne;
 - Beleuchtung und Geräte mit ihren Verbrauchswerten;
 - Kennwerte der raumklimatischen Verhältnisse;
 - Kostenstruktur für Energiebilanzierung.

Die Ausgangsdaten erfolgen über verschiedene Formate als Berichte und Auswertungen mit den während des Simulationsprozesses ermittelten Daten, einschließlich der inneren Raumtemperatur der thermischen Zonen und dem Raumklima entnommenen oder zugefügten Energieverbrauch.

Die wichtigsten Ausgabeberichte¹⁷⁵, genannt *output*, sind:

- Ausgabevariable (.rdd),
Auflistung der variablen Ausgabedaten, die aus der Simulation entnommen werden können, zum Beispiel: Innenraumtemperatur, Oberflächentemperatur intern/extern, relativen Luftfeuchtigkeit u.v.m.;
- Dateiformat (.eio),
Ausgabe der Gebäudebilanzierung durch die Berechnungen des Wärmetransports;
- Dateiausgabeformat (.eso),
Auswertungen der Simulationen in den davor festgelegten Zeitschritten,
Möglichkeit der Veranschaulichung der Ergebnisse anhand von Tabellen und Grafiken der Schnittstelle mit Excel (Abb. 72);
- Dateiausgabeformat (.dxf),
Veranschaulichung des Gebäudes mit der Schnittstelle AutoCAD;
- Fehlermeldung (.err),
Fehlerliste von falschen oder ungeeigneten Eingangsparametern während der Simulation;
- usw.

Zusatzprogramm (Add-On)

Für die Simulationen dieser Forschungsarbeit erfolgt die Gebäudemodellierung in *SketchUp 3D* mit dem Plug-In *OpenStudio*. Dieses Add-On dient als Verbindungstool zum dynamischen Gebäudesimulationsprogramm *EnergyPlus*.

Simulation in EnergyPlus

In Abbildung 69 ist der Ablauf einer dynamischen Gebäudesimulation in *EnergyPlus* dargestellt.

¹⁷⁵ Vgl. ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus; Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus; University of Illinois; Mai 2011; S. 14-16.

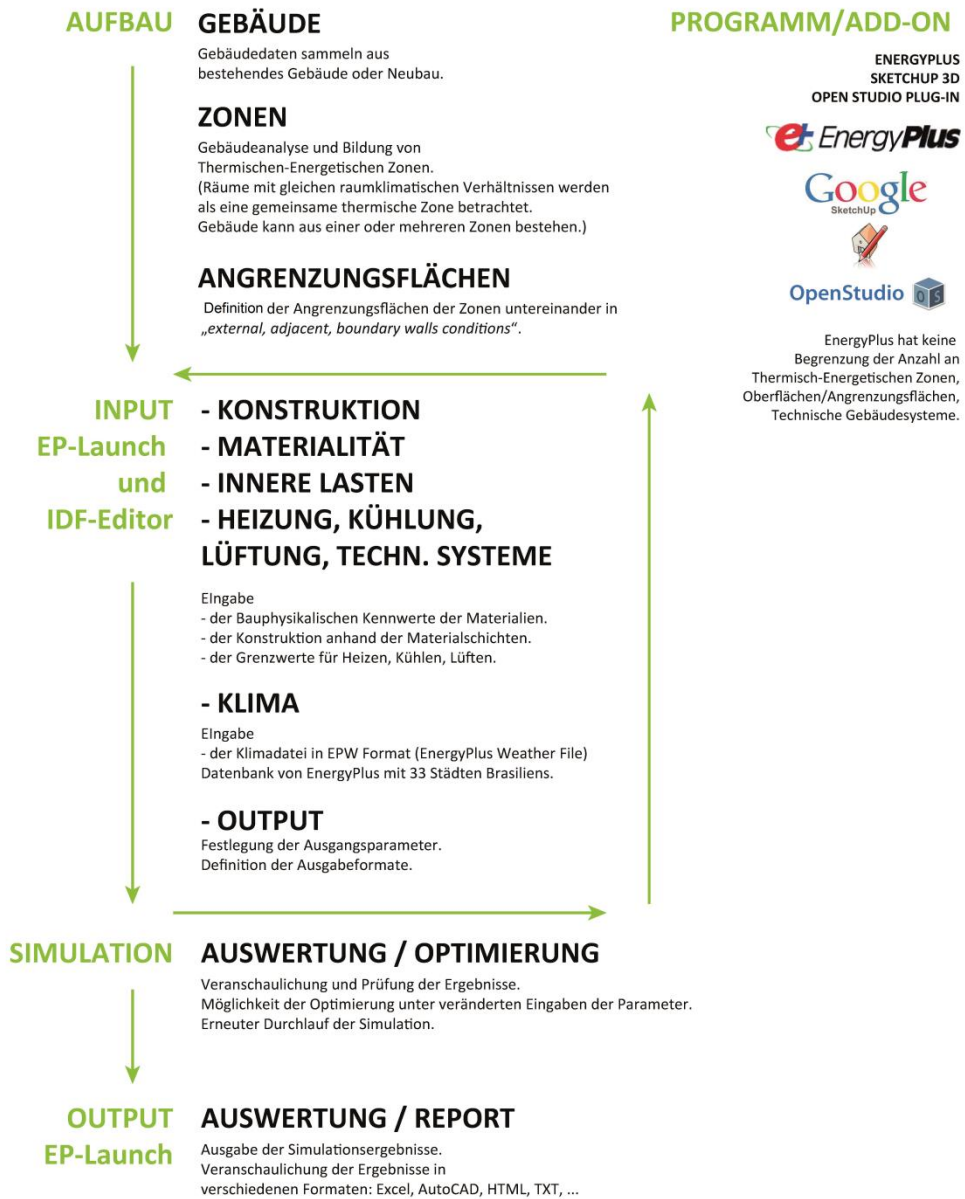


Abb. 69 Ablaufdiagramm dynamische Gebäudesimulation in EnergyPlus

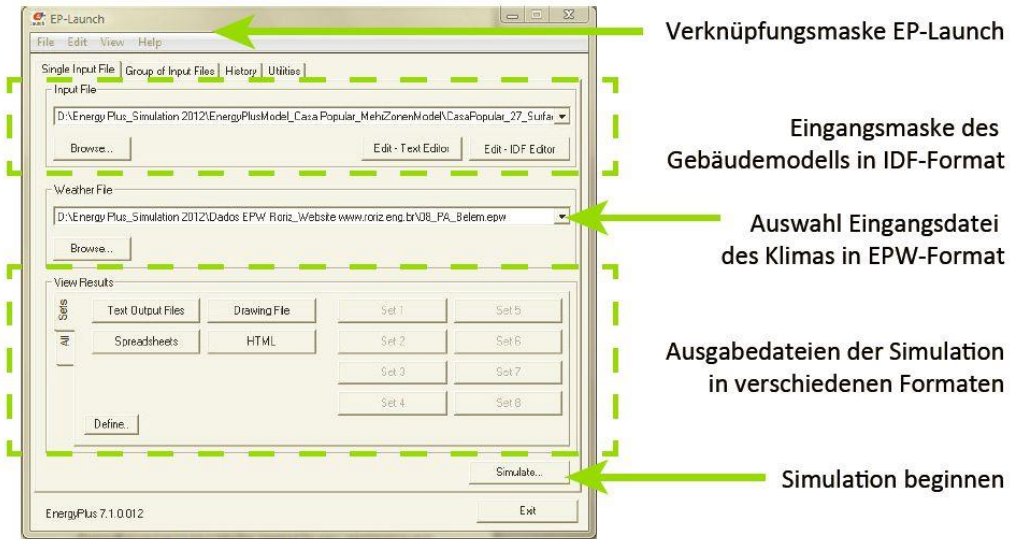


Abb. 70 Eingangsmaske EP-Launch in EnergyPlus [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]

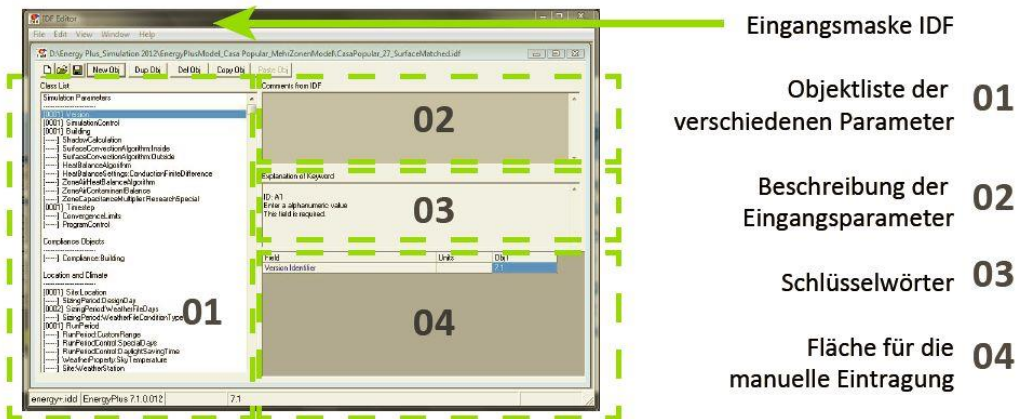


Abb. 71 Eingangsmaske IDF-Editor in EnergyPlus [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]

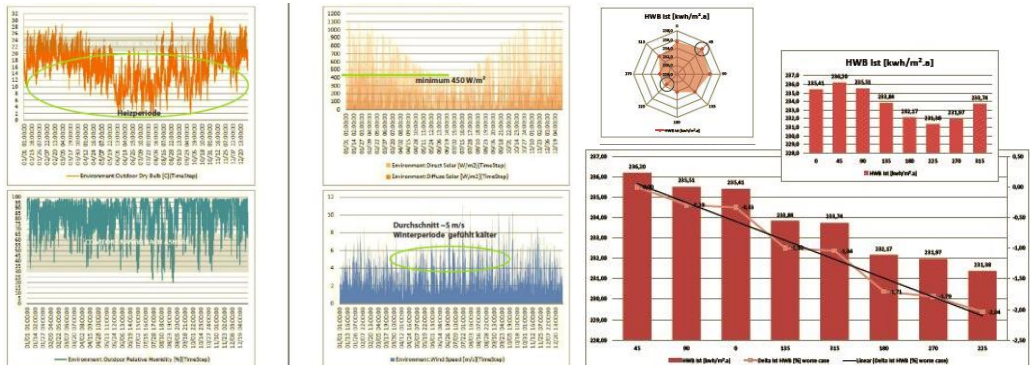


Abb. 72 Beispiele für Auswertungen der Simulation in Excel [Auswertungen aus EnergyPlus]

2.2 Gebäudeauswahl

Für einen optimalen Vergleich wurden ähnlich große Haustypen ausgewählt. Zum einen die *Casa Térrea* als Beispiel der kolonialen und in der jüngeren Geschichte anzutreffenden Wohnarchitektur und zum anderen die *Casa Popular* als Referenzhaus des Regierungsprogrammes *Caixa* für den sozialen Wohnungsbau, unter den heute geltenden Mindestanforderungen für Wohnbauten.

Beide Häuser werden zuerst im Einzelnen detailliert vorgestellt, um dann im darauf folgenden Schritt hinsichtlich ihres „Grundrisses“, ihrer „Konstruktion“ und „Materialität“ durch einen Vergleich analysiert zu werden.

Um sowohl die thermische Behaglichkeit im Innenraum als auch den möglichen Energieverbrauch innerhalb einer Raumkonditionierung – Heiz- und Kühlenergiebedarf – zu messen, wurden beide Häuser in den vier ausgewählten Klimazonen bezüglich ihres thermischen und energetischen Verhaltens mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm *EnergyPlus* simuliert und ausgewertet.

2.2.1 Koloniale Wohnarchitektur – Casa Térrea

Die urbanen Haustypologien waren ein ebenerdiges Haus, die „*Casa-de-Porta-e-Janela*“, später benannt als „*Casa Térrea*“ und das 2-stöckige Haus, genannt „*Sobrado*“, letzteres genutzt in seiner Funktion als Wohn-, als Geschäftsgebäude oder in Mischnutzung. Das Erdgeschoss wurde für kommerzielle Zwecke oder für die Unterbringung von Sklaven und Tieren benutzt.

Die Häuser wurden in der Bauweise als Reihenhäuser angeordnet. Diese Struktur erlaubte keine Vorsprünge und keine Vorgärten. Die Anordnung der Häuser zueinander war statisch durch die technisch ungenügende Bauweise und den damals zur Verfügung stehenden Baumaterialien bedingt. Um mögliche Schäden durch Regenfälle auf den Außenflächen zu vermeiden – bei überwiegender Lehmverwendung –, musste durch ausreichender Überdachung, Vordächer, usw. und einer fugenlosen und bündigen Verbindung von Dächern und Zwischenwänden Vorsorge getroffen werden.¹⁷⁶ Das Stadthaus „*Casa Térrea*“ gab es nur in einer Ausführung, die durch die Parzellierung der Grundrisse und die Umgebungsbedingungen bestimmt war. Die Grundstücke waren länglich, rechteckig und mit einer Tiefe von fünf bis acht Metern ausgelegt.

Grundriss

Die Grundrisse der Häuser waren immer identisch. In die Anordnung der Zimmer und Geschäftsräume wurden die gleichen Öffnungen integriert. Der nach hinten gelegene Teil des Hauses beinhaltete die Unterbringungsräume der Frauen und besondere Arbeitsräume wie die Küche, welche ebenfalls Öffnungen zum hinteren Gebäudeteil besaß. Zwischen diesen Zimmern, welche natürliche Belichtung und Ventilation aufwiesen, sind die Schlafräume angeordnet, die keine Möglichkeit zur natürlichen Belichtung und Durchlüftung hatten.

Der Zugang von der Eingangstür bis zum hinteren Bereich erfolgte durch einen einzigen, neben den Schlafräumen gelegenen langen Korridor. Eine Differenzierung des Grundrisses erfolgte je nach Bedarf durch zusätzliche Schlafzimmer, auch zum Schutz der Privatsphäre und zum Wohlbefinden der Familie.¹⁷⁷ Unter den heutigen hygienischen Standards ist eine solche Wohneinheit ohne ausreichende Belichtung und Durchlüftung nicht akzeptabel.

¹⁷⁶ Vgl. BARRETO, Paulo Thedim; O Piauí e a sua arquitetura. In: *Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN*. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975, S. 195-198.

¹⁷⁷ Vgl. BROSS, Hans. *Construções Antigas em Santa Catarina*. Florianópolis: ed da UFSC; 2002; S. 123-125,135, 136.

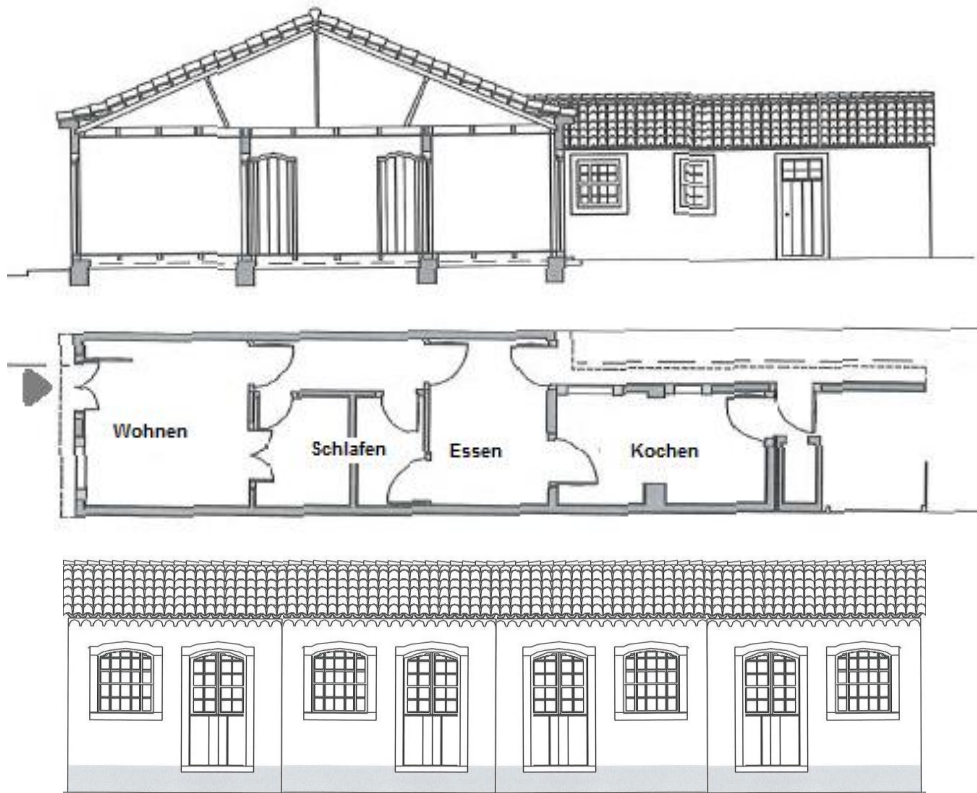


Abb. 73 Grundriss, Schnitt und Ansicht eines Kolonialhauses „Casa Térrea“ [BROSS, 2002; S. 135 f.]

Weitere Einzelheiten zu den Häusern:

- Die Fassade bestand aus einer Eingangstür und zusätzlichen zwei Fenstern.
- Trotz verschiedener Hausgrößen herrschte eine einheitliche Anordnung der Öffnungen.
- Die sozialen Unterschiede zeigten sich in der Architektursprache durch Verzierungen, Stuckarbeiten, Figuren und besonderen Dachtraufen zur Hervorhebung des Wohlstandes der Familie.
- Die mehrgeschossigen Häuser wurden vor allem von wohlhabenden Familien erbaut, die das Erdgeschoss für kommerzielle Zwecke nutzten, während das Obergeschoss zur Unterbringung der Familie diente.
- Der Grundriss des Obergeschosses des „Sobrado“, entsprach ohne Änderungen dem der „Casa Térrea“.
- Die Fassaden des „Sobrado“ hatten maßlich die gleiche Auslegung wie die der „Casa Térrea“. Die Maße der Öffnungen im Erdgeschoss entsprachen der Vermassung im oberen Stockwerk.
- Alle Haustypologien, mit Ausnahme der Herrschaftshäuser auf dem Land, wurden als Reihenhäuser gebaut, wobei die Belüftung nur als Querlüftung erfolgte.

Konstruktion

Bei der Bauweise der Kolonialhäuser wurden die vor Ort vorhandenen Materialien eingesetzt. Die Wände bestanden aus verschiedenen Lehmbauweisen, wie Stampflehm (*Taiapa de Pilão*),

Fachwerkbauweise mit Lehm, luftgetrockneten Lehmziegeln (*Adobe*), die zusammen mit einem Lehmklebemörtel tragende Wände oder nicht-tragende Ausfachungen bildeten, bzw. einem Holzgeflecht mit Strohlehmbatzen und anschließendem Lehmewurf (*Pau-a-Pique*)¹⁷⁸. Nur in den wichtigen öffentlichen Gebäuden wurden Materialien wie Stein und Ziegelsteine verwendet. Die Dachausbildung wurde als Satteldach mit Keramik- oder Tonziegeln ausgeführt, wobei das Regenwasser entweder zur Straße hin oder zum hinteren Hofbereich abgeleitet wurde.

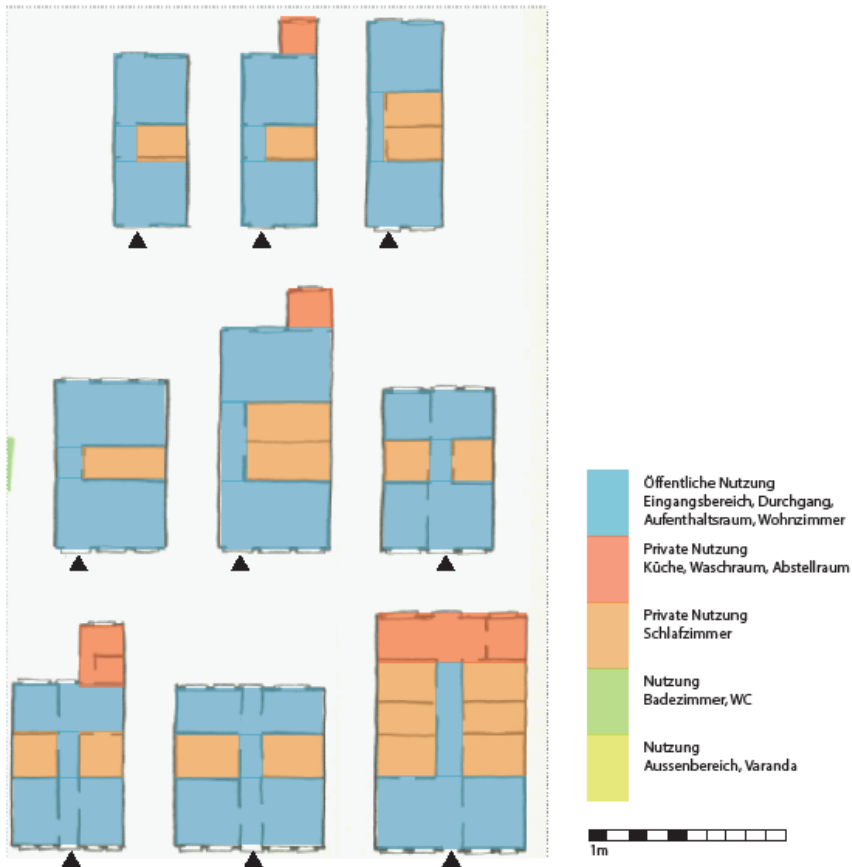


Abb. 74 Grundrisschemata des kolonialen Haustypus „Casa Térrea“ [BARRETO, 1975; S. 195-198]

¹⁷⁸ Vgl. REIS FILHO, Nestor Goulart. *Imagens de vilas e cidades do Brasil colonial*. São Paulo: EDUSP, 2001, S. 24-27.

2.2.2 Soziale Wohnungsbauarchitektur – Casa Popular

Unter einer Neuausrichtung der Wohnungsbaupolitik durch die Regierung ab 2009 wurden gesetzliche Maßnahmen und Voraussetzungen geschaffen, um ein neues Wohnungsbauprogramm für bedürftige Familien einzuführen: „Programm: Mein Haus, Mein Leben“ (*PMCMV – Programa Minha Casa, Minha Vida*). Als wichtigstes ausführendes Organ dient die staatliche Bank, „CAIXA Econômica Federal“. Das Raumprogramm der CAIXA¹⁷⁹ umfasst wichtige Vorgaben, welches jedes beteiligte Bauunternehmen zu beachten hat.

Allgemeine Beschreibung: Ein Katalog beschreibt verbindlich die zu nutzenden Konstruktionsarten bzw. die Bauweise und das einzusetzende Material für die Errichtung der Wohneinheiten.

Mindestanforderung Raumprogramm: ein Wohnzimmer, zwei Schlafzimmer, Küche und Bad.

Verantwortung: Die CAIXA bietet mit dem Katalog einen Vorschlag zur Konzipierung der Wohneinheit an. Da die Bauvorhaben unter den verschiedensten Rahmenbedingungen realisiert werden müssen, sollten die Baubehörden bei Benutzung dieses Kataloges sich der kritischen Bewertung eines Fachmanns (Architekt, Bauingenieur, Statiker) unterziehen, um die eventuellen regionalen Änderungen oder Ergänzungen verbindlich festzulegen.

Spezifikation der Baufläche: Die Verantwortung für die Mindestgrundfläche der zu errichtenden Wohneinheiten liegt bei den Kommunen, einschließlich der Aufteilung der Flächen und der Abstandsflächen zwischen den Grundstücken. Zu berücksichtigen sind weiter die die Wohneinheit umgebenden Fensteröffnungen und Türen. Die Grundstücksfläche der Einheit beträgt insgesamt 52,90m², einschließlich eines vorzusehenden Bürgersteiges.

Technische Bauunterlagen: Für die genaue Überprüfung und einem Abgleich mit den zu Verfügung stehenden Mittel der Bundesregierung müssen alle Baupläne und Dokumentationen bei der Bank CAIXA eingereicht werden. Dazu gehören die architektonischen Pläne, die Pläne für die Technische Gebäudeausrüstung, die gesamte Kostenaufstellung und die Baugenehmigung durch das Bauamt der ART (Technische Bauabteilung - *Anotação de Responsabilidade Técnica*).

Raum- und Umweltplanung: Pflasterung, Gehwege, Bordsteine und Entwässerungssysteme. Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Stromnetz und öffentliche Beleuchtung.

Barrierefreies Wohnen: Nach der gängigen Gesetzgebung muss grundsätzlich ein Mindestanteil von 3% der Wohnungen für ältere Menschen, sowie für Personen mit Behinderungen oder eingeschränkter Mobilität vorgesehen werden, mit den nach der Norm vorgegebenen baulichen Änderungen.

Grundriss: Jedes Bauunternehmen erstellt nach Vorgaben des Raumprogramms seine eigenen Baupläne und die dazu gehörenden Grundrisse der „Casa Popular“ unter Einhaltung der Spezifikation von CAIXA und Verwaltungsbehörde FAR (*Fundo de Arrendamento Residencial*). Die Wohnsiedlungen bestehen aus Typologien von ein- und zweigeschossigen Häusern und Apartmentwohnungen; diese variieren zwischen 28m² bis 48m² und sind für einen 4-Personen-Haushalt auszulegen.

Die für jede Wohneinheit vorgeschriebene Mindestanforderung beruht auf einem Raumprogramm: ein Wohnzimmer, ein Schlafzimmer für das Ehepaar und ein weiteres Schlafzimmer für zwei Personen bzw. Kindern, Küche und Bad und einem außenliegenden Bereich zur Wäschepflege.

¹⁷⁹ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

Zusätzlich wurde von dem Ministerium ein detaillierter Katalog für die Baufirmen mit zusätzlichen Mindestanforderungen an das Raumkonzept erstellt¹⁸⁰ (Tab. 10).

Konstruktion

Folgende Konstruktionspunkte werden im CAIXA Katalog detailliert beschrieben und dienen den Bauunternehmen als verbindliche Vorgaben und als Musterbeispiele: Vorbereitung der Baufläche, Erstellung der Bodenplatte, Mauerwerksarbeiten, Innenausbau, Dachausführung, Boden- und Wandarbeiten, hydraulische Arbeiten, elektrische Installationen, Verkleidungen, Putz- und Malerarbeiten, Fenster- und Türeneinbau und die gesamte Baustellenreinigung.

Mindestanforderung der CAIXA Econômica Federal nach der FAR¹⁸¹	
Raumprogramm	zwei Schlafzimmer, ein Wohnzimmer, Küche, Bad, außenliegender Bereich zur Wäschepflege.
Geschossanzahl	1
Deckenhöhe	2,30 m im Bad und 2,50 m in den restlichen Räumen.
Dachkonstruktion	Keramikziegel oder Betonziegel auf einer Holz- oder Metalltragkonstruktion (mindestens 5mm Dicke) Betondecke/ Beton-Ziegel-Decke.
Nassräume	Verkachelung mit einer Mindesthöhe von 1,50m.
Türgrößen	0,80m x 2,10m.
Fenstergrößen	1,50m ² in den Schlafzimmern, 2,00m ² im Wohnzimmer, Toleranz von 5%.
Küchenzeile	min. 1,80m Länge.
Bad	min. 1,50m Seitenlänge.
Wasserspeicher	500 l auf oder unterhalb des Daches.
Bodenbelag	Fliesen.
Wandausführung	Lochziegelsteine verputzt, Betonsteine verputzt.
...	...
Beachtung der Anwendungsnorm für neue Technologien des SINAT bzw. von der CAIXA, unter der Bezeichnung ABNT NBR – 15575.	

Tab. 10 Mindestanforderungen der CAIXA an den sozialen Wohnungsbauheiten [FAR, 2011]

¹⁸⁰ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

¹⁸¹ FAR - Especificações Mínimas para uma Casa do Programa Minha Casa Minha Vida / FAR <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/programas-uniao/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>> Datum der Veröffentlichung: 09.10.2011, Abrufdatum: 08.08.2012.



Abb. 75 Soziales Wohnungsbauprojekt im Süden Brasiliens: Stadt Curitiba, Paraná
 [http://www.feiraodacaixa2016.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Minha-Casa-Minha-Vida-Curitiba-%E2%80%93-PR-%E2%80%93-2014.-01.jpg, Feirao Imóvel; Aktualisiert am 20.10.2015]



Abb. 76 Soziales Wohnungsbauprojekt im Norden Brasiliens: Stadt Natal, Rio Grande do Norte
 [FERREIRA, 2012; S. 58]

2.3 Klimazonenauswahl

Für die Untersuchung dieser Forschungsarbeit und ihren Auswertungen für die zu treffenden Strategiemassnahmen wurden repräsentativ vier von den insgesamt acht Klimazonen Brasiliens als Referenz bestimmt. Diese Auswahl der Klimazonen erfolgte unter Betrachtung bestimmter Kriterien wie dem Wohnungsbaudefizit, der Wohnbaudichte, dem Flächenanteil in Prozent der durch die Norm ABNT NBR 15220-3¹⁸² bestimmten Ausdehnung der jeweiligen Klimazone, sowie einer Auswahl der in Brasilien anzutreffenden unterschiedlichen warm-feuchten, warm-trockenen, gemäßigten und gemäßigt-kalten Klimata.

Die Werte für die Wohnbaudichte und die Wohnungsbaudefizite (beides in Abb. 77¹⁸³) basieren auf Statistiken des brasilianischen Instituts für Statistik und Geografie „*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*“¹⁸⁴ und der Stiftung „*Fundação João Pinheiro*“¹⁸⁵ für die einzelnen Bundesländer und müssen nicht kongruent mit der Einteilung nach Klimazonen sein. Unter Berücksichtigung der Klimazonen gemäß Norm ABNT NBR 15220-3 und der Aufteilung Brasiliens nach fünf Regionen¹⁸⁶ können sich dadurch Teilbereiche bzw. Teilergebnisse und Überschneidungen ergeben.

2.3.1 Klimazone 01

Referenzstadt für die Klimazone 01 ist Curitiba – Bundesland Paraná.

Mit dem Längengrad 29°21´S und Breitengrad 50°48´W zeigt die Stadt einen jährlichen Mittelwert von 15,6°C Lufttemperatur an, bei 83,6% relativer Luftfeuchtigkeit (Abb. 20).¹⁸⁷ Ausgehend von der klimatischen Ganzjahresauswertung gilt Curitiba als kälteste Hauptstadt Brasiliens.¹⁸⁸

Referenz für die gemäßigt-kalten Klimazonen (Zonen 01 und 02) mit fest definierten vier Jahreszeiten und in den Wintermonaten entsprechendem Heizwärmebedarf. Die Auswertung der Klimazone 01 mit der Referenzstadt Curitiba, Bundesland Paraná, weist 75% Kälteempfinden und 78% Unbehaglichkeit im Jahr auf (Abb. 21)¹⁸⁹. Nach der Klimaeinteilung von Köppen-Geiger sind in dem Bundesland Paraná die Klimate Cfa, Cfb und Cwa definiert (siehe Kap. 1.3.1¹⁹⁰, Klimata Brasiliens nach Köppen-Geiger), mit Curitiba als kälteste Hauptstadt Brasiliens. Auch die Klimazone 02 mit der Referenzstadt Passo Fundo, Bundesland Rio Grande do Sul, weist 71% Kälteempfinden und 75% Unbehaglichkeit im Jahr auf (siehe Abb. 25 und 26).¹⁹¹

¹⁸² ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://norma.abnt. blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

¹⁸³ Siehe Abb. 77, S. 99.

¹⁸⁴ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Statistiken brasilianischer Bundesländer und Städte abrufbar unter: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=> Datum der Veröffentlichung: 2014; Abrufdatum: Okt 2015.>

¹⁸⁵ Vgl. FJP-Fundação João Pinheiro; CEI-Centro de Estatística e Informações; Déficit habitacional no Brasil 2011-2012; Belo Horizonte; 2015; Abrufbar unter: <<http://www.fjp.mg.gov.br>> oder <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei /559-deficit-habitacional-2011-2012/file>>; Abrufdatum: 01.08.2015; S. 36 und 99.

¹⁸⁶ In Abb. 12 auf S. 26 und Abb. 77 auf S. 99 sind die fünf Regionen Brasiliens mit einer schwarzen Markierung gekennzeichnet.

¹⁸⁷ Siehe Abb. 20, S. 34.

¹⁸⁸ Vgl. SAKAMOTO, E. H.; Hardt, C.; Rezende, D. A.; Paisagens em Debate: Revista eletrônica da área Paisagem e Ambiente, FAU.USP - No. 04; Artikel: Cidade Ecológica: Política de criação de áreas; 2006; Dokument abrufbar unter: <<http://www.usp.br/fau/depprojeto/gdpa/paisagens/artigos/2006Eliane-cidadeEcologica.pdf>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 4.

¹⁸⁹ Siehe Abb. 21, S. 34.

¹⁹⁰ Siehe Kapitel 1.3.1, S. 30.

¹⁹¹ Siehe Abb. 25 und 26, S. 37.

Unter diesen Ergebnissen werden beide Klimazonen zu den gemäßigt-kalten Regionen gezählt und können als gemeinsame Referenz zusammengefasst werden. Der jährliche Lufttemperatur-Mittelwert für Klimazone 01 mit der Referenzstadt Curitiba liegt bei 15,6°C; mit geringer Abweichung dazu liegt der jährliche Lufttemperatur-Mittelwert der Klimazone 02 mit Referenzstadt Passo Fundo bei 17,3°C (Curitiba Abb. 20 und Passo Fundo Abb. 25).

Die Klimazone 01 hat zwar einen geringen Flächenanteil von nur 0,08% bezogen auf die Gesamtfläche, deckt jedoch mit ihren klimatischen Bedingungen und ihren Auswirkungen die im Süden nächstgelegene Klimazone 02 mit 6,40% Flächenanteil ab. Damit resultiert durch die Auswahl der Klimazone 01 unter Berücksichtigung der ähnlichen Klimaverhältnisse der Zonen 01 und 02 ein Gesamtflächenanteil von insgesamt 6,48% für gemäßigt-kalte Klimaregionen.

Wohnbaudefizit und Wohnbaudichte der Region Süden Brasiliens:

Das Bundesland Paraná mit dem im Süden höchsten Defizit von 226 Tsd. Wohneinheiten, gefolgt von Rio Grande do Sul mit einem Defizit von 191 Tsd. und dem relativ kleinen Bundesland Santa Catarina mit einem Defizit von 133 Tsd. Wohneinheiten weisen trotz eines scheinbar kleinen Flächenanteils zur Gesamtfläche Brasiliens eine große Wohnbaudichte mit hohem Wohnungsbaudefizit von insgesamt 550 Tsd. Wohneinheiten auf¹⁹². Mit einer Einwohnerzahl von 1,75 Mio.¹⁹³ ergeben sich allein in der Referenzstadt Curitiba ein Defizit von 72 Tsd. Wohneinheiten.

Für die Untersuchung der anzuwendenden Strategienmaßnahmen wurden repräsentativ für Zone 01 und 02 die Klimadaten der Referenzstadt von Klimazone 01 eingesetzt, da sie für die Interpretation der Ergebnisse aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen aussagekräftiger sind und im gleichen Sinne für gemäßigt-kalte Regionen übertragen werden können. Die Auswahl der Klimazone 01 mit der Referenzstadt Curitiba im Bundesland Paraná erfolgte weiterhin unter dem Kriterium des größten Wohnungsbaudefizites im Süden Brasiliens.

2.3.2 Klimazone 03

Referenzstadt für die Klimazone 03 ist São Paulo, Bundesland São Paulo.

Mit dem Längengrad 23°55'S und Breitengrad 43°56'W zeigt die Stadt einen jährlichen Mittelwert von 20,9°C Lufttemperatur an, bei 74,5% relativer Luftfeuchtigkeit (Abb. 30).¹⁹⁴

Referenz für gemäßigte Klimazonen (Zonen 03, 04, 05 und 06 mit einem Flächenanteil von insgesamt 26,7% und einer Tendenz von stetig wärmer werdenden Klimabedingungen) und einer deutlichen Trennung zwischen Sommer- und Wintermonaten. Die jährlichen Temperatur-Mittelwerte der Klimazonen 03 bis 06 weisen geringe Unterschiede auf: die Klimazone 03 (Abb. 30) mit der Stadt São Paulo 20,1°C, Klimazone 04 (Abb. 35) mit der Stadt Brasília 21,1°C, Klimazone 05 (Abb. 40) mit der Stadt Iguapé 21,1°C und die Klimazone 06 (Abb. 45) mit der Stadt Goiânia 23,2°C.¹⁹⁵

¹⁹² Vgl. FJP-Fundação João Pinheiro; CEI-Centro de Estatística e Informações; Déficit habitacional no Brasil 2011-2012; Belo Horizonte; 2015; Abrufbar unter: <<http://www.fjp.mg.gov.br>> oder <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/559-deficit-habitacional-2011-2012/file>>; Abrufdatum: 01.08.2015; S. 36 und 99.

¹⁹³ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Statistiken brasilianischer Bundesländer und Städte abrufbar unter: <<http://cidades.ibge.gov.br/stras/home.php?lang=>> Datum der Veröffentlichung: 2014; Abrufdatum: Okt 2015.

¹⁹⁴ Siehe Abb. 30, S. 40.

¹⁹⁵ Siehe Abb. 30, S. 40; Abb. 35, S. 43; Abb. 40, S. 46; Abb. 45, S. 49.

Mit einem Flächenanteil von 6,5% einer Klimaauswertung im Jahr von 35% Behaglichkeit und 65% Unbehaglichkeit (Abb. 31)¹⁹⁶ repräsentiert die Klimazone 03 mit der Referenzstadt São Paulo die gemäßigten Klimazonen 03 bis 06.

Region Südosten und Zentrum Brasiliens:

Unter anderem die Bundesländer Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro und São Paulo mit einer großen Wohnbaudichte und dem höchsten Wohnungsbaudefizit von insgesamt 2,11 Mio.¹⁹⁷ Wohneinheiten. Für das bevölkerungsreichste Bundesland São Paulo und seiner gleichnamigen Hauptstadt São Paulo mit einer Einwohnerzahl von 12,0 Mio.¹⁹⁸ bzw. einschließlich Industrie-Umland von 20,2 Mio. ergibt sich allein ein Wohnungsbaudefizit von 1,15 Mio. Wohneinheiten und damit das größte Umsetzungspotenzial an Wohnbausiedlungen.

2.3.3 Klimazone 07

Referenzstadt für die Klimazone 07 ist Picos – Bundesland Piauí.

Mit dem Längengrad 07°07'S und Breitengrad 41°38'W zeigt die Stadt einen jährlichen Mittelwert von 28,2°C Lufttemperatur an, bei 57,3% relativer Luftfeuchtigkeit (Abb. 50)¹⁹⁹.

Referenz einer warm-trockenen Klimazone (12,6% Flächenanteil), die über das gesamte Jahr andauert. Die Klimaauswertung für die Referenzstadt Picos, Bundesland Piauí, ergibt 52% Hitzeempfinden und eine daraus resultierende Unbehaglichkeit von 57% (s.dazu Abb. 51)²⁰⁰. Durch die jährliche geringe Niederschlagsmenge mit einem Lufttemperatur-Mittelwert von 28,2°C bei 57% relativer Luftfeuchtigkeit gehört die im Inneren des Nord/Nordosten gelegene Klimazone 07 zu den überwiegend warm-trockenen Klimata Brasiliens.

Region Nordosten Brasiliens:

Ähnliche Wohnbaudichte wie in der Region Südosten und mit 1,78 Mio.²⁰¹ Wohneinheiten das zweitgrößte Wohnungsbaudefizit Brasiliens. Mit einer Einwohneranzahl von 3,18 Mio.²⁰² ergeben sich in dem Bundesland der Referenzstadt Picos - Piauí ein Defizit von 100 Tsd. Wohneinheiten. Die Region Nordosten setzt sich primär zusammen aus der Klimazone 07 im Inneren des Landes und einer teilweisen Einbeziehung der an der Küste gelegenen Bundesländer aus Klimazone 08.²⁰³

2.3.4 Klimazone 08

Referenzstadt für die Klimazone 08 ist Recife – Bundesland Pernambuco.

Mit dem Längengrad 08°05'S und Breitengrad 34°92'W zeigt die Stadt einen jährlichen Mittelwert von 27,1°C Lufttemperatur an, bei 80,4% relativer Luftfeuchtigkeit (Abb. 55)²⁰⁴.

Referenz eines warm-feuchten Klimas mit dem höchsten Klimazonen-Flächenanteil des Landes von 53,7%. Überwiegend gelegen im nördlichen Amazonas Gebiet, sowie an der nordöstlichen Küste, mit einem Ganzjahresklima von hohen Temperaturen und hoher relativer Luftfeuchtigkeit. Der jährliche Lufttemperatur-Mittelwert liegt bei 27,2°C mit 80,4% relativer Luftfeuchtigkeit.

¹⁹⁶ Siehe Abb. 31, S. 40.

¹⁹⁷ Vgl. FJP-Fundação João Pinheiro; CEI-Centro de Estatística e Informações; Déficit habitacional no Brasil 2011-2012; Belo Horizonte; 2015; Abrufbar unter: <<http://www.fjp.mg.gov.br>> oder <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/559-deficit-habitacional-2011-2012/file>>; Abrufdatum: 01.08.2015; S. 36 und 99.

¹⁹⁸ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Statistiken brasilianischer Bundesländer und Städte abrufbar unter: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>> Datum der Veröffentlichung: 2014; Abrufdatum: Okt 2015.

¹⁹⁹ Siehe Abb. 50, S. 52.

²⁰⁰ Siehe Abb. 51, S. 52.

²⁰¹ FJP-Fundação João Pinheiro, 2015; S. 36 und 99.

²⁰² IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Statistiken brasilianischer Bundesländer und Städte abrufbar unter: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>> Datum der Veröffentlichung: 2014; Abrufdatum: Okt 2015.

²⁰³ Siehe dazu die Aufteilung der fünf Regionen auf der Karte mit Klimazonenaufteilung in Abb. 77, S. 99.

²⁰⁴ Siehe Abb. 55, S. 55.

Entsprechend dazu weisen die Klimaauswertungen der Referenzstadt Recife 57% Hitzeempfinden und 57% Unbehaglichkeit im Jahr auf (s.dazu Abb. 56).²⁰⁵

Region Norden und Teile der Küste im Nordosten Brasiliens:

Für den Norden der Klimazone 08 (z.B. Bundesland Amazonas) bzw. dem größten Flächenanteil Brasiliens ergibt sich eines der niedrigsten Wohnungsbaufizite des Landes mit 564 Mio. Wohneinheiten. Für die bevölkerungsreiche Küstenregion Nordosten der Klimazone 08 ergibt sich dazu im Gegenteil ein hohes Defizit von 1,78 Mio. Wohneinheiten.²⁰⁶

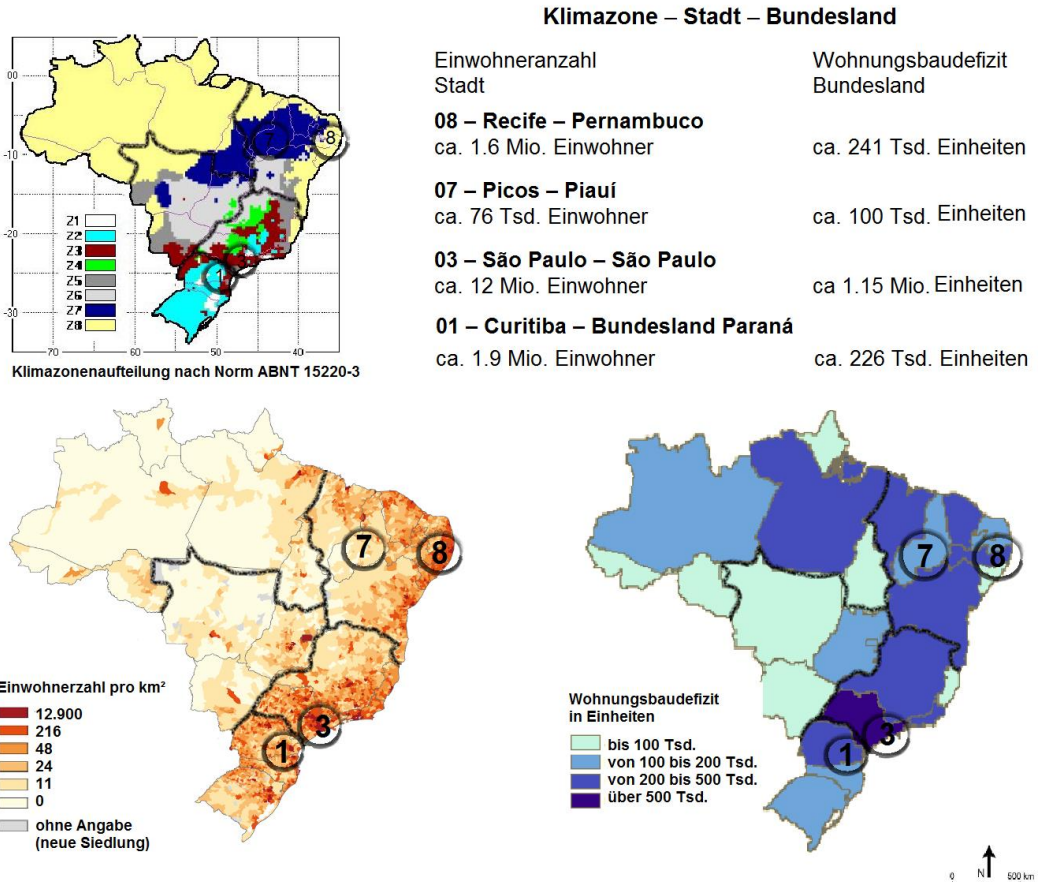


Abb. 77 Klimazonenaufteilung, Bevölkerungsdichte und Wohnungsbaufizit Brasiliens

[ABNT, 2005; S. 3], [IBGE, 2014; S. 21], [FJP, 2015; Daten und Abbild aus S. 36 und 99]

²⁰⁵ Siehe Abb. 56, S. 55.

²⁰⁶ Vgl. FJP-Fundação João Pinheiro; CEI-Centro de Estatística e Informações; Déficit habitacional no Brasil 2011-2012; Belo Horizonte; 2015; Abrufbar unter: <<http://www.fjp.mg.gov.br>> oder <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/559-deficit-habitacional-2011-2012/file>>; Abrufdatum: 01.08.2015; S. 36, 99.

2.4 Casa Térrea vs. Casa Popular

2.4.1 Ausgangszustand

Die Wohnarchitektur in Brasilien hat eine junge Entstehungsgeschichte. Sie unterliegt verschiedenen politischen und äußeren Einflussfaktoren, wie denen der Gesellschaftsentwicklung einer sich wandelnden Familienstruktur und wirtschaftlichen Aspekten. Die Grundrisse ähnelten sich inhaltlich: ein bis zwei Schlafzimmer, ein Wohnzimmer, Küche und Bad. Eine mögliche Betrachtungsweise für den zeitlichen Verlauf der Wohnungsarchitektur wird im Folgenden erläutert (Abb. 78).²⁰⁷

Die zuerst entstandenen Wohnbautypologien waren die *Casa Térrea* (Haustyp A), mit Ursprung aus der portugiesischen Kolonialherrschaft und als Wohnhäuser für die ersten Siedlungen konzipiert.²⁰⁸ Zur damaligen Kolonialzeit waren zwei Haustypologien dominant: die *Casa Térrea* als Wohnhaus und das *Sobrado* als 2-geschossiges Wohn- und Arbeitshaus. Im Laufe der Zeit entstanden weitere Haustypologien für die auf dem Land (Haustyp B) angesiedelten Bewohner und für die in den Stadtgebieten wohnenden „gehobenen“ Bevölkerungsschichten (Haustyp C und D). Ab den 50-er Jahren stellte sich ein ansteigendes industrielles und ökonomisches Wachstum mit entsprechendem Bedarf an Wohnraum ein. Aufgrund des schnell herrschenden Wohnungsbaufizites wurden von den Unternehmen ganze Arbeiterviertel neben den Industriezentren gebaut (Haustyp E, F und G), um deren Beschäftigte einschließlich Familienangehörigen unterzubringen und anzusiedeln.²⁰⁹ Trotz des rapiden Bevölkerungswachstums konnte die Regierung Wohnungsbauprogramme entwickeln, die das Wohnungsbaufizit vermindern halfen. Der Haustyp *Casa Popular* (Haustyp H) war mit der Mindestausstattung für einen 4-Personen-Haushalt konzipiert und ähnelte in der Grundrisstruktur den Häusern der in den 50-er Jahren gebauten Arbeiterviertel. Die Grundbausteine wie Wohnraum, Schlafraum und Funktionalräume (Küche und Bad) sind in jedem Haustyp A bis H mit wenig abweichenden Raumgrößen wiederzufinden.

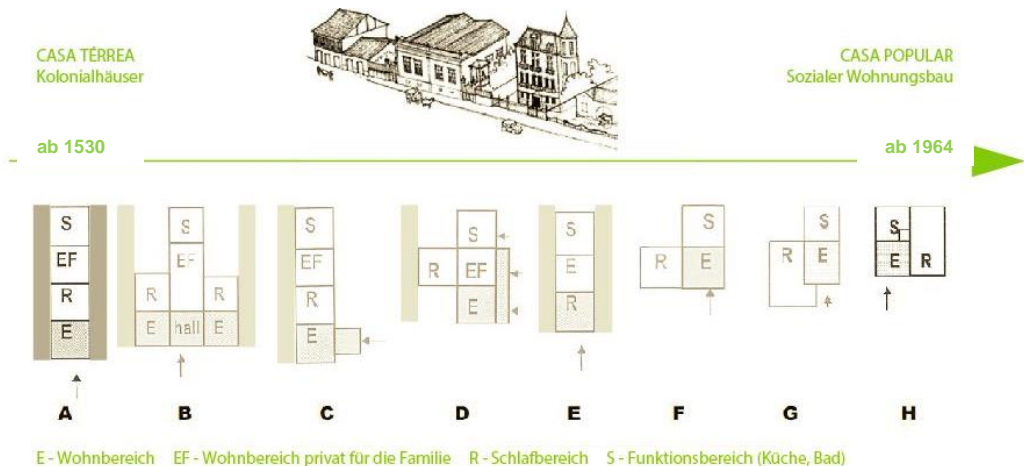


Abb. 78 Entwicklung der Wohnungsarchitektur Brasiliens [KOWALTOWSKI, 2010; S. 6 Abb. 1]

²⁰⁷ Vgl. KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; PINA, Sílvia A. Mikami G.; *Arquiteturas do Morar: Comportamento e espaço concreto*; Seminário Internacional de Psicologia e Projeto do Ambiente construído – Anais S. 482-491; UFRN; Rio de Janeiro; 2010; S. 1-9.

²⁰⁸ Vgl. LEMOS, C. A. C.; Paulo, S.; *Historia da Casa Brasileira*; Editora Contexto; São Paulo; 1989; S. 13, 14, 21, 22.

²⁰⁹ Vgl. LEMOS, C. A. C.; Faquini, R.; *Moradas do Brasil*; 1. Ed; Imprensa de São Paulo; Editora DBA Artes Gráficas; São Paulo; 2008; S. 15-18.

Anhand der Wohnungsgröße und dem ähnlich aufbauendem Raumprogramm kann man die Aussage treffen, dass die *Casa Popular* den Wohngebäudetyp einer ehemaligen *Casa Térrea* repräsentiert und demnach auch den heutigen Bedürfnissen entspricht (Abb. 78). Bei der Betrachtung der technischen, ökonomischen und konstruktiven Eigenschaften sind folgende Gemeinsamkeiten und/oder Abweichungen zu finden (Tab. 11).

<i>Casa Térrea</i>	<i>Casa Popular</i>
	
Ursprung aus der portugiesischen Kolonialzeit: Herkunft Europa.	Soziales Wohnungsbauprogramm der Regierung wegen großer Wohndefizite.
ab 1530	Erste Ansätze als Arbeiterviertel ab 1950. Programm PMCMV der Regierung ab 2009.
Ortsungebunden, in jeder Klimazone vorhanden	
Innenliegende Schlafzimmer, keine direkte Belichtung und Belüftung, Privatsphäre und Sicherheitsdenken.	Mindestvorgabe von Öffnungen zur natürlichen Belichtung und Belüftung.
Reihenhausstruktur, schmale Grundstücke.	Freistehende Einfamilienhäuser, Reihenhausstruktur, schmale Grundstücke.
als Wohnsiedlung konzipiert	
1- und 2-geschossige Häuser.	1- und 2-geschossige Häuser und Apartmentwohnungen.
Deckenhöhe 3,50m	Deckenhöhe 2,50m
Grundriss entspricht nicht den heutigen Hygiene-Standards.	Standardgrundriss für einen 4-Personen-Haushalt – Mindestbedarf an Wohnkomfort.

Tab. 11 Vergleich: *Casa Térrea* vs. *Casa Popular* [http://www.olhardireto.com.br/imgsite/noticias/daury_riva.jpg, Alexandre Alves aus Sinop; Aktualisiert am 15.05.2012] und [<http://www.feiraodacaixa2016.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Minha-Casa-Minha-Vida-Curitiba-%E2%80%93-PR-%E2%80%93-2014.-01.jpg>, Feirao Imóvel; Aktualisiert am 20.10.2015]

2.4.2 Grundriss

Die *Casa Térrea* als Reihenhäuser besitzt eine ähnliche Grundfläche wie die der *Casa Popular* als Einfamilienhaus. Die Größen der einzelnen Funktionen sind aus der Tabelle 12 zu entnehmen. Die Werte für die *Casa Popular* wurden aus dem verbindlichen Katalog der Caixa entnommen. Die angenommenen Werte für die *Casa Térrea* entsprechen den durchschnittlichen Maßen der vorher beschriebenen Kolonialhäuser (Abb. 79).

Funktionsflächen (m ²)		Casa Térrea	Casa Popular
E	Wohnbereich	8,50	9,04
EF	Wohnbereich privat	8,50	-
R	Schlafbereich	11,50	19,22
S	Funktionsbereich (Küche, Bad)	9,50	10,18
Gesamtfläche (m²)		38,00	38,44

Tab. 12 Funktionsflächen Casa Térrea vs. Casa Popular

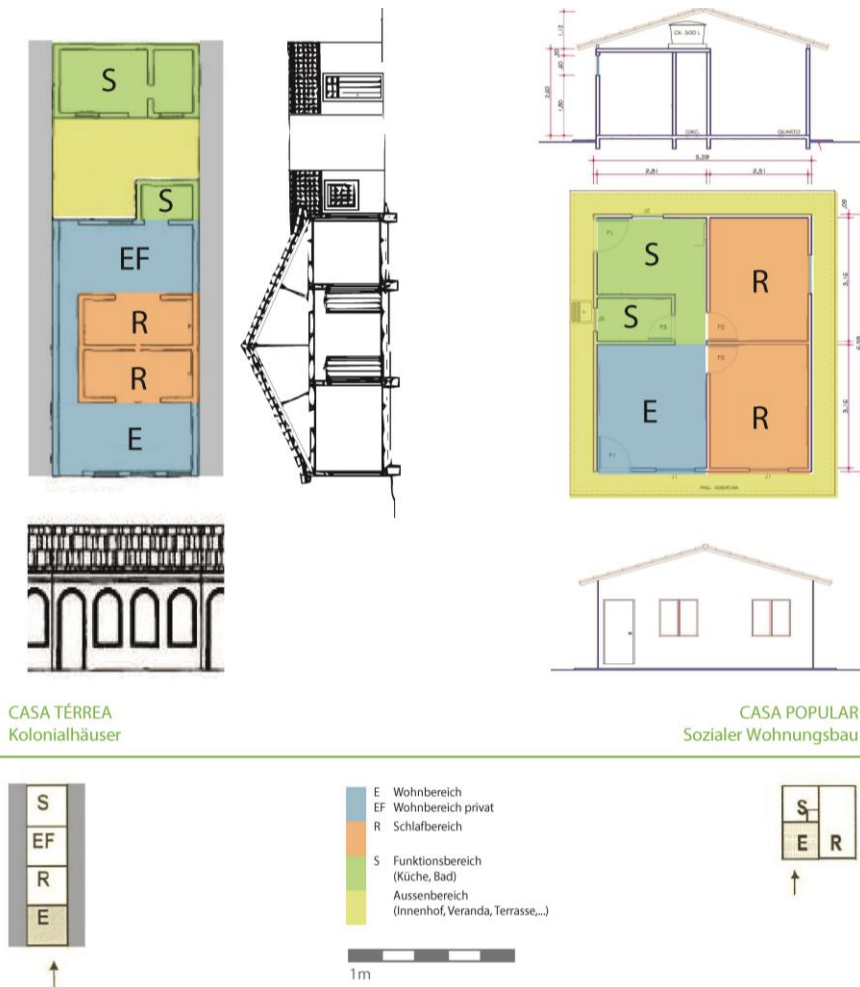


Abb. 79 *Casa Térrea* vs. *Casa Popular* [BROOS, 2002; S. 135, 136.] und [CAIXA, 2012; S. 1, 6, 8, 9.]

2.4.3 Konstruktion

Die Konstruktion der *Casa Térrea* besteht aus den vor Ort vorhandenen Materialien wie Stein, Lehm und Holz. Beim Wandaufbau des Referenzgebäudes der *Casa Térrea* wurden luftgetrocknete Lehmziegel verwendet (Tabelle 13).

Bei der *Casa Popular* bietet die CAIXA in ihrem Katalog verschiedene Konstruktionsarten zur Auswahl an, die für die Bauausführung im sozialen Wohnungsbau eingesetzt werden können. Die Bauunternehmen können selbstständig entscheiden, welchen Konstruktionstyp sie für den Wohnungsbau verwenden wollen. Nach dem Stand 07/2014 sind einundzwanzig (21) verschiedene Konstruktionen im Verzeichnis der CAIXA²¹⁰ aufgeführt, die von der staatlichen Baubehörde bzw. Materialprüfungsamt SiNAT - *Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores*²¹¹ als Konstruktionsvarianten überprüft und genehmigt wurden. Der Ziegelsteinbau wurde für das Ausgangsmodell als die am häufigsten verwendete Bauweise ausgewählt.

Konstruktion	Casa Térrea	Casa Popular
Fundament	Steinschüttung mit Lehmgemisch.	Ringfundament aus Beton nach Norm; Feuchtigkeitssperre.
Boden	Stampflehm und Holzdielen.	Betonbodenplatte 10,0 cm; Fußbodenbelag, Keramikfliesen optional.
Wand	Lehmziegel, 8,0 x 8,0 x 16,0 cm; Lehmputz innen und außen 2,0 cm; Anstrich; Außenwand: 20,0 cm; Innenwand: 12,0 cm.	6-Loch-Ziegelsteine als Lang-Lochziegel, Maße 10,0 x 14,0 x 24,0 cm; Kalkputz innen und außen 2,0 cm; Anstrich; Küche und Bad mit Fliesen mit Mindesthöhe 1,5 m; Ringbalken aus Beton.
Decke	Holzbalkendecke 20,0 cm.	Betondecke 10,0 cm; Innenputz.
Dach	Ziegeldach Holzkonstruktion; Ziegeln aus Ton.	Ziegeldach Holzkonstruktion; Ziegeln aus Ton.
Fenster	Fensterrahmen aus Holz; Einfachverglasung 3 mm.	Fensterrahmen aus Kunststoff/Aluminium; Einfachverglasung 3 mm.
Tür	Außen- und Innentüren aus Holz.	Außentür aus Metall; Innentüren aus Holz.

Tab. 13 Konstruktion Casa Térrea vs. Casa Popular

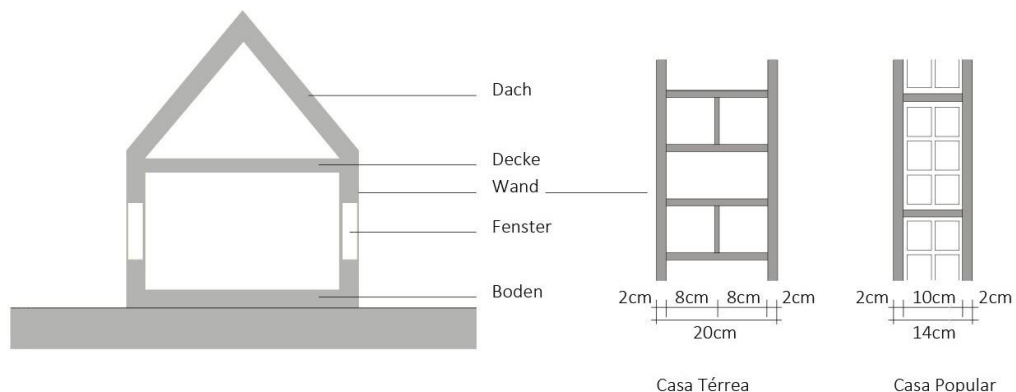


Abb. 80 Wandaufbau Casa Térrea vs. Casa Popular

²¹⁰ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

²¹¹ SINAT - MINISTÉRIO DAS CIDADES, Sistema Nacional de Avaliação Técnica. <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php> Datum der Veröffentlichung: 19.07.2013; Abrufdatum: 09.06.2014.

2.4.4 Materialität

Die brasilianische Norm ABNT NBR²¹² 15220 Teil 2 beinhaltet die bauphysikalischen Kennwerte der einzelnen Baustoffe. In der folgenden Tab. 14 sind die Materialien aufgeführt, die im Simulationsprogramm *EnergyPlus* für die *Casa Térrea* und die *Casa Popular* für die Definition der Eingangsparameter verwendet wurden. Tab. 15 zeigt verschiedene Wärmedurchgangskoeffizienten der *Casa Térrea* und *Casa Popular*, die nach der Simulation mit dem Programm *EnergyPlus*²¹³ berechnet wurden.

Materialität	Bauphysikalische Eigenschaften ²¹⁴					Casa Térrea	Casa Popular
	Dicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m.K)]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Spezifische Wärmekapazität C [J/(kg.K)]	Absorptionsgrad α		
Kalkputz weiss	0,02	1,15	1800	1000	0,2	-	+
Lehmputz	0,02	0,65	1500	1000	0,8	+	-
Lehmziegel	0,08	0,8	1800	1000	0,8	+	-
Ziegelstein	0,10	0,7	1200	830	0,6	-	+
Beton	0,10	0,8	900	830	0,65	-	+
Keramikfliesen	0,01	0,9	1600	1000	0,6	-	+
Holz	0,03	0,12	500	2300	0,3	+	+
Dachziegel aus Ton	0,01	0,5	1900	1000	0,3	+	+
Fensterglas	0,003	0,9	-	-	-	+	+

Tab. 14 Materialeigenschaften *Casa Térrea* vs. *Casa Popular* aus der Norm ABNT [ABNT, 2005; S. 18-23]

U-Wert [W/(m ² .K)]	<i>Casa Térrea</i>	<i>Casa Popular</i>
Wand	2,42	2,84
Boden	2,25	2,71
Dach	4,55	4,55
Fenster Ug	5,84	5,84
Fenster Uw	5,04	4,74

Tab. 15 Wärmedurchgangskoeffizienten Auswertung *EnergyPlus* Simulation

²¹² ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

²¹³ EnergyPlus Energy Simulation Software, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, Programm Download unter: <<https://energyplus.net/>>, Abrufdatum: 27.07.2012.

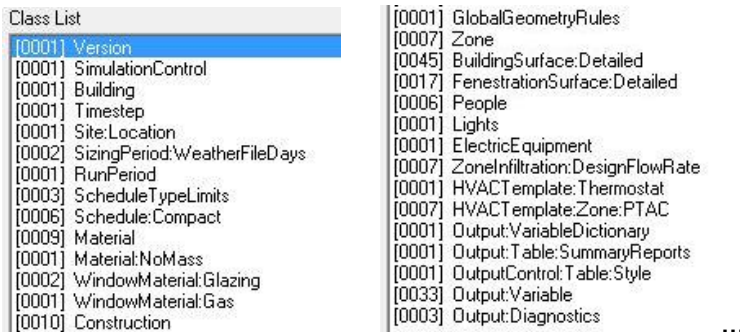
²¹⁴ Vgl. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 2: Anexo B auf S. 9, 10.

2.4.5 Simulation Input

Allgemein

EnergyPlus stellt in seinem Eingangswerkzeug „IDF“ eine Klassifizierungsliste verschiedener Eingangsparameter zur Auswahl, die manuell eingetragen werden. Die Festlegung der *Inputs* – Eingangsparameter – wird vom Benutzer vor der Simulation definiert und kann kontinuierlich verändert werden. Einige der wichtigsten Eingangsparameter sind: Gebäudemodell, Simulationszeitschritte, Ortseingabe, Simulationsdauer/Simulationszeitraum, Materialität, Konstruktion, innere Lasten (Personen, Geräte, elektrische Anlagen, ...), variable Ergebnis- bzw. Ausgangsformate. Für diese Forschungsarbeit wurden die Simulationen in dem Zeitschritt 6 zu 60 Minuten definiert. Das Ergebnisformat wird demensprechend in 10 Minutenschritten ausgewertet.

Der Simulationszeitraum entspricht einem Ganzjahreszeitraum von insgesamt 8760 Stunden.



Class List	
[0001] Version	[0001] GlobalGeometryRules
[0001] SimulationControl	[0007] Zone
[0001] Building	[0045] BuildingSurface:Detailed
[0001] Timestep	[0017] FenestrationSurface:Detailed
[0001] Site:Location	[0006] People
[0002] SizingPeriod:WeatherFileDays	[0001] Lights
[0001] RunPeriod	[0001] ElectricEquipment
[0003] ScheduleTypeLimits	[0007] ZoneInfiltration:DesignFlowRate
[0006] Schedule:Compact	[0001] HVACTemplate:Thermostat
[0009] Material	[0007] HVACTemplate:Zone:PTAC
[0001] Material:NoMass	[0001] Output:VariableDictionary
[0002] WindowMaterial:Glazing	[0001] Output:Table:SummaryReports
[0001] WindowMaterial:Gas	[0001] OutputControl:Table:Style
[0010] Construction	[0033] Output:Variable
	[0003] Output:Diagnostics
	...

Abb. 81 Programmmaske der Klassifizierungsliste der Inputs in EnergyPlus [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]

Innere Lasten

Die inneren Lasten sind vorab festgelegt worden und gehen für alle Simulationen als feste Eingangsparameter ein. Das Gebäude ist als ein 4-Personen-Haushalt konzipiert mit einer festgelegten Belegung eines 24-Stunden-Zyklus (Tab. 16.1). Für die Berechnung der inneren Lasten bzw. der Leistung wird als Bezugsgröße der Wert in Watt [W] angegeben. Dieser resultiert aus der Einteilung nach dem metabolischen Äquivalent (MET)²¹⁵ bezogen auf die Leistung der Aktivitäten.

Bei der Belegung²¹⁶ mit Bewohnern werden drei Situationen von Aktivitäten angenommen: Der niedrigste Wert mit 70 Watt bedeutet die Aktivität des Schlafens. Der Wert von 100 Watt ergibt sich für eine mittlere Aktivität, wie Sitzen und Ruhen. Der höchste Wert mit 160 Watt wird für eine hohe Aktivität innerhalb des Gebäudes angesetzt, wie leichtes Arbeiten, Bewegungen oder schnelles Gehen. Der Wert von 100% entspricht der vollen Belegung von vier Bewohnern. Der Wert von 50% entspricht 2 Bewohnern. Der Wert von 0% entspricht einem leeren Gebäude.

²¹⁵ Vgl. MET - Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis, Herbert Löllgen, Ulrich J. Winter, Erland Erdmann, Springer-Verlag, April 2013, S. 99 f.

²¹⁶ Vgl. BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.; Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis; 1997: S. 244-252.

Personen/Aktivität		00:00 – 08:00		08:00 – 12:00		12:00 – 18:00		18:00 – 00:00	
01	Wohnzimmer	0%	0W	0%	0W	25%	70W	50%	160W
02	Schlafzimmer	50%	70W	0%	0W	0%	0W	25%	70W
03	Schlafzimmer	50%	70W	0%	0W	0%	0W	0%	0W
04	Küche	0%	0W	50%	160W	25%	100W	25%	70W

Tab. 16.1 Innere Lasten: Belegung der Bewohner und deren Aktivitäten

Als weitere Bezugsgröße für innere Lasten gelten die Beleuchtung (Tab. 16.2) und elektrische Anlagen und Geräte im Gebäude²¹⁷. Die Werte in [%] entsprechen dem Einschalt-oder Ausschalt-Modus.

Beleuchtung, Geräte und elekt. Anlagen		22:00 – 08:00		08:00 – 18:00		18:00 – 22:00	
01	Wohnzimmer	0%	0W	50%	60W	50%	100W
02	Schlafzimmer	0%	0W	0%	0W	0%	0W
03	Schlafzimmer	0%	0W	0%	0W	0%	0W
04	Küche	50%	60W	50%	100W	50%	100W

Tab. 16.2 Innere Lasten: Beleuchtung, Geräte und elektrische Anlagen

Luftwechselrate

Die Luftwechselrate (LWR) kann in verschiedenen Eingangsformaten in *EnergyPlus* eingetragen werden: *flow/zone*; *flow/area*; *air-change/hour*, u.v.m.²¹⁸ Für die dynamische Gebäudesimulation hinsichtlich der natürlichen Lüftung wurde das System *AirflowNetwork*, Bestandteil des Programms *EnergyPlus*, welches die natürliche Lüftung innerhalb eines Gebäudes simulieren kann, unter Berücksichtigung des Luftaustausches eines jeden Raumes - genannt energetische Zonen - mit dem Außenraum und auch in den Räumen zueinander. Das Programm *EnergyPlus* bietet zwei Modi zur Berechnung der Luftwechselrate: das Objekt *Infiltration* und der Algorithmus *Comis*. Die Benutzung des Algorithmus *Comis* verlangt theoretisches Wissen über die die Luftwechselrate bestimmenden Prozesse in einem Gebäude und erstellt Berechnungen zur Bestimmung der Undichtigkeiten von Öffnungen und der durch die Türen und Fenster auftretenden natürlichen Lüftung, insbesondere zwischen dem Gebäude und dem Außenraum, sowie innerhalb der thermischen Zonen des Modells. Bei der Benutzung des Objektes *Infiltration* wird der maximal-auftretende Luftstrom festgelegt, sowie ein *schedule* mit den Angaben von Tageszeit und Dauer, wann dieser Luftstrom auftritt.

Für eine bessere Bilanzierung vergleichbarer Simulationsmodelle mit konstanten Eingangsparametern wurde eine Gebäudesimulation unter Anwendung des Modus *Infiltration* ausgewählt. Für eine ausreichende Luftqualität innerhalb eines Gebäudes bestimmt die Norm ASHRAE 62²¹⁹ eine minimale stündliche Luftwechselrate von 0,35 [*air-change/hour*]. Diese

²¹⁷ Vgl. BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.; Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis; 1997: S. 244-252.

²¹⁸ Vgl. ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus; Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus; University of Illinois; Mai 2011; S. 14-16.

²¹⁹ Vgl. ASHRAE STANDARD 62-2001; Ventilation for Acceptable Indoor Air. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Inc. Atlanta, GA; 2003; Abrufdatum: 15.08.2013; S. 4.

Mindest-Luftwechselrate ist ausreichend, um im Rauminnenen möglich auftretende Gase zu verflüchtigen und wird als hygienische Luftwechselrate gekennzeichnet.

Nach ASHRAE *Fundamentals*²²⁰ wird das Volumen des Gebäudes oder des Raumes durch 3600 Sekunden geteilt, um eine LWR in der Auswertung in [m³/s] zu erhalten. Diese Berechnung ist ebenso aus dem Handbuch „ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf“²²¹ entnommen. Somit ergeben sich für die Räumlichkeiten der *Casa Popular* folgende Luftwechselraten und Luftaustausche:

Casa Térrea		Volumen [m³]	Luftwechselrate [m³/s]	Luftaustausch [air-change/hour]
01	Wohnzimmer	23,09	0,0064	1,0
02	Schlafzimmer	15,62	0,0043	0,7
03	Schlafzimmer	15,62	0,0043	0,7
04	Küche	20,38	0,0057	0,9
05	Bad	5,43	0,0015	0,2
06	Wohnzimmer privat	23,09	0,0064	1,0
Mittelwert		17,21	0,0048	0,9

Tab. 17 Volumenangaben, Luftwechselrate und –austausch der *Casa Térrea*

Casa Popular		Volumen [m³]	Luftwechselrate [m³/s]	Luftaustausch [air-change/hour]
01	Wohnzimmer + Zirkulation ²²²	24,57	0,0068	1,1
02	Schlafzimmer	21,69	0,0060	1,0
03	Schlafzimmer	24,44	0,0068	1,1
04	Küche	16,20	0,0045	0,7
05	Bad	5,36	0,0015	0,2
Mittelwert		18,45	0,0051	1,0

Tab. 18 Volumenangaben, Luftwechselrate und –austausch der *Casa Popular*

Für die gesamten dynamischen Gebäudesimulationen wurde eine durchgehend konstante Luftwechselrate als fester Eingangsparameter definiert, welche aus dem Wert eines (1,0) Luftaustausches pro Stunde (*air-change/hour*) berechnet wird; siehe dazu auch die Mittelwerte beider Häuser in Tab. 17 und 18.

Heiz- und Kühlgrenzwert

In dieser Forschungsarbeit wurden keine Systeme zur künstlichen Klimatisierung berücksichtigt und untersucht. Um die Berechnung eines möglichen Verbrauchs hinsichtlich des Heizwärmebedarfs [kWh/m²a] und des Kühlenergiebedarfs [kWh/m²a] zu erhalten, wurden zweifache Simulationen des Gebäudemodells vorgenommen: Simulationen ohne Berücksichtigung der Heiz- und Kühlgrenztemperaturen (dadurch erhält man die Innenraumtemperaturen in °C für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit) und Simulationen mit einer Temperaturgrenzeinstellung für die Heiz- und Kühlperiode (bei den Innenraumtemperaturen, die außerhalb des vorher definierten Temperaturgrenzbereichs liegen,

²²⁰ Vgl. ASHRAE Handbook—Fundamentals; Indoor Environmental Quality; Chapter 9: Thermal Comfort; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2009; Abrufdatum: 28.09.2012; S. 177-190.

²²¹ LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações ; Florianópolis; Introdução ao EnergyPlus, s/d.; 2006; Abrufbarunter: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Tutorial_20EnergyPlus_202006.pdf>; Abrufdatum: 27.07.2012; S. 27.

²²² Die Zirkulation wird mit dem Wohnzimmer als eine gemeinsame Raumfläche angerechnet, da beide Räume im Grundriss keine Trennung haben. Somit wird der Durchschnitt für die Berechnung der LWR aus insgesamt fünf Räumlichkeiten gebildet.

wird die Energie berechnet, die benötigt wird, um die Innenraumtemperatur Richtung Behaglichkeitzone zu erreichen).

Bei der zweiten Simulation erhält man als Ergebnis den notwendigen Energieverbrauch, um die Innentemperatur im Bereich des angegebenen Sollwerts des Behaglichkeitsbereichs (siehe dazu Abb. 66) zu erreichen. Dabei handelt es sich um die Heiz- und Kühlgrenztemperaturen, die als Rahmenbedingungen in der Simulation festgelegt wurden.

Heizgrenztemperatur: Energieverbrauch Heizen berechnen, wenn die Innenraumtemperatur niedriger als 19°C ist, bei 30% relativer Luftfeuchtigkeit.

Kühlgrenztemperatur: Energieverbrauch Kühlen berechnen, wenn die Innenraumtemperatur höher als 25°C ist, bei 80% relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Sollwerte der Perioden werden aus dem thermischen Behaglichkeitsfeld der brasilianischen Norm ABNT NBR 15220-3²²³ entnommen (Abb. 63²²⁴) und entsprechen den minimalen und maximalen Grenztemperaturen des thermischen Behaglichkeitsfeldes.

2.4.6 Simulation Output

In *EnergyPlus* können von dem Benutzer variable Ausgabeformate – *Outputs* – festgelegt werden. Die Ausgabeformate stehen in Abhängigkeit zu den Eingangsparametern. Für die Klimaauswertung wird eine EPW²²⁵ Datei – *EnergyPlus Weather File*²²⁶ benötigt. Bei der Gebäudeauswertung muss mindestens eine thermisch-energetische Zone angegeben werden, mit der Eingabe der Materialkennwerte. In der folgenden Tabelle 16 werden die Ausgabeformate für das Klima und das Gebäude getrennt aufgelistet, welche für die Simulationen dieser Arbeit ausgewählt wurden.

Klima	Gebäude
<i>Outdoor Dry Bulb [C]</i>	<i>Zone Mean Air Temperature [C]</i>
<i>Outdoor Relative Humidity [%]</i>	<i>Zone Operative Air Temperature [C]</i>
<i>Direct and Diffuse Solar [W/m2]</i>	<i>Zone Air Relative Humidity [%]</i>
<i>Wind Speed [m/s]</i>	<i>Zone Surface Inside and Outside Face Temperature [C]</i>
<i>Wind Direction [deg]</i>	<i>Zone/Sys Sensible Heating and Cooling Energy [J]</i>
<i>Liquid Precipitation [mm]</i>	<i>Site and Source Energy Heating and Cooling [GJ]</i>

Tab. 19 Outputliste aus dem Programm *EnergyPlus*

²²³ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

²²⁴ Siehe Abb. 63, S. 63.

²²⁵ EPW – EnergyPlus Weather File für die Referenzstädte; LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações; Arquivos climáticos em formato EPW; 2012; Datei abrufbar unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>; Abrufdatum: 27.07.2012.

²²⁶ Vgl. ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus; Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus; University of Illinois; Mai 2011; S. 14-16.

2.4.7 Modellbildung

Die Gebäudetypologien der *Casa Térrea* und der *Casa Popular* dienen als Untersuchungsmodelle für den Vergleich beider Häuser in der Voruntersuchung. Die bauphysikalischen Eigenschaften der Materialität der *Casa Popular*, sowie die Wärmedurchgangskoeffizienten²²⁷ der Außenwand, der Bodenplatte, des Daches und des Fensters werden in Kap. 2.4.4.²²⁸ dargestellt Für die Ermittlung des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs wurde der Bautyp eines Einfamilienhauses ausgewählt und im 3-D Programm *SketchUp* mit dem *Add-On-Programm OpenStudio* als ein Zonenmodell (Abb. 100 und 101) erstellt.²²⁹

Das Gebäude der *Casa Popular* wurde in sieben thermische Zonen unterteilt (Abb. 82): Zone 01 ist das Wohnzimmer, Zone 02 das Schlafzimmer, Zone 03 das zweite Schlafzimmer, Zone 04 ist die Küche, Zone 05 das Bad, Zone 06 dient als Flurbereich und trennt zugleich das Wohnzimmer von der Küche und Zone 07 wird als das Dach bezeichnet.

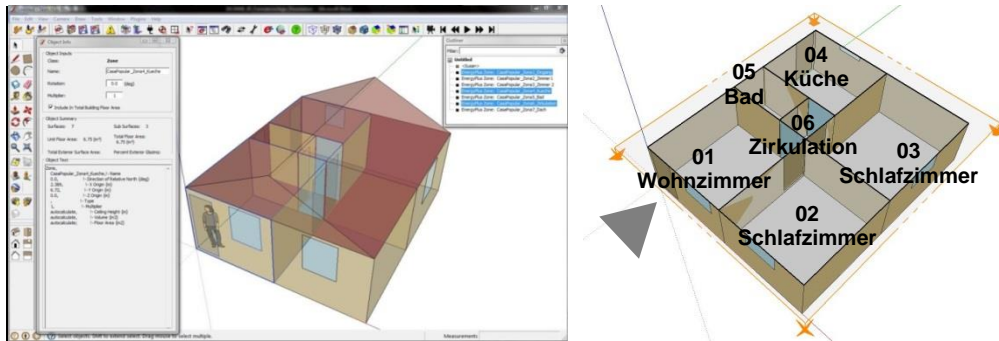


Abb. 82 Programmaske für die Gebäudemodellierung in SketchUp/OpenStudio Casa Popular [SketchUp 3D; Fensterabbild des Programms]

Das Gebäude der *Casa Térrea* wurde in acht thermische Zonen unterteilt (Abb. 83): Zone 01 ist das Wohnzimmer, Zone 02 das Schlafzimmer, Zone 03 das zweite Schlafzimmer, Zone 04 ist die Küche, Zone 05 das Bad, Zone 06 dient als privates Wohnzimmer der Familie und Zone 07 und 08 wird als das Dach bezeichnet.

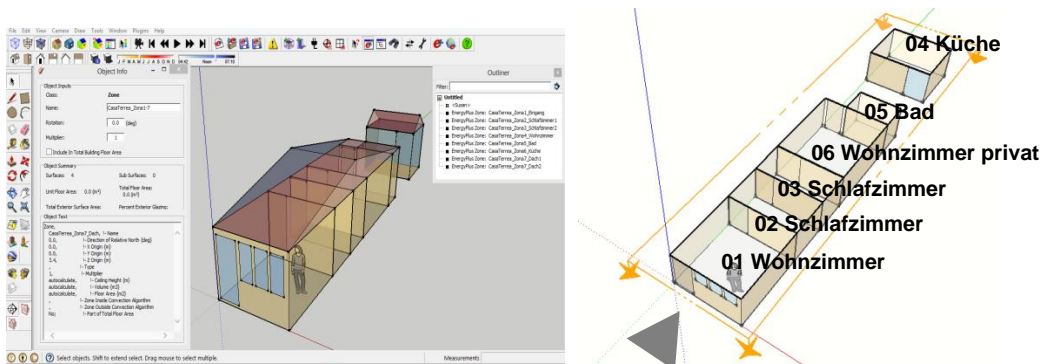


Abb. 83 Programmaske für die Gebäudemodellierung in SketchUp/OpenStudio Casa Térrea [SketchUp 3D; Fensterabbild des Programms]

²²⁷ Die Werte der Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile sind als Ausgabewerte aus der dynamischen Gebäudesimulation mit *EnergyPlus* entnommen worden.

²²⁸ Siehe Kap. 2.4.4 - Materialität; S. 104.

²²⁹ Siehe Kap. 2.1 - Werkzeug; S. 85.

3 Untersuchungen, Simulationen und Ergebnisse

3.1 Voruntersuchung Casa Térrea vs. Casa Popular

Nachdem die *Casa Térrea* als traditionelle Bauweise der Kolonialzeit mit der *Casa Popular*, Beispiel einer dem heutigen sozialen Wohnungsbauprogramm entsprechendem Wohngebäudetypologie, in einer Voranalyse hinsichtlich ihrer Raumstruktur, Konstruktion und Materialität vorgestellt worden sind, werden beide Häuser in ihrem thermischen und energetischen Verhalten für die vier repräsentativ ausgewählten Klimazonen²³⁰ simuliert, ausgewertet und miteinander verglichen.

Diese Zwischenauswertung hat als Zielsetzung, die Potenziale und Defizite zweier unterschiedlichen Bauweisen transparenter zu machen, wobei sich beide Häuser in ihrer Wohnfläche und Nutzung gleichen.

Beide Haustypen - *Casa Térrea* und *Casa Popular* - werden im Ist-Zustand simuliert und für die vier Klimazonen einzeln unter folgenden Kriterien ausgewertet:

- Prozentualer monatlicher Anteil der thermischen Behaglichkeit und seinem Inkrement (Unbehaglichkeit), dargestellt durch die passiven Strategien nach Norm ABNT NBR 15220-3²³¹. Als Hilfsmittel dient das Programm *AnalysisBio2.2* der brasilianischen Universität *Universidade Federal de Santa Catarina*, Fachgebiet Energieeffizienz bei Gebäuden (LABEEE – *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*).
- *Psychrometric Chart*²³² als Diagramm der mittleren Innenraumtemperatur als Ganzjahresdarstellung für die *Casa Térrea* und die *Casa Popular*.
- Tabelle der prozentualen Werte der Behaglichkeit/Unbehaglichkeit, sowie des Wärmeempfindens/Kälteempfindens beider Wohnhäuser im Bezug zum Raumklima und zum Außenklima.

²³⁰ Siehe Kap. 2.3, - Klimazonenauswahl; S. 96-99.

²³¹ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220 „Wärmeschutz von Gebäuden“ Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter <<http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

²³² Siehe Kap. 1.4.4 - Psychrometric Chart; S. 65, 66.

3.1.1 Klimazone 01

Die Referenzstadt der Klimazone 01 ist Curitiba – Bundesland Paraná. Der prozentuale monatliche Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement als passive Strategien nach Norm ABNT NBR 15220-3 der *Casa Térrea* (abgekürzt C.Térrea) und der *Casa Popular* (abgekürzt C.Popular) werden in der Abb. 84 dargestellt. Beide Häuser liegen mit ihren Werten der Behaglichkeit eng zusammen, die C.Térrea bei 39,4 [%] und die C.Popular bei 38,4 [%]. In der Abb. 85 ist das *Psychrometric Chart* der C.Térrea und in Abb. 86 das *Psychrometric Chart* der C.Popular der mittleren Innenraumtemperatur als Jahresauswertung zu sehen.

Der HWB (Heizwärmebedarf/Jahr) der C.Térrea beträgt 316,21 [kWh/(m²a)]. Im Vergleich dazu weist der HWB der C.Popular 347,86 [kWh/(m²a)] auf (Abb. 96 und 97). Daraus resultiert ein Mehrverbrauch von 10 [%] an Heizenergie für die aktuelle Wohnbauweise. Der KEB (Kühlenergieverbrauch/Jahr) wurde nur bei der C.Popular ermittelt und liegt bei minimalen 0,10 [kWh/(m²a)] und kann damit vernachlässigt werden.

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der C.Térrea liegt bei 39,4 [%], im Vergleich zur C.Popular bei 38,4 [%]. Die Unbehaglichkeit der C.Térrea liegt bei 60,6 [%] und leicht darüber bei der C.Popular mit 61,6 [%]. Bei den Auswertungen ergeben sich für die C.Térrea ein Kälteempfinden von 53,2 [%] und ein geringes Wärmempfinden von 7,37 [%]. Die C.Popular weist hingegen ein Kälteempfinden von 49,9 [%] bzw. ein Wärmempfinden von 11,7 [%] auf (Tab. 20).

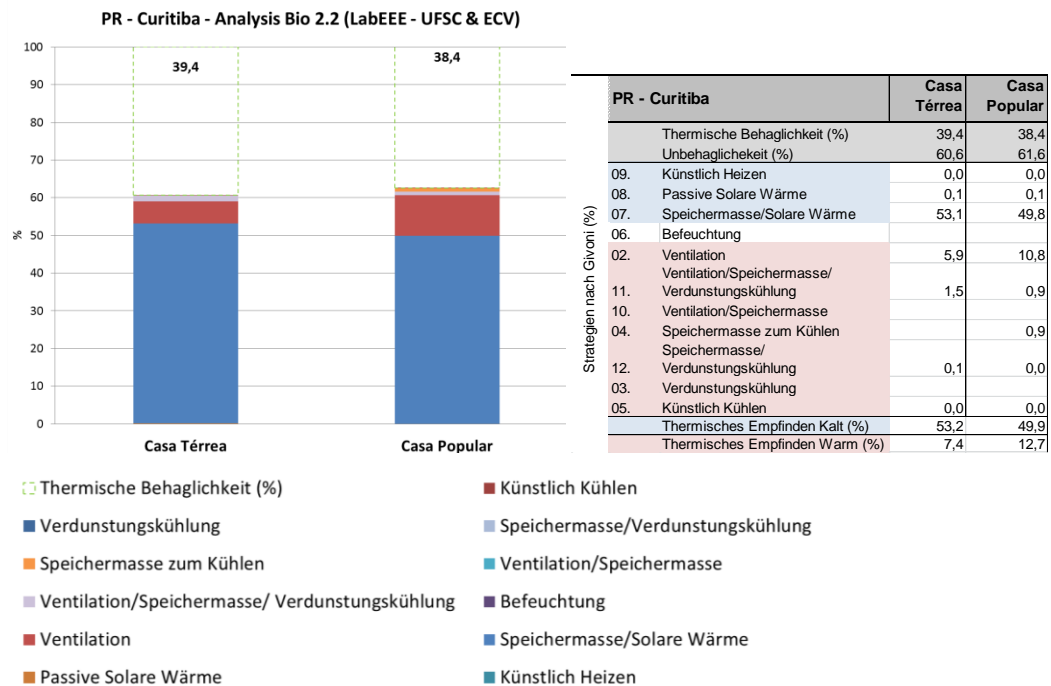


Abb. 84 Jahresauswertung der Strategien und der thermischen Behaglichkeit

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

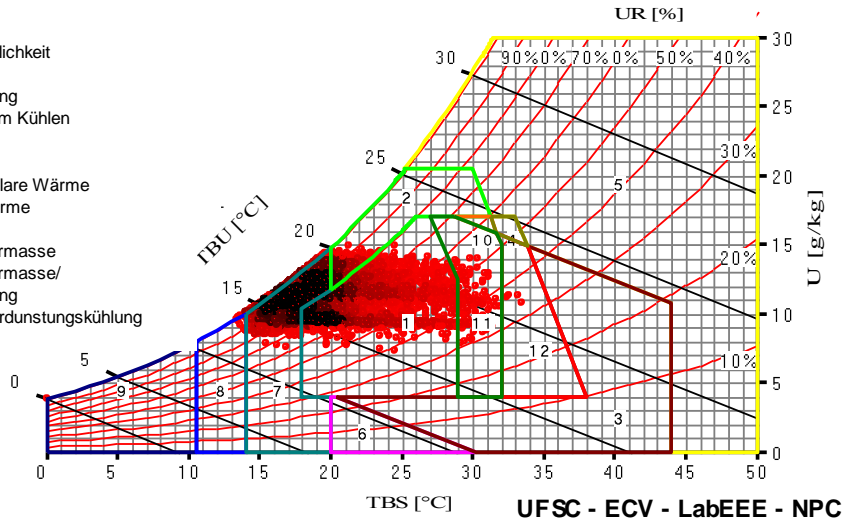


Abb. 85 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Térrea [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

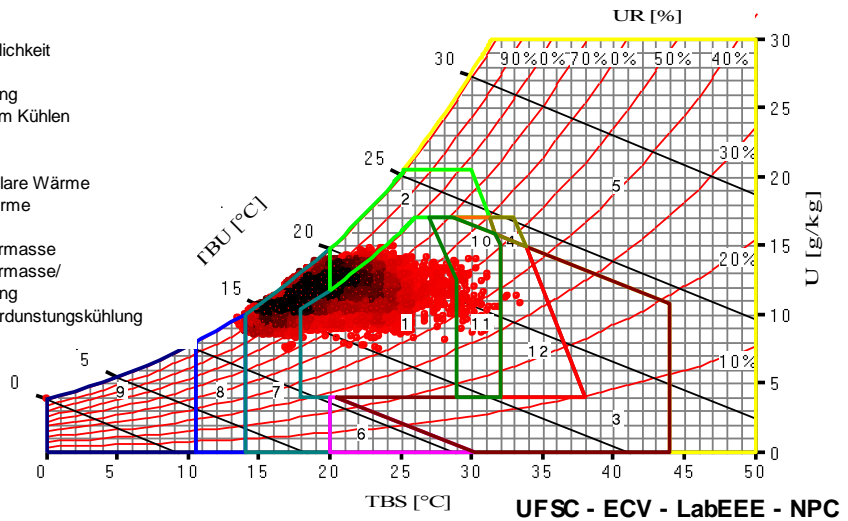


Abb. 86 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Auswertung:	Innenraumklima Casa Térrea:	Innenraumklima Casa Popular:
Behaglichkeit: 22,3 %	Behaglichkeit: 39,4 %	Behaglichkeit: 38,4 %
Unbehaglichkeit: 77,7 %	Unbehaglichkeit: 60,6 %	Unbehaglichkeit: 61,6 %
Kälteempfinden: 75,18 %	Kälteempfinden: 53,2 %	Kälteempfinden: 49,9 %
Wärmeempfinden: 2,48 %	Wärmeempfinden: 7,4 %	Wärmeempfinden: 11,7 %

Tab. 20 Auswertung Aussenklima im Vergleich Innenraumklima „Casa Térrea“ vs. „Casa Popular“

3.1.2 Klimazone 03

Die Referenzstadt der Klimazone 03 ist São Paulo, Bundesland São Paulo. Der prozentuale monatliche Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement als passive Strategien nach Norm ABNT NBR 15220-3 der *Casa Térrea* (abgekürzt C.Térrea) und der *Casa Popular* (abgekürzt C.Popular) werden in der Abb. 87 dargestellt. Beide Häuser haben leicht unterschiedliche Werte, die C.Térrea 81,2 [%] und die C.Popular 73,9 [%]. In der Abb. 88 ist das *Psychrometric Chart* der C.Térrea und in Abb. 89 das *Psychrometric Chart* der C.Popular der mittleren Innenraumtemperatur als Jahresauswertung zu ersehen.

Der HWB (Heizwärmebedarf/Jahr) der C.Térrea liegt bei 64,58 [kWh/(m²a)]. Im Vergleich dazu beträgt der HWB der C.Popular 80,07 [kWh/(m²a)] (Abb. 96 und 97) und entspricht einem Mehrverbrauch von 24 [%] an Heizenergie. Der KEB (Kühlenergieverbrauch/Jahr) der C.Térrea liegt bei nur 1,28 [kWh/(m²a)]. Im Vergleich dazu liegt der KEB der C.Popular bei 6,83 [kWh/(m²a)]. Daraus resultiert ein Mehrverbrauch von 433 [%] an Kühlenergie für die aktuelle Wohnbauweise des sozialen Wohnungsbaus. Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas beträgt im Ist-Zustand der C.Térrea 81,2 [%], im Vergleich dazu die C.Popular mit 73,9 [%]. Die Unbehaglichkeit der C.Térrea liegt bei 18,8 [%], zur C.Popular mit 26,1 [%]. Die Auswertungen ergeben ein Kälteempfinden bei der C.Térrea 4,53 [%], aber ein fast dreifaches Kälteempfinden von 15,8 [%] bei der C.Popular. Für das Wärmeempfinden ergeben sich der Wert von 14,3 [%] für die C.Térrea und 10,2 [%] für die C.Popular (Tab. 21).

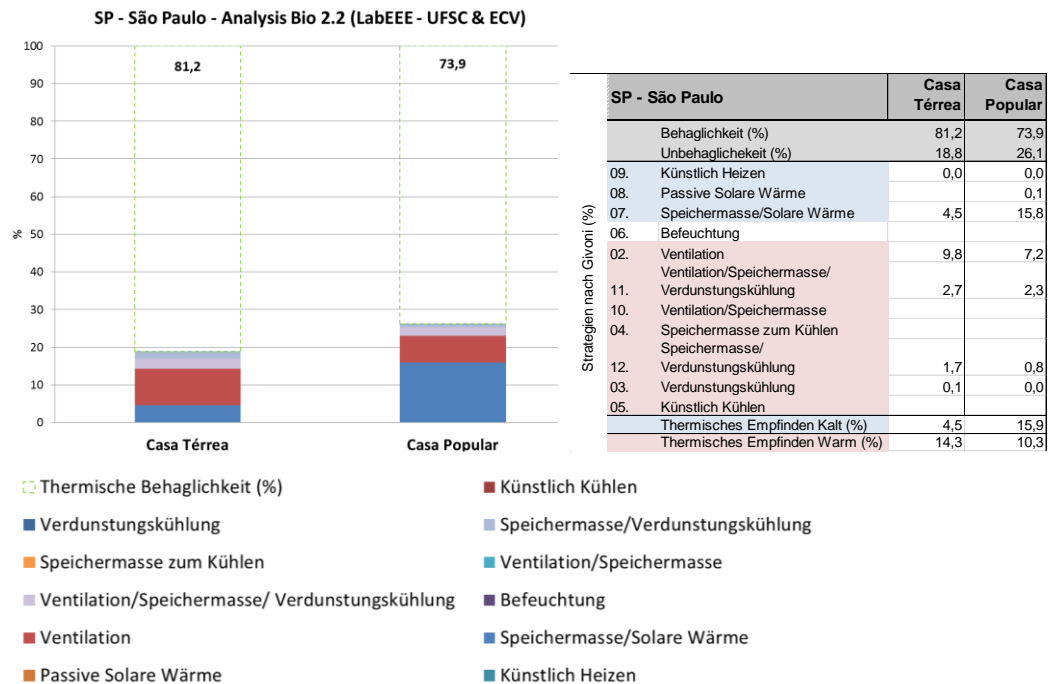


Abb. 87 Jahresauswertung der Strategien und der thermischen Behaglichkeit

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

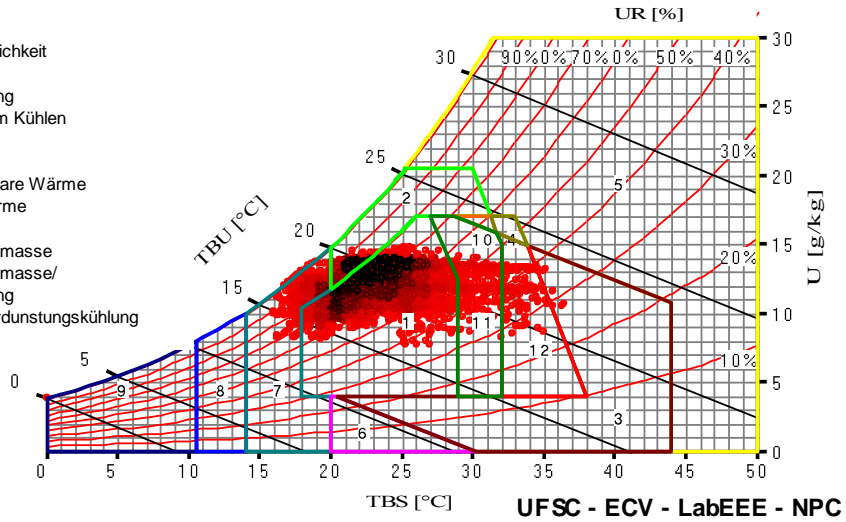


Abb. 88 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Térrea [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

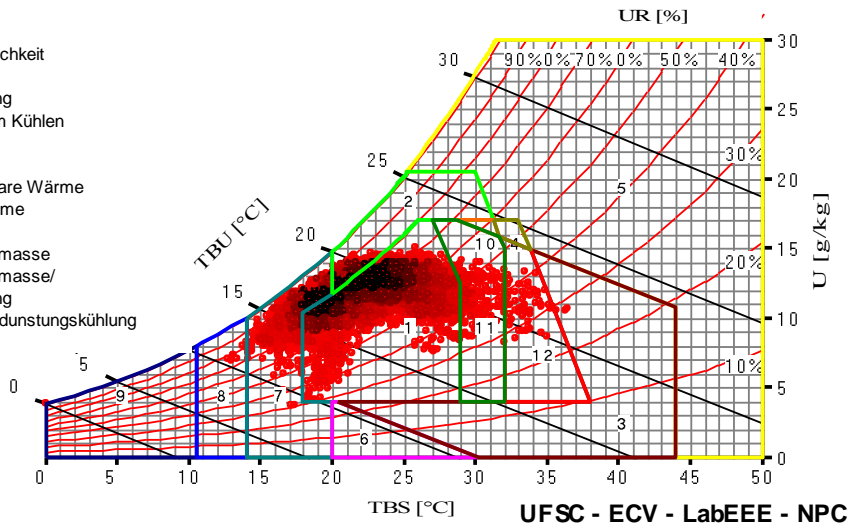


Abb. 89 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Auswertung:	Innenraumklima Casa Térrea:	Innenraumklima Casa Popular:
Behaglichkeit: 34,8 %	Behaglichkeit: 81,2 %	Behaglichkeit: 73,9 %
Unbehaglichkeit: 65,2 %	Unbehaglichkeit: 18,8 %	Unbehaglichkeit: 26,1 %
Kälteempfinden: 59,5 %	Kälteempfinden: 4,5 %	Kälteempfinden: 15,9 %
Wärmeempfinden: 5,71 %	Wärmeempfinden: 14,3 %	Wärmeempfinden: 10,3 %

Tab. 21 Auswertung Aussenklima im Vergleich Innenraumklima „Casa Térrea“ vs. „Casa Popular“

3.1.3 Klimazone 07

Die Referenzstadt der Klimazone 07 ist Picos, Bundesland Piauí. Der prozentuale monatliche Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement als passive Strategien nach Norm ABNT NBR 15220-3 der *Casa Térrea* (abgekürzt C.Térrea) und der *Casa Popular* (abgekürzt C.Popular) werden in der Abb. 90 dargestellt. Beide Häuser weisen in ihren Werten eine ungenügende thermische Behaglichkeit auf, C.Térrea mit 30,5 [%] und C.Popular mit 28,3 [%]. In der Abb. 91 ist das *Psychrometric Chart* der C.Térrea und in Abb. 92 der C.Popular mit den mittleren Innenraumtemperaturen als Jahresauswertung zu sehen.

Der KEB (Kühlenergieverbrauch/Jahr) der C.Térrea beträgt 99,18 [kWh/(m²a)]. Im Vergleich dazu weist der KEB der C.Popular 161,51 [kWh/(m²a)] auf. Damit ergibt sich ein Mehrverbrauch von 83,7 [%] an Kühlenergie. In der Klimazone 07 ergeben die Auswertungen für beide Haustypen kein HWB (Heizwärmebedarf/Jahr) (Abb. 96 und 97).

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der C.Térrea liegt bei 30,5 [%], im Vergleich zur C.Popular mit 28,3 [%]. Die Unbehaglichkeit der C.Térrea liegt bei 69,5 [%], vergleichsweise die C.Popular mit 71,7 [%]. Die Auswertungen ergeben für beide Häuser ein niedriges Kälteempfinden von 0,01 [%], aber ein hohes Wärmempfinden von 69,5 [%] bei der C.Térrea und 71,6 [%] bei der C.Popular (Tab. 22).

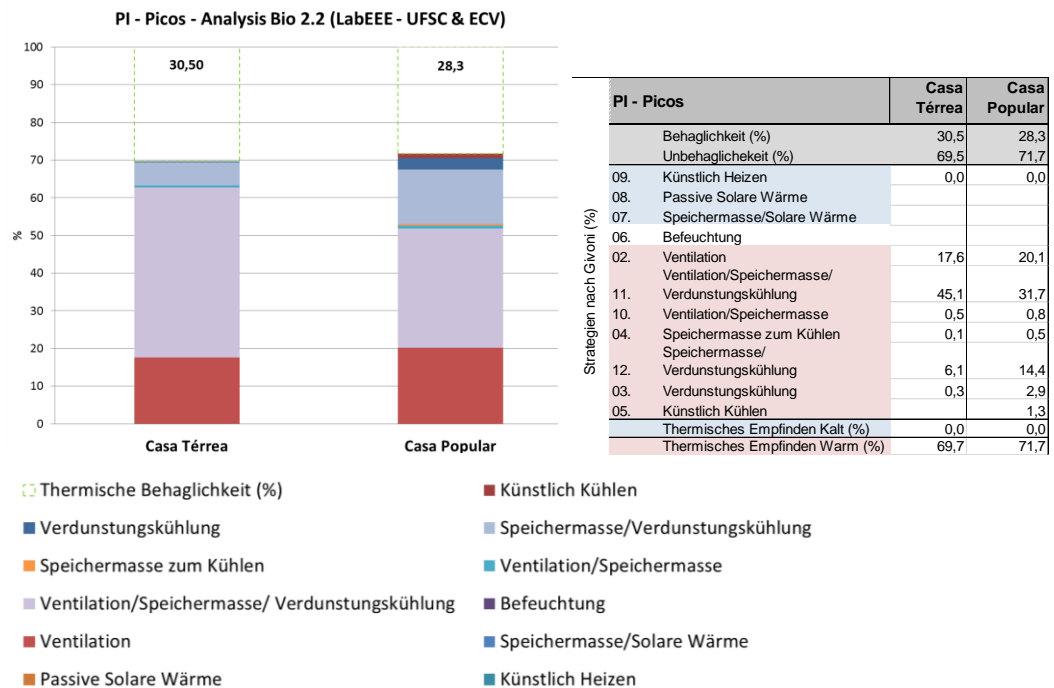


Abb. 90 Jahresauswertung der Strategien und der thermischen Behaglichkeit

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

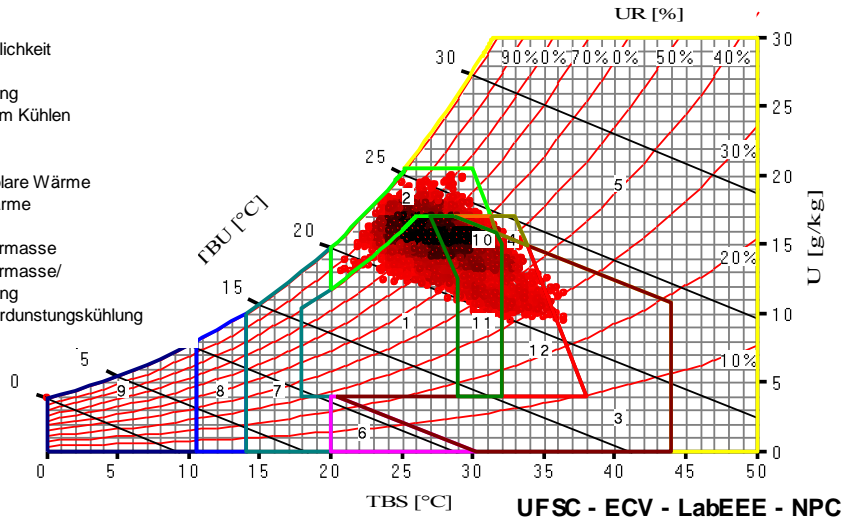


Abb. 91 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Térrea [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

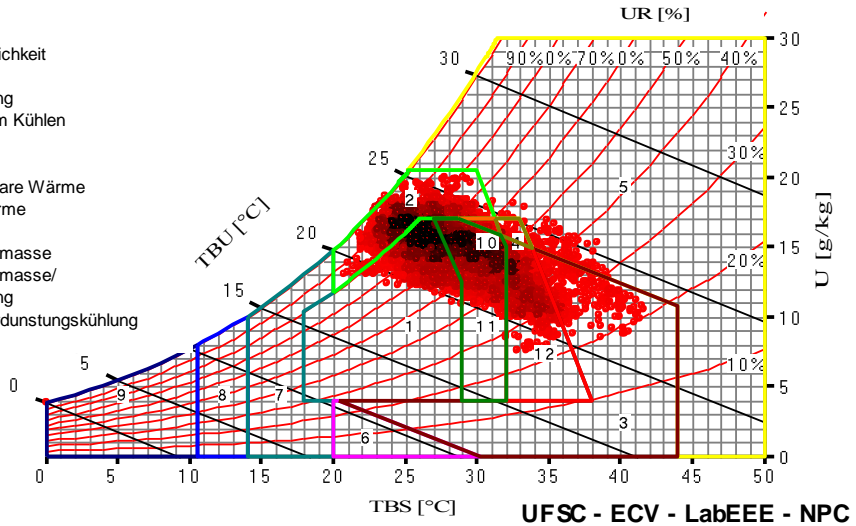


Abb. 92 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Auswertung:	Innenraumklima Casa Térrea:	Innenraumklima Casa Popular:
Behaglichkeit: 43,3 %	Behaglichkeit: 30,5 %	Behaglichkeit: 28,3 %
Unbehaglichkeit: 56,7 %	Unbehaglichkeit: 69,5 %	Unbehaglichkeit: 71,7 %
Kälteempfinden: 4,41 %	Kälteempfinden: 0,0 %	Kälteempfinden: 0,0 %
Wärmeempfinden: 52,37 %	Wärmeempfinden: 69,7 %	Wärmeempfinden: 71,7 %

Tab. 22 Auswertung Aussenklima im Vergleich Innenraumklima „Casa Térrea“ vs. „Casa Popular“

3.1.4 Klimazone 08

Die Referenzstadt der Klimazone 08 ist Recife, Bundesland Pernambuco. Der prozentuale monatliche Anteil der thermischen Behaglichkeit und ihrem Inkrement als passive Strategien nach Norm ABNT NBR 15220-3 der *Casa Térrea* (abgekürzt C.Térrea) und der *Casa Popular* (abgekürzt C.Popular) werden in der Abb. 93 dargestellt. Beide Häuser weisen sehr unterschiedliche Werte für die thermische Behaglichkeit auf: C.Térrea mit 57,2 [%] und C.Popular mit 40,6 [%]. In der Abb. 95 ist das *Psychrometric Chart* der C.Térrea und in Abb. 96 der C.Popular für die mittlere Innenraumtemperatur in der Jahresauswertung zu ersehen.

Der KEB (Kühlenergieverbrauch/Jahr) der C.Térrea liegt bei 47,48 [kWh/(m²a)]. Im Vergleich dazu liegt der KEB der C.Popular bei 100,86 [kWh/(m²a)]. Damit ergibt sich ein Mehrverbrauch an Kühlenergie von 112,4 [%] für die aktuelle Wohnbauweise. In der Klimazone 08 ergibt sich für beide Haustypen kein HWB (Heizwärmebedarf/Jahr) (Abb. 96 und 97).

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der C.Térrea liegt bei 57,2 [%], im Vergleich dazu die C.Popular bei 40,6 [%]. Die Unbehaglichkeit der C.Térrea beträgt 42,8 [%], vergleichend dazu die C.Popular mit 59,4 [%]. Bei den Auswertungen ergeben sich für beide Häuser ein zu vernachlässigendes geringes Kälteempfinden von 0,01 [%] bei einem Wärmempfinden von 42,7 [%] bei der C.Térrea und 59,4 [%] bei der C.Popular (Tab. 23).

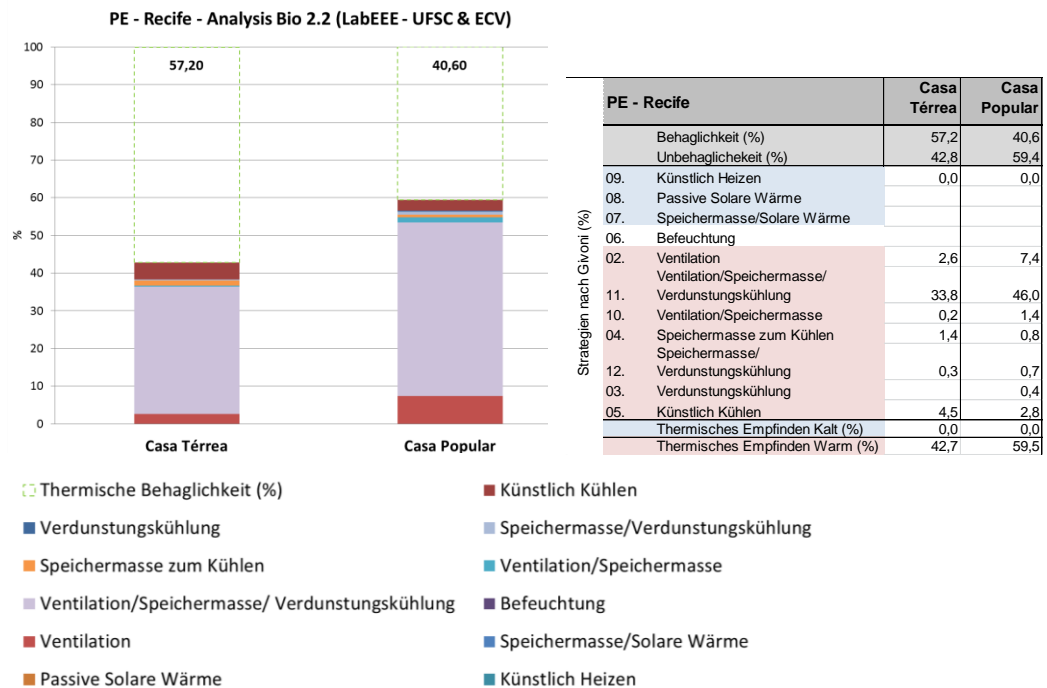


Abb. 93 Jahresauswertung der Strategien und der thermischen Behaglichkeit

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

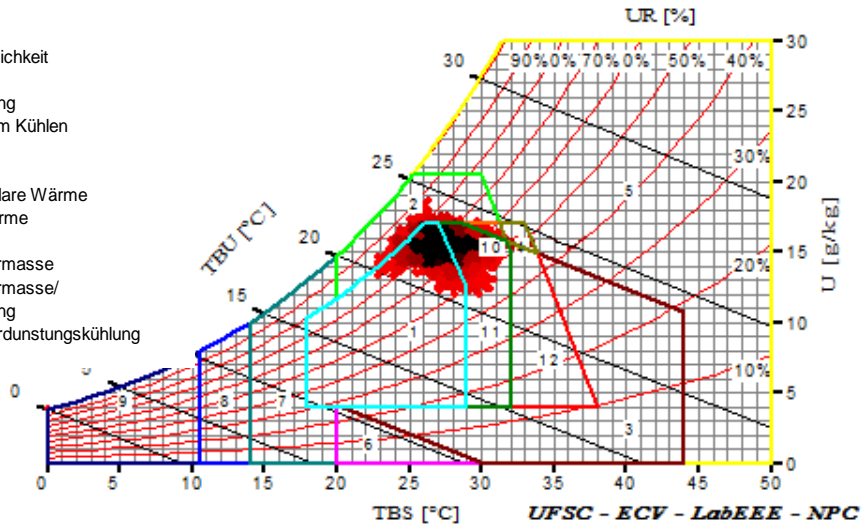


Abb. 94 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Térrea [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

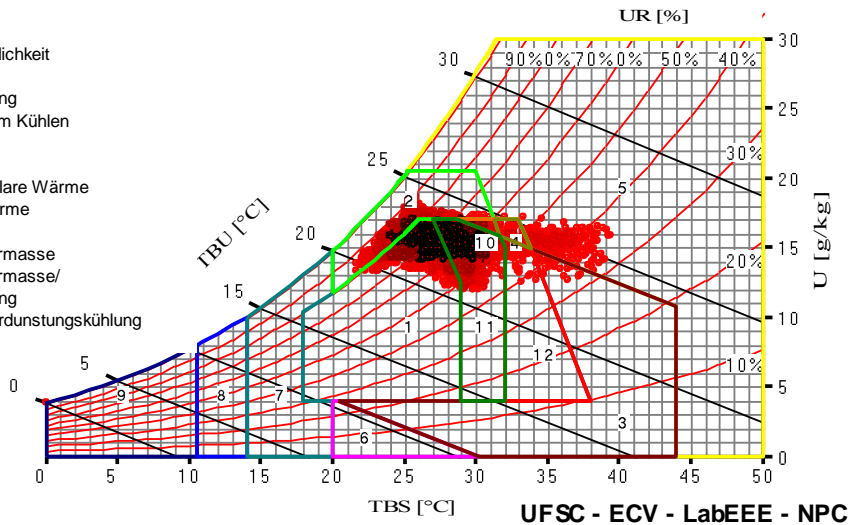


Abb. 95 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Auswertung:	Innenraumklima Casa Térrea:	Innenraumklima Casa Popular:
Behaglichkeit: 42,8 %	Behaglichkeit: 57,2 %	Behaglichkeit: 40,6 %
Unbehaglichkeit: 57,2 %	Unbehaglichkeit: 42,8 %	Unbehaglichkeit: 59,4 %
Kälteempfinden: 0,23 %	Kälteempfinden: 0,0 %	Kälteempfinden: 0,0 %
Wärmeempfinden: 57,02 %	Wärmeempfinden: 42,7 %	Wärmeempfinden: 59,5 %

Tab. 23 Auswertung Aussenklima im Vergleich Innenraumklima „Casa Térrea“ vs. „Casa Popular“

3.1.5 Zwischenauswertung Ist-Zustand

Bei der bisherigen Recherche wurde der Fokus bewusst auf zwei durch die Wohngeschichte Brasiliens entstandenen Referenzhäuser gelegt, die zum einen aus den Jahrhunderten der Kolonialzeit und zum anderen ab den 50-er Jahren durch die industrielle Entwicklung in einer schnell wachsenden Bevölkerung geprägt sind.

Durch die Häufigkeit des Vorkommens in allen Klimazonen von 01 bis 08 ergeben sich erst die Möglichkeiten, diese Häuser durchgängig für die gesamte Landausdehnung Brasiliens repräsentativ auf ihr energetisches und thermisches Verhalten zu vergleichen, zu analysieren und auszuwerten. Aufgrund der ähnlichen Wohngröße und einem identischen Raumprogramm wurde die *Casa Térrea* als Beispiel eines aus der Kolonialzeit stammenden Hauses mit der *Casa Popular* als Referenz eines die heutigen Mindeststandards erfüllenden Wohnhauses verglichen.

Beide Häuser wurden in ihrer Raumstruktur, Konstruktion und Materialität vorgestellt und für die vier ausgewählten Klimazonen hinsichtlich ihres thermischen und energetischen Verhaltens simuliert, ausgewertet und miteinander verglichen. Zielsetzung dieser Zwischenauswertung war es, die Potenziale und Defizite beider in unterschiedlichen Bauweisen erstellten Häuser aufzuzeigen.

In den Abbildungen 96 und 97 wird der mittlere jährliche Verbrauch hinsichtlich des Heizwärmebedarfs [kWh/(m².a)] und des Kühlenergiebedarfs [kWh/(m².a)] für beide Häuser in den vier ausgewählten Klimazonen dargestellt. Die Abbildungen verdeutlichen den unterschiedlichen Bedarf der *Casa Térrea* und der *Casa Popular* in den vier verschiedenen Klimazonen Brasiliens.

Die Auswertungen der Tabellen zeigen einen stark erhöhten Heizwärmebedarf bei der Klimazone 01 im Vergleich zu den anderen drei Klimazonen. Ursache dafür sind die niedrigen Außenlufttemperaturen der Referenzstadt der Klimazone 01 Curitiba. Mit einem jährlichen Minimalen Lufttemperatur-Mittelwert von nur 6,5°C gehört Curitiba zu den kältesten Hauptstädten Brasiliens²³³ (Abb. 20).

Bei dem Kühlenergiebedarf zeigt sich, dass der Energiebedarf beider Häuser in Klimazone 07 höher ist, als die nach der Norm ABNT NBR 15220-3²³⁴ angegebene wärmere Klimazone 08. Zwar sind die Temperaturen bei Klimazone 08 höher, jedoch ist die relative Luftfeuchtigkeit bei Klimazone 07 geringer als bei Klimazone 08, sodass eine höhere Temperatur bei geringerer relativer Luftfeuchtigkeit mehr Kühlenergie verbraucht.²³⁵ Ausführlichere Klimaauswertungen aller acht Klimazonen Brasiliens können im Anhang B²³⁶ eingesehen werden.

- Der Mehrbedarf an Heizenergie der *Casa Popular* in der Klimazone 01 liegt 10,0 [%] - in der Klimazone 03 sogar 24,0 [%] höher als der vergleichbare Bedarf der *Casa Térrea* (Abb. 96).
- Der Mehrbedarf an Kühlenergie der *Casa Popular* in der Klimazone 07 liegt 83,7 [%] - in der Klimazone 08 sogar 112,4 [%] höher als derjenige Bedarf der *Casa Térrea* (Abb. 97).

²³³ Vgl. SAKAMOTO, E. H.; Hardt, C.; Rezende, D. A.; Paisagens em Debate: Revista eletrônica da área Paisagem e Ambiente, FAU.USP - No. 04; Artikel: Cidade Ecológica: Política de criação de áreas; 2006; Dokument abrufbar unter: <<http://www.usp.br/fau/deprojeto/gdpa/paisagens/artigos/2006Eliane-cidadeEcologica.pdf>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 4.

²³⁴ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://norma-abnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>> Abrufdatum: 21.01.2012.

²³⁵ Siehe dazu Klimazonen Brasiliens nach der Norm im Kap. 1.3.2: Klimazone 07 auf S. 51-53; Klimazone 08 auf S. 54-56.

²³⁶ Siehe Anlage B, S. 192-198.

Unabhängig von der Klimazone ergeben die Zwischenauswertungen, dass sich die *Casa Térrea* weitaus thermisch behaglicher und energiesparender verhält. Die aus den Kolonialzeiten stammenden Erfahrungen wie die Bauweise, die Konstruktion und die Materialwahl zeigen ein deutlich effizienteres Wohnungsbaukonzept als die heute von der Industriezeit geprägten Haustypologien.

Der Grundriss der *Casa Térrea* entspricht zwar nicht mehr den heute im Wohnungsbau angewendeten Mindeststandards, zeigt jedoch wichtige Forschungsansätze für passive energetische potenzielle Strategien auf. Für die Transformation und die Bilanzierung der passiven Strategien für den aktuellen Wohnungsbau sollen sich in den weiteren Forschungsschritten Kriterien zur Auswahl und Optimierung ergeben.

In der Hauptuntersuchung dient die *Casa Popular* als Ausgangsmodell, da sie den Mindestanforderungen der aktuellen Bauvorschriften und Wohnstandards entspricht. Eine Vorstellung dieser Modellbildung erfolgte bereits im Kapitel 2.4. Eine ausführliche Beschreibung der *Casa Popular* für die weiteren Forschungsschritte wird in dem folgenden Kapitel 3.3 dargestellt.

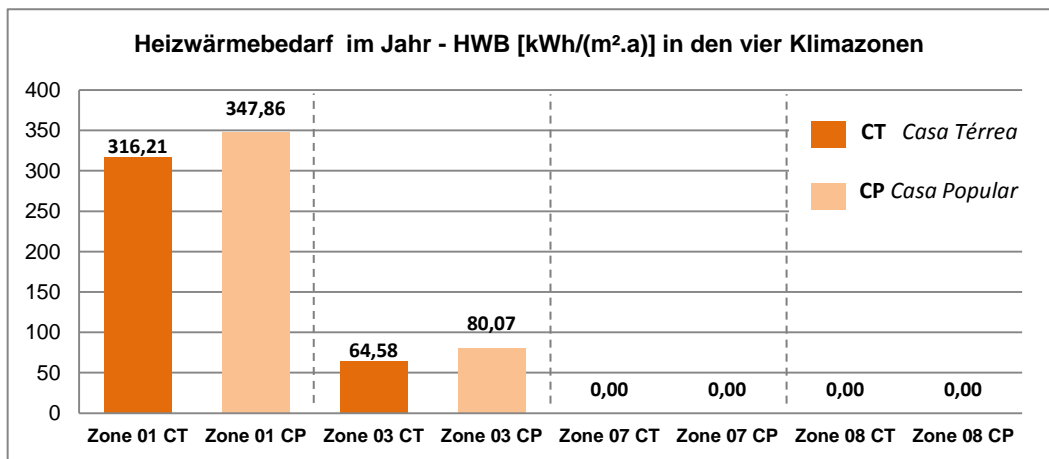


Abb. 96 Durchschnittlicher Heizwärmebedarf im Jahr [kWh/(m².a)] „Casa Térrea vs. Casa Popular“

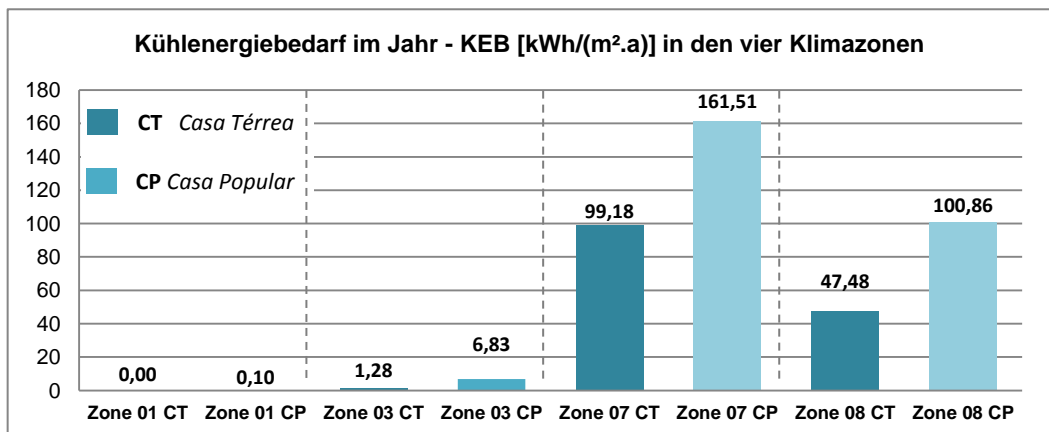


Abb. 97 Durchschnittlicher Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m².a)] „Casa Térrea vs. Casa Popular“

3.2 Hauptuntersuchung Casa Popular

3.2.1 Untersuchungsmodell Casa Popular

Der Vergleich der Häuser *Casa Térrea* und *Casa Popular* hat aufgezeigt, dass unabhängig von der Klimazone der aus der Kolonialzeit stammende Haustyp eine effizientere Verhaltensweise hinsichtlich der energetischen, raumklimatisch-thermischen Bedingungen aufweist. Die Auswahl der Bauweise und der Materialität der *Casa Térrea* ergeben ein deutlich behaglicheres Innenraumklima als das der *Casa Popular*. Aus diesem Verhalten kann man ein Potenzial zur Anwendung passiver energetischer Strategien ableiten. Diese Variantenvielfalt von möglichen baulichen Maßnahmen als passive Strategien soll als Transformation aufgezeigt und auf die *Casa Popular* angewendet, simuliert und ausgewertet werden.

Die Auswahl und der Einsatz der Strategien erfolgt selektiv und ohne den Anspruch einer Vollständigkeit. Zur Auswahl gehören konstruktive Maßnahmen, die in der Planungsphase noch berücksichtigt werden können und auch Maßnahmen, die nach Fertigstellung des Gebäudes und im bewohnten Zustand implementiert werden können.

Jede dieser Strategie wird einzeln auf das Gebäudemodell der *Casa Popular* in den vier ausgewählten repräsentativen Klimazonen angewendet, simuliert und auf mögliche Potenziale und Defizite untersucht. Die Untersuchungen streben eine signifikante Verbesserung der thermischen Behaglichkeit an, unter gleichzeitiger Optimierung des Energieeinsatzes für die Raumklimamaßnahmen.

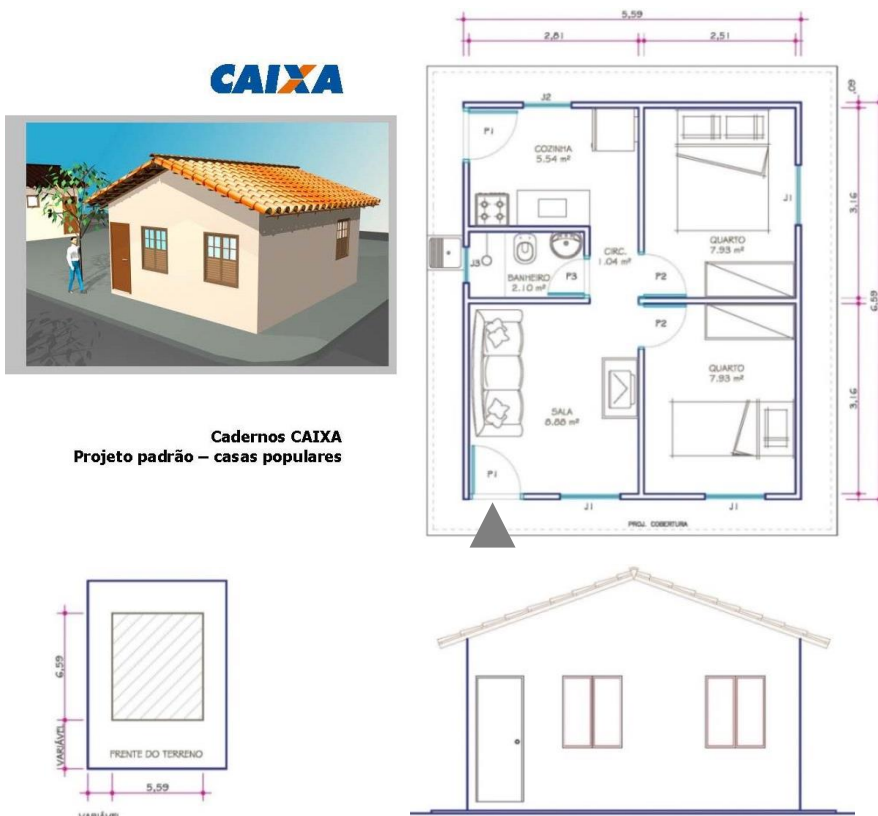
Als Bilanzierungswerkzeug wird das dynamische Gebäudesimulationsprogramm *EnergyPlus* eingesetzt, welches eine realitätsnahe Auswertung und Darstellung der Ergebnisse ermöglicht. Durch Änderung von nur einem einzelnen Parameter sind die Simulationsauswertungen vergleichbar, bilanzierbar und damit Grundlage für einen zutreffenden Entscheidungsprozess.

Der Gebäudetyp der *Casa Popular* des sozialen Wohnungsbauprogramms in Abb. 98 dient als Referenzgebäude für die Hauptuntersuchung dieser Forschungsarbeit und wurde aus dem Katalog der CAIXA²³⁷ ausgewählt. Dieses Gebäude wird den externen Bauunternehmen als Referenz für den Bautyp „Einfamilienhaus“ des sozialen Wohnungsbaus vorgeschrieben. Weitere Bautypologien des Katalogs der CAIXA sind Reihenhäuser, Doppelhäuser und Wohnhäuser mit Appartementwohnungen, die in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden. Das Gebäude umfasst eine Gesamtfläche von ca. 38,5m² und beinhaltet ein Wohnbereich, zwei Schlafzimmer, eine Küche und ein Badezimmer. Die CAIXA *bietet* in ihrem Katalog verschiedene Konstruktionsarten²³⁸ zur Auswahl an, die für die Bauausführung im sozialen Wohnungsbau eingesetzt werden können. Für das Referenzgebäude wurde die Bauweise in Ziegelsteinbau ausgewählt, welche die am häufigsten verwendete Bauweise ist.²³⁹

²³⁷ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

²³⁸ SINAT - MINISTÉRIO DAS CIDADES, Sistema Nacional de Avaliação Técnica. <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php> Datum der Veröffentlichung: 19.07.2013; Abrufdatum: 09.06.2014.

²³⁹ Siehe dazu Tab. 13 auf S. 103.



Cadernos CAIXA
Projeto padrão – casas populares

Abb. 98 Bautypologie „Einfamilienhaus“ aus dem CAIXA Katalog [CAIXA, 2012; S. 1, 6, 8 f.]

3.2.2 Ausgangsposition

Als Ausgangsposition (Abb. 99) für die Simulationen wurde eine Orientierung des Gebäudemodells unter dem Kriterium des höchsten WWR-Anteils (*Window-to-Wall-Ratio*) vorgenommen, d.h. dass das ursprüngliche Gebäudemodell nach der Beschreibung des CAIXA Katalogs (Abb. 98) um 180° gedreht wurde. Der WWR-Anteil gibt einen auf die Außenwände bezogenen Prozentsatz an, die von Öffnungen und transparenten Bauteilen bzw. den Fenstern belegt werden. Für die *Casa Popular* hat die Nordseite der neuen Ausgangssituation einen WWR-Anteil von 13,5%, die Westseite 7,4%, die Südseite 3,6% und die Ostseite 2,2%. Für alle Simulationsauswertungen ist diese nach Norden gerichtete Ausgangsposition mit Azimut 0° bezeichnet. Da im Katalog der CAIXA für das Gebäude keine Vorgaben bezüglich der Ausrichtung der Häuser beschrieben sind, werden in den Untersuchungen dieser Arbeit acht mögliche Ausrichtungen (Abb. 99) festgelegt und als Eingangsparameter bei den Simulationen analysiert und ausgewertet.

Die Ausrichtungen dienen als feste Eingangsparameter des Ausgangsmodells der *Casa Popular*. Da in dem Katalog der CAIXA keine Angaben zur Ausrichtung des Gebäudes angegeben werden, werden für die dynamische Gebäudesimulationen acht mögliche Ausrichtungen festgelegt, damit eine optimale Bilanzierung hinsichtlich der Auswahl der passiven Strategien erreicht werden kann. Die Auswertungen der Gebäudesimulationen des Ausgangsmodells werden in den Untersuchungen dieser Arbeit mit acht möglichen Positionen angenommen:

Norden	=	Azimut 0°	=	AZ0
Nord-Ost	=	Azimut 45°	=	AZ45
Osten	=	Azimut 90°	=	AZ90
Süd-Ost	=	Azimut 135°	=	AZ135
Süden	=	Azimut 180°	=	AZ180
Süd-West	=	Azimut 225°	=	AZ225
Westen	=	Azimut 270°	=	AZ270
Nord-West	=	Azimut 315°	=	AZ0315.

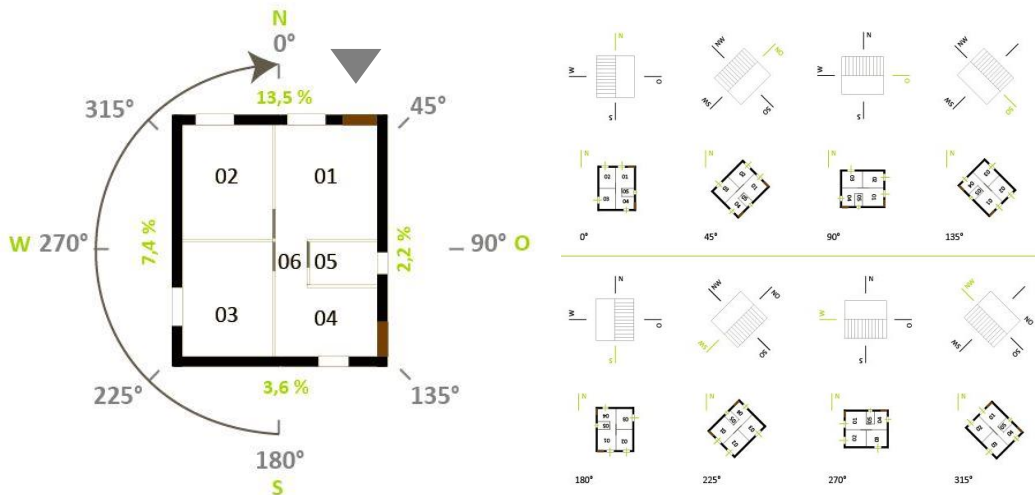


Abb. 99 Ausgangsposition Azimut 0° unter Angaben der WWR-Anteile und 360° Drehung – mögliche Ausrichtungen des Ausgangsmodells

3.2.3 Konstruktion

Bei der *Casa Popular* bietet die CAIXA in ihrem Katalog verschiedene Konstruktionsarten zur Auswahl an, die für die Bauausführung im sozialen Wohnungsbau eingesetzt werden können. Die Bauunternehmen können selbstständig entscheiden, welchen Konstruktionstyp sie für den Wohnungsbau anwenden wollen. Nach dem Stand 07/2014 sind einundzwanzig verschiedene Konstruktionen im Verzeichnis der CAIXA²⁴⁰ aufgeführt, die von der SINAT²⁴¹ als Konstruktionsvarianten überprüft und genehmigt wurden. Für das Ausgangsmodell wurde die am häufigsten verwendete Bauweise ausgewählt, der Ziegelsteinbau (Tabelle 13).

²⁴⁰ CAIXA - Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012.

²⁴¹ SINAT - MINISTÉRIO DAS CIDADES, Sistema Nacional de Avaliação Técnica. <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php> Datum der Veröffentlichung: 19.07.2013; Abrufdatum: 09.06.2014.

3.2.4 Materialität

Die brasilianische Norm ABNT NBR²⁴² 15220, Teil 2, beschreibt die bauphysikalischen Kennwerte der einzelnen Baustoffe. In der Tabelle 14 sind die Materialien, welche im Simulationsprogramm *EnergyPlus* für die *Casa Popular* verwendet wurden, aufgelistet. Tab. 15 zeigt den Wärmedurchgangskoeffizienten für die Außenwand als Ziegelsteinbau, die Bodenplatte in Betonausführung und dem Dach aus einer Holzkonstruktion mit Tonziegeln für die *Casa Popular* in ihrem Ist-Zustand. Diese Angaben wurden vom Programm *EnergyPlus* ausgegeben.²⁴³

3.2.5 Allgemeine Daten

Die *Casa Popular* wurde in verschiedene energetische Zonen aufgeteilt, um den Energieverbrauch und die Raumlufttemperatur von jedem Raum einzeln auswerten zu können. Die Tabelle 24 enthält für jede dieser energetischen Zonen Angaben zu der Raumfläche, zum Raumvolumen und zum opaken und transparenten Außenwandflächenanteil [m²] der *Casa Popular*, bezogen auf die Ausgangsposition der *Casa Popular* bei Azimut 0°. Tabelle 25 gibt den WWR-Anteil [%] der acht möglichen Ausrichtungen der Simulationen an. Diese Angaben sind zur Überprüfung der Auswertungen von großer Bedeutung und tragen zu einem besseren Verständnis der Ergebnisse bei.

Casa Popular		Fläche [m ²]	Volumen [m ³]	Opake Fläche [m ²]	Transparente Fläche [m ²]
01	Wohnzimmer	9,04	21,69	21,31	1,20
02	Schlafzimmer	9,04	21,69	14,45	1,20
03	Schlafzimmer	10,18	24,44	15,41	1,20
04	Küche	6,75	16,20	12,53	0,64
05	Bad	2,23	5,36	2,88	0,36
06	Zirkulation	1,20	2,88	0,00	0,00
Gesamt		38,46	92,25	66,58	4,60

Tab. 24 Flächen- und Volumenangaben der *Casa Popular*

Window-to-Wall-Ratio [%]	Norden [0°]	Osten [90°]	Süden [180°]	Westen [270°]
Casa Popular Azimut 0°	13,54	2,23	3,61	7,44
Casa Popular Azimut 45°	15,82	13,53	1,57	3,30
Casa Popular Azimut 90°	7,44	13,54	2,23	3,61
Casa Popular Azimut 135°	3,30	15,82	13,53	1,57
Casa Popular Azimut 180°	3,61	7,44	13,54	2,23
Casa Popular Azimut 225°	1,57	3,30	15,82	13,53
Casa Popular Azimut 270°	2,23	3,61	7,44	13,54
Casa Popular Azimut 315°	13,53	1,57	3,30	15,82

Tab. 25 Window-to-Wall-Ratio-Anteil für alle acht Ausrichtungen

²⁴² ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://norma-abnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html> > Abrufdatum: 21.01.2012.

²⁴³ Siehe Tab. 14 und 15, S. 104.

3.3 Casa Popular – Strategieneinsatz

Für die folgende Strategieanwendung wurden gezielt einige Varianten aus dem Kapitel 1.6 - Passive Strategien²⁴⁴ - ausgewählt. Aus den Bereichen „Gebäude“, „Konstruktion“ und „Material“ werden bauliche Maßnahmen als passive Strategien auf das Ausgangsmodell der Casa Popular übertragen und auf ihr energetisches Verhalten untersucht.

Von der Vielfalt der Strategien kann nur eine Stichprobe von Varianten für diese Forschungsarbeit berücksichtigt werden, unter vielen anderen Strategiemöglichkeiten. Für die Simulationen der Untersuchungen dient als Ausgangsmodell die *Casa Popular*. Für eine bessere Bilanzierung der Auswertungen wird jeweils immer nur ein Parameter verändert bzw. eine Strategie auf das Gebäude angewendet, simuliert und ausgewertet.

Alle Strategievarianten werden für die vier Klimazonen ausgewertet, um das Potenzial oder Defizit der Strategie in Abhängigkeit von der Umgebung bzw. den klimatischen Bedingungen darzustellen. Da die Häuser keine bestimmten Angaben zu einer festen Ausrichtung haben, wurde für die Auswertung die Ausrichtung in 45°-Schritten als fester Eingangsparameter bestimmt.

Die Gesamtheit der Strategien wird auf die *Casa Popular* in den vier ausgewählten Klimazonen²⁴⁵ simuliert und mit der Zielsetzung ausgewertet, die potenziellen Verbesserungen oder entsprechenden Defizite transparent zu machen.

²⁴⁴ Siehe Kap. 1.6 - Energetische Strategien in Gebäuden; ab S. 72.

²⁴⁵ Siehe Kap. 2.3 - Klimazonenauswahl; S. 96-99.

3.3.1 Strategienauswahl

Die unten aufgeführte Tabelle (Tab. 26) stellt eine Gesamtübersicht der ausgewählten Strategien mit einer Kurzbeschreibung dar. Die jeweiligen Kennziffern der einzelnen Strategien sind Abkürzungen für die darauf folgenden Auswertungen. Die Kennziffern beschreiben eine Codierung der Bereiche „Gebäude“, „Konstruktion“ und „Material“ mit der jeweiligen Beschreibung der Maßnahme. Jede Auswertung hat als Endkennziffer AZ und bezeichnet die jeweilige Ausrichtung Azimut, von AZ0°, AZ45°, AZ90°, AZ135°, AZ180°, AZ225°, AZ270° bis AZ315°. Damit werden insgesamt acht Ausrichtungen für jede einzelne Strategie berücksichtigt.

Unter der Kennzeichnung „G-Gebäude“ werden folgende Strategien der Ausrichtung untersucht: Ausrichtung des Gebäudes, Ausrichtung des Daches und Ausrichtung der Fenster.

Unter der Kennzeichnung „K-Konstruktion“ werden die Dimensionen der Außenwand und die Bodenplatte als Bauteil verändert. Weiter werden am Gebäude Verschattungselemente über den Fenstern angebracht.

Unter der Kennzeichnung „M-Material“ wird optional eine zusätzliche Materialaufbringung und der Einfluss von Absorptionsgraden der Außenwände untersucht.

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennziffern
G-Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ
G	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90° Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AD_D90_AZ
G	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AF_Z01_AZ G_AF_Z02_AZ G_AF_Z03_AZ
K-Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm und 20cm Drehung Azimuth 0° bis 315°	K_BD_AW_15_AZ K_BD_AW_20_AZ
K	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm und 20cm Drehung Azimuth 0° bis 315°	K_BD_BP_15_AZ K_BD_BP_20_AZ
K	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach Länge 25cm, 50cm und 100cm Drehung Azimuth 0° bis 315°	K_BT_VF_25_AZ K_BT_VF_50_AZ K_BT_VF_100_AZ
M-Material	Außenwand	Lehmputz Dicke 2cm und 4cm Drehung Azimuth 0° bis 315°	M_AW_LP_2_AZ M_AW_LP_4_AZ
M	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2, 0,5 und 0,8 Drehung Azimuth 0° bis 315°	M_AW_AG_02_AZ M_AW_AG_05_AZ M_AW_AG_08_AZ

Tab. 26 Gesamtübersicht der Strategien „Gebäude“, „Konstruktion“ und „Material“

3.3.2 Strategie G – Gebäude

Für den Bereich „Gebäude“ werden drei Strategien untersucht, die sich mit dem Einfluss der Ausrichtung befassen: die Ausrichtung des Gebäudes als Ganzes, die Ausrichtung des Daches als Gebäudeteil und schließlich die Ausrichtung der Fenster als ein auf die Gebäudezone bezogenes Bauteil. Die passive Strategie der Ventilation - natürliche Lüftung wurde in dieser Forschungsarbeit analytisch untersucht. Für die bessere Bilanzierung der dynamischen Gebäudesimulationen wurde die Luftwechselrate²⁴⁶ als fester Eingangsparameter festgelegt.

Ausrichtung Gebäude - Gebäudedrehung Azimut 0° bis 315°

Da die *Casa Popular* keine Vorgaben für eine bestimmte Ausrichtung hat, wird das Gebäude im Ist-Zustand in 45°-Schritten für acht verschiedene Ausrichtungen positioniert, simuliert und ausgewertet. Diese Strategiemeasures stellt ein erstes Potenzial durch die Ausrichtung des Gebäudes im Ist-Zustand dar.

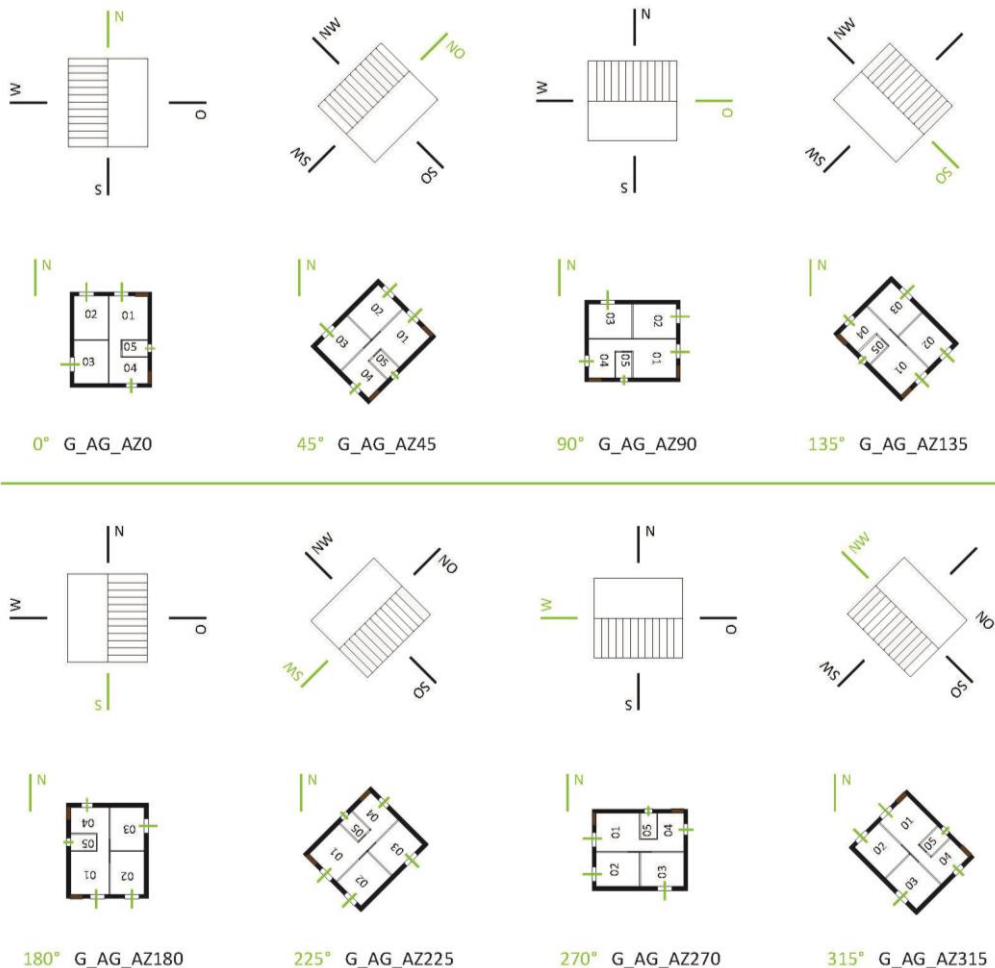


Abb. 100 Strategie Ausrichtung Gebäude – Varianten der Gebäudeausrichtung in 45°-Schritten

²⁴⁶ Siehe dazu auch Kap. 2.4.5 Simulation Input – Luftwechselrate, S. 106 ,107.

Ausrichtung Dach - Dachdrehung um 90°

Das Dach der *Casa Popular* ist im Ist-Zustand als Satteldach konzipiert. Die folgende Strategie befasst sich mit der Drehung der Dachschräge um Azimut 90°. Dadurch erhält das Dach in der zu untersuchenden Variante eine größere Fläche für mögliche solare Warmgewinne. Diese Strategie soll das Potenzial bzw. das Defizit dieser Maßnahme für das Gebäudedach darstellen.

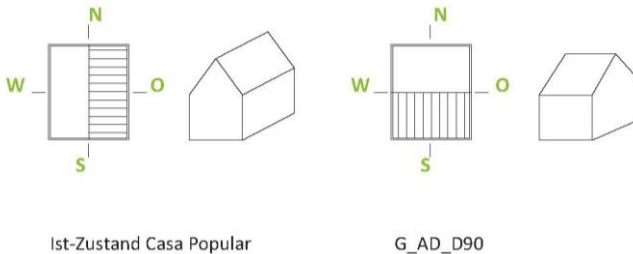


Abb. 101 Strategie Ausrichtung Dach – Variante der Dachdrehung

Ausrichtung Fenster - Fensterdrehung Gebäudezone

Die Fensterpositionierung hat einen großen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit durch die Regulierung der natürlichen Belüftung und der Menge an solaren Warmgewinnen im Innenraum. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen dem Fenstertyp, der Größe und der Positionierung. In der folgenden Strategie geht es um die Variablen der Fensterpositionierung und das damit verbundene Potenzial an solaren Warmgewinnen. Zu unterscheiden ist die Änderung der Positionierung von drei verschiedenen Räumlichkeiten der *Casa Popular*: Raumzone 01 mit dem Wohnzimmer und Raumzonen 02 und 03 mit den beiden Schlafzimmern. In diesen drei genannten Räumen besteht die Möglichkeit einer Änderung der Fensterpositionierung um 90° auf die nächstgelegene Wandseite/Wandfläche, die ebenso eine Außenwand ist und somit mit dem Ist-Zustand verglichen werden kann.

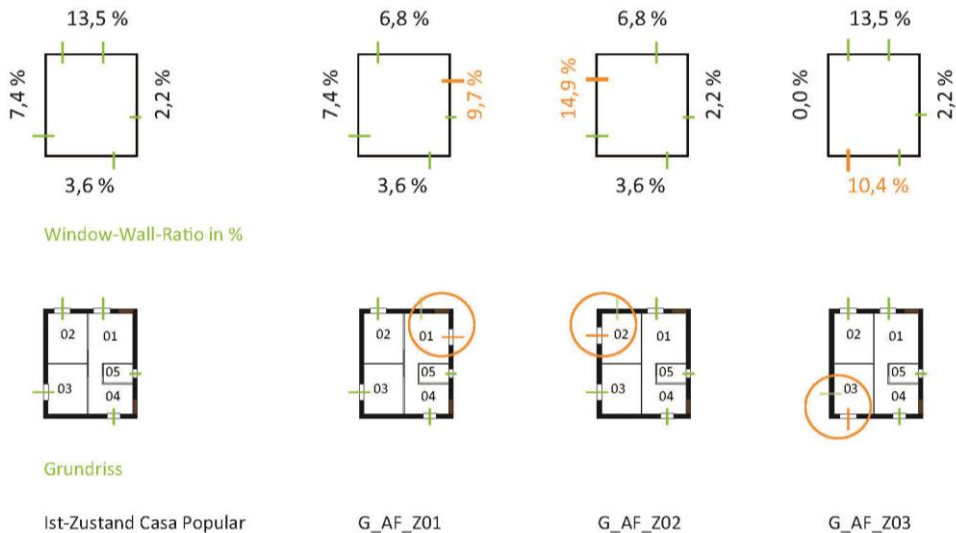


Abb. 102 Strategie Ausrichtung Fenster – Fensterdrehung Gebäudezone

Ventilation – Natürliche Lüftung

Ein wesentlicher Faktor für die Strategie der natürlichen Lüftung ist die Kennzahl für den Winddruck, die durch jede Öffnung des Gebäudes definiert wird, jeweils für die verschiedenen Windrichtungen. Diese Werte hängen u.a. von dem Gebäudevolumen, der Gebäudehülle und von dem tatsächlich genutzten Winddurchfluss ab, in Abhängigkeit von eventuellen Hindernissen seiner Umgebung. Für den Fall des sozialen Wohnungsbaus als Siedlungsbau ist die Gebäudepositionierung und der Abstand zueinander ein Einflussfaktor zur bestmöglichen Nutzung der Ventilation für alle Wohneinheiten (vergleiche dazu Siedlung der *Casa Popular*, Abb.76, S.95 mit Abb. 103, S. 129). Bei der Gebäudeplanung sind die Öffnungspositionierungen grundlegend für die Luftzirkulation innerhalb des Gebäudes bzw. der Räume. Für Räume mit einem hohen Nutzungs- und Aufenthaltsgrad muss eine dementsprechende Dimensionierung der Öffnungen berücksichtigt werden, um ausreichende Ventilation zu gewährleisten.²⁴⁷ Von allen klimatischen Bedingungen weisen die Windverhältnisse in urbanen Räumen die größte Variation auf. Die Gebäude wirken unter Windeinfluss wie ein Schutzschild und erhöhen den Windwiderstand der Oberfläche, vermindern die Windgeschwindigkeit und beeinflussen und verändern die Luftzirkulation. Daraus folgt, dass der Wind als Element durch Planung und Analyse der urbanen Struktur verändert und gesteuert werden kann.²⁴⁸

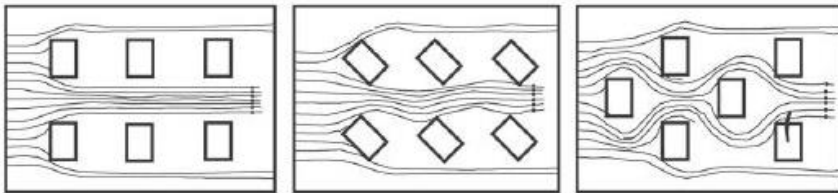


Abb. 103 Luftströmungen zwischen unterschiedliche Gebäudepositionierungen [OLGYAY, 1998; S. 52]

Von den vier ausgewählten Klimazonen haben die klimatischen Auswertungen in Kap. 1.3.2²⁴⁹ aufgezeigt, dass die Strategie der natürlichen Lüftung für die Klimazone 08 mit 48% als wichtigste und für die Klimazone 07 mit 20% als zweitwichtigste raumklimatische Maßnahme für eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit vorgeschlagen wird. Für beide Referenzstädte der Klimazone 07 mit Picos (Piauí) und Klimazone 08 mit Recife (Pernambuco) wurden mit den monatlichen Ausgabewerten der Windgeschwindigkeit [m/s]²⁵⁰ das Potenzial einer Nutzung des Windes für die natürliche Belüftung der *Casa Popular* innerhalb einer Siedlungsstruktur des sozialen Wohnungsbaus untersucht. Die Ventilation von Gebäuden innerhalb der Städte wird durch die Bebauungshöhe und die Bebauungsart gesteuert. In Stadtzentren kann die Windgeschwindigkeit geringer sein als im freien Gelände.²⁵¹ Verschiedene Höhen und Positionierungen der Nachbarbebauung können die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung beeinflussen, indem sie diese erhöhen, vermindern, gezielt lenken oder sogar abbremsen und dadurch den Winddurchfluss behindern. Ungünstige Gebäudestellungen können wachsende

²⁴⁷ Vgl. OLGAY, V.,; *Arquitectura y clima. Manual de diseño para arquitectos y urbanistas.*; Verlag Gustavo Gili,AS; Barcelona; 1998; S. 52-55.

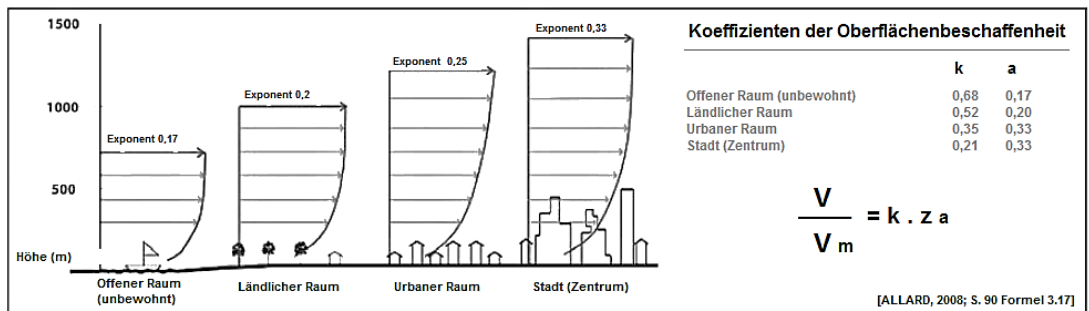
²⁴⁸ Vgl. DA SILVA, Isadora Mendes; „Efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico.“ Versao revisada CoPGR 6018; Dissertação Título de Mestrado; Universidade de São Paulo (USP); Piracicaba; 2012; Dokument abrufbar unter: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-30102012-171253/pt-br.php>>; Abrufdatum: 30.08.2014; S. 31, 32 und S. 37, 38.

²⁴⁹ Siehe Kap. 1.3.2 - Klimazonen Brasiliens nach Norm ABNT 15220-3; S. 31-56.

²⁵⁰ Jahresauswertungen für Windgeschwindigkeit [m/s] als Ausgabewerte der EPW-Datei für die Referenzstädte der Klimazonen aus dem Dynamischen Simulationsprogramm EnergyPlus. Siehe dazu Anlage B, S. 196.

²⁵¹ NERY, J.; Andrade, T.; Freire, T.; Katschner, L. *Thermal Comfort Studies in Humid Tropical City, Salvador- Brazil.* In: ICUC- International Conference of Urban Climate, VI.; Schweden; 2006; Dokument abrufbar unter: <<http://www.urban-climate.org/IAUC018.pdf>>; Abrufdatum: 15.04.2012.

Energieverluste und eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit zur Folge haben.²⁵² Die Windgradienten werden von der urbanen Oberflächenstruktur bestimmt. In ebenen und offenen Gebieten ist der Winddurchfluss praktisch ungehindert und die Windgeschwindigkeit am Boden konstant und ändert sich nur in vertikaler Richtung. Die Gebäudedichte, die Topografie und die Vegetation beeinflussen die Oberflächenbeschaffenheit des Geländes und wirken sich entsprechend auf den Windgradienten aus, der damit seine Geschwindigkeit vom Bodenniveau zu seiner vertikalen Achse verändert. Jede Untersuchung, die sich mit der natürlichen Lüftung in urbanen Gebieten beschäftigt, muss entsprechende Korrekturen der tatsächlich zu nutzenden Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Charakteristiken der Umgebung vornehmen (siehe dazu Abb. 104; verschiedene Koeffizienten der Oberflächenbeschaffenheit). Die Messstationen liegen in offenen Gebieten und sind unabhängig von nahegelegenen oder in der Umgebung sich befindenden Hindernissen. Die Messungen werden standardmäßig in einer Höhe von 10,0m über dem Boden durchgeführt. Die Eingabe und Nutzung dieser Werte für die natürliche Lüftung in Gebäuden unterliegen entsprechenden Korrekturen. Um diese Eingangswerte bei der Berechnung für die Ventilation in Gebäuden zu nutzen, muss die in 10,0m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe der Gebäudeöffnung berichtigt werden, unter Einbeziehung der Charakteristiken der Umgebung in Gebäudenähe.²⁵³ „Unterschätzt wird oft und es gilt als eine der häufigsten Fehlerursachen bei der Berechnung der Luftwechselrate, dass diese Korrektur der Windgeschwindigkeit nicht miteinberechnet wird.“²⁵⁴ In der folgenden Abb. 104 mit der Gleichung [Formel 3.17] zu den Windgradienten können die Korrekturen entnommen werden, unterteilt in vier unterschiedliche Koeffizienten der Oberflächenbeschaffenheit: Offener Raum (unbewohnt), ländlicher Raum, urbaner Raum und Stadt (Zentrum).^{255 256}



V: Mittlere Windgeschwindigkeit auf Höhe der Gebäudeöffnung [m/s]; V_m: Mittlere Windgeschwindigkeit der Messstation mit Standardhöhe 10,0m über dem Boden [m/s]; z: Höhe des geometrischen Zentrums der Gebäudeöffnung [m];
k, a: Koeffizienten der Oberflächenbeschaffenheit entsprechend der Umgebungsbeschaffenheit.

Abb. 104 Koeffizienten der Oberflächenbeschaffenheit entsprechend der Umgebungsbeschaffenheit

[PROCEL, 2010; S. 20] und [ALLARD, 2008; S.90-92; Gleichung 3.17]

²⁵² Vgl. TERJUNG, W. H.; Louie, S. S. F.; A Climatic Model of Urban Energy Budgets. Geographic Analysis; V. 6; 1974; S. 341-367.

²⁵³ Vgl. SACRAMENTO, A. da S.; A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-AL.; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal de Alagoas; Maceió; 2012; Dokument abrufbar unter: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/739>; Abrufdatum: 21.08.2015; S. 42-44.

²⁵⁴ LIDDAMENT, M.; Air infiltration calculation technique: an applications guide.; Bracknell: Air Infiltration and Ventilation Centre; 1986.

²⁵⁵ Vgl. ALLARD, F.; Santamouris, M.; Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook; Verlag Routledge; Erste Edition 1998; 2. Auflage 2008; S. 90-93; Formel 3.17.

²⁵⁶ BRE - Building Research Establishment; Principles of natural ventilation.; BRE Digest, Nr. 210.; Verlag Garston; 1978.

In Tabelle 27 sind die mittleren Windgeschwindigkeiten im Monat für die Klimazone 07 mit der Referenzstadt Picos-Piauí und für die Klimazone 08 mit der Referenzstadt Recife-Pernambuco für zwei unterschiedliche Koeffizienten dargestellt: „urbaner Raum“ und „Stadt (Zentrum)“ (Berechnung nach Gleichung BRE²⁵⁷ der Windgradienten). Die Auswertungen der Berechnungen für die Koeffizienten der mittleren Windgeschwindigkeit zeigen ein geringes Potenzial des Windes als Strategie der natürlichen Lüftung. Um das tatsächlich zu nutzende Potenzial der natürlichen Lüftung als passive Strategie von in warm-feuchten und warm-trockenen Klimata (Klimazone 07 und 08) gelegenen Gebäuden zu bestimmen, müssen folgende Faktoren analysiert und in die Auswertung einbezogen werden: meteorologische Daten für die an einem bestimmten Ort vorkommenden Windverhältnisse, Gebäudepositionierung, Abstandsverhältnis zwischen den Gebäuden, Vegetation, die angrenzende Nachbarbebauung, Größe der Gebäude, sowie die geometrische Form, Auslegung und Lage der Gebäudeöffnungen.²⁵⁸

Klimazone 07 [m/s]	Klimaauswertung Med Wind-geschwindigkeit	URBANER RAUM K=0,35 a=0,25	STADT K=0,21 a=0,33
JAN	1,84	0,96	0,66
FEB	2,12	1,11	0,76
MAR	1,63	0,85	0,58
APR	1,50	0,79	0,54
MAI	1,79	0,94	0,64
JUN	2,22	1,16	0,79
JUL	2,24	1,17	0,80
AUG	2,77	1,45	0,99
SEP	2,69	1,41	0,96
OKT	2,39	1,25	0,86
NOV	2,64	1,38	0,94
DEZ	2,10	1,10	0,75
Mittelwert	2,16	1,13	0,77

Klimazone 08 [m/s]	Klimaauswertung Med Wind-geschwindigkeit	URBANER RAUM K=0,35 a=0,25	STADT K=0,21 a=0,33
JAN	0,97	0,51	0,35
FEB	0,96	0,50	0,34
MAR	0,98	0,51	0,35
APR	0,76	0,40	0,27
MAI	0,84	0,44	0,30
JUN	1,00	0,53	0,36
JUL	1,00	0,52	0,36
AUG	1,06	0,56	0,38
SEP	1,15	0,60	0,41
OKT	1,10	0,57	0,39
NOV	1,04	0,55	0,37
DEZ	0,97	0,51	0,35
Mittelwert	0,99	0,52	0,35

Tab. 27 Auswertung der mittleren Windgeschwindigkeit: Klima, Urbaner Raum und Stadt

Ein an bestimmten Orten mit stetiger Richtung auftretender Wind mit einer Geschwindigkeit von über 3,00 [m/s] ist als natürliche Lüftung die einfachste und effizienteste Strategie zur passiven Kühlung.²⁵⁹ Dabei kann sich allerdings ein ungewünschtes Hitzeempfinden bei Lufttemperaturen über 34°C einstellen.²⁶⁰ Allgemein gelten für den behaglichen Bereich Luftzirkulationen mit Temperaturen bis zu 30°C.^{261 262}

Bei Lufttemperaturen zwischen 33°C und 37°C scheint die Windgeschwindigkeit im Wesentlichen nicht das thermische Empfinden zu beeinflussen. Ähnliche Temperaturen der Luft und der Haut reduzieren in diesem Fall das Potenzial des Wärmeaustausches durch Konvektion zwischen dem menschlichen Körper und der Luftströmung.²⁶³

²⁵⁷ PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; Bittencourt, L.; Cândido, C.; Ventilação Natural em Edificações.; Editora Procel Edifica - Eficiência Energética em Edificações; Rio de Janeiro; 2010; S. 20.

²⁵⁸ GANDEMER, J.; Barnaud G.; Millet J. R.; Sacre, C.; Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide.; Tome 1: Methodologie de Prise en Compte des Parametres Climatiques dans l'Habitat et Conseils Pratiques.; Report for the CSTB; Nantes; 1992.

²⁵⁹ DUTT, A. J.; Dear, R. J.; Krishnan, P.; Full scale and model investigation of natural ventilation and thermal comfort in building.; In: 8th Intern. Conf. On Wind Engineering.; Ontario, July 8-12 1991; Verlag Elsevier Science Publishers; Amsterdam; 1992.

²⁶⁰ BOWEN, A.; Clarck, G., Labs, K. (eds.); Classification of air motion systems and patterns. In: Internacional Passive and Hybrid Cooling Conference; American Section of ISES, Newark, 1981.

²⁶¹ VILLAS BOAS, M.; Thermal Comfort Criteria and Design Principles for the Warm and Humid Coastal Areas of Northeastern Brazil.; In: 9th CIB Congress; Vol.3B - Energy Technology and Conservation.; Stockholm; 1991.

²⁶² EVANS, J. M.; Housing climate and comfort.; Architectural Press; London; 1980.

²⁶³ GIVONI, B.; Design for Climate in Hot, Dry Cities.; In: Technical Conference on Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas; Mexico.; Oke, T.R. (ed.) Publ. Nr. 652; Genf; 1984.

Für eine bessere Bilanzierung und Vergleichbarkeit der in dieser Forschungsarbeit durchgeführten dynamischen Gebäudesimulationen der Häuser *Casa Popular* und *Casa Térrea* - innerhalb der vier unterschiedlichen Klimazonen - wurde für die Eingabe der natürlichen Lüftung ein fester Eingangsparameter für die Luftwechselrate angenommen²⁶⁴. Für nähere Betrachtungen und Vertiefungen des Themas der natürlichen Belüftung, als alleiniges und individuelles Strategiepotenzial innerhalb des sozialen Wohnungsbaus in Brasilien, empfiehlt sich u.a. die folgende Literatur:

- Verschiedene architektonische Ansätze und bauliche Strategien für die natürliche Ventilation in Gebäuden werden auf Seite 62-77 dargestellt, in:
[PROCEL, 2010] PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; Bittencourt, L.; Cândido, C.; Ventilação Natural em Edificações.; Editora Procel Edifica - Eficiência Energética em Edificações; Rio de Janeiro; 2010.
- Forschungsarbeit mit Simulationsergebnissen der natürlichen Lüftung eines Wohngebäudes (Gebäudekonzept entspricht dem der *Casa Popular*) innerhalb einer Wohnbausiedlung für die Klimazone 03 mit der Referenzstadt Florianópolis-Santa Catarina, unter Anwendung des Simulationsprogrammes *EnergyPlus*. Auswertungen in Grad-Stunden der thermischen Behaglichkeit im Wohn- und Schlafbereich.
[MATOS, 2007] MATOS, M.; Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural.; Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil); Orientador: Prof. Roberto Lamberts; UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis; 2007.
- Forschungsbericht über das Verhältnis zwischen natürlicher Ventilation und thermischer Behaglichkeit, sowie ab Seite 31-34 verschiedene Gebäudestrategien für eine natürliche Ventilation in heiß-feuchten Klimata Brasiliens.
[CANDIDO, 2006] Cândido, C.; Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes; Orientador: Prof. Roberto Lamberts; UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis; 2006.
- Forschungsarbeit über den Einfluss und das Potenzial der Strategie der natürlichen Lüftung innerhalb eines sozialen Wohnhauses bei Einsatz unterschiedlicher Fensteröffnungsgrößen in einem heiß-feuchten Klima Brasiliens.
[SACRAMENTO, 2012] SACRAMENTO, A.d.S.; A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-AL.; Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil); Orientador: Prof. Leonardo S. Bittencourt; UFAL- Universidade Federal de Alagoas; Maceió; 2012.
- uvm.

²⁶⁴ Siehe Kap. 2.4.5 - Simulation Input; Luftwechselrate auf S. 106, 107.

3.3.3 Strategie K – Konstruktion

Die folgenden drei Strategien befassen sich mit der Konstruktion des Gebäudes. Die ersten beiden Strategien untersuchen die Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen, die an den Außenbereich, einen unbeheizten Außenraum oder an den Erdboden angrenzen. In diesem Fall werden Außenwand und Bodenplatte untersucht. Außenbauteile beeinflussen aufgrund ihrer Transmissionswärmeverluste von innen nach außen den Energieverbrauch des Gebäudes. Die Speicherfähigkeit dieser Bauteile ist für das thermische Gebäudeverhalten sehr wichtig, um einer übermäßigen Erwärmung oder Auskühlung entgegen zu wirken. Bei einer zu geringen Speicherfähigkeit kann die Temperatur der inneren Wandoberflächen binnen kurzer Zeit rapide absinken bzw. ansteigen und damit das Innenraumklima hinsichtlich der Behaglichkeit beeinflussen. Die dritte Strategie im Bereich „Konstruktion“ befasst sich mit den Verschattungsmaßnahmen der Fenster. An jeder Öffnung wird ein Vordach mit unterschiedlichen Längen angebracht.

Bauteildicke - Außenwanddicke 15cm und 20cm

Diese Strategie befasst sich mit der Außenwand der *Casa Popular*. Der Ist-Zustand der Außenwand besteht aus einer Ziegelsteinkonstruktion mit den Maßen von 10x14x24 (bxhxl) cm. Der Fokus dieser Strategie liegt bei der Breite des Ziegels. Dabei wird unterschieden zwischen den Maßen von 15x14x24 cm und 20x14x24 cm. Die Materialkennwerte werden nicht verändert.

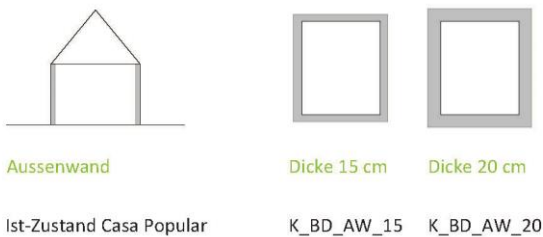


Abb. 105 Strategie Bauteildicke – Außenwand

Bauteildicke - Bodenplattendicke 15cm und 20cm

Diese Strategie befasst sich mit der Bodenplatte der *Casa Popular*. Der Ist-Zustand der Bodenplatte besteht aus einer Betonplatte mit einer Dicke von 10 cm. Die Bodenplattendicke wird als Variable für die Strategie ausgewählt, mit 15 cm und 20 cm Dicke. Die Materialkennwerte werden ebenso wie bei der Außenwand nicht verändert.

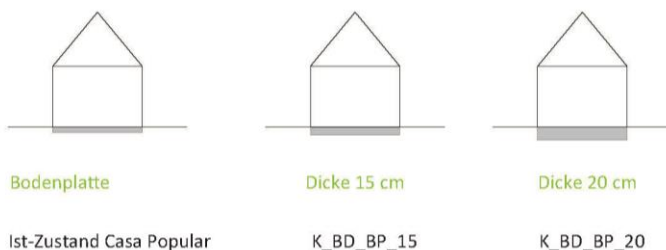


Abb. 106 Strategie Bauteildicke – Bodenplatte

Bauteil - Verschattungselement am Fenster als Vordach

Fenster beeinflussen nicht nur das visuell-optische Verhalten und die Raumluftkonditionierung, sondern sind insbesondere für die Wärmebilanzierung eines Gebäudes ein bestimmender Faktor. Im Winter ermöglichen sie die solaren Wärmegevinne für den Innenraum. Im Sommer hingegen soll eine Überhitzung bzw. ein hoher Wärmeeintrag durch Solarstrahlung im Innenraum vermieden werden. Einflussgrößen wie die Ausrichtung und die Größe von Öffnungen, der Energiedurchlassgrad der Fenstergläser, sowie Sonnenschutzmaßnahmen mit innen oder außen positionierten Verschattungselementen beeinflussen die Menge des solaren Wärmegevinneintrages.

Für die folgende Strategie wurde ein Verschattungselement als Vordach über jedes Fenster der *Casa Popular* ausgewählt. Das Vordach wird als Betonfertigteile über den Öffnungen angebracht und mit unterschiedlichen Längen von 25 cm, 50 cm und 100 cm untersucht.

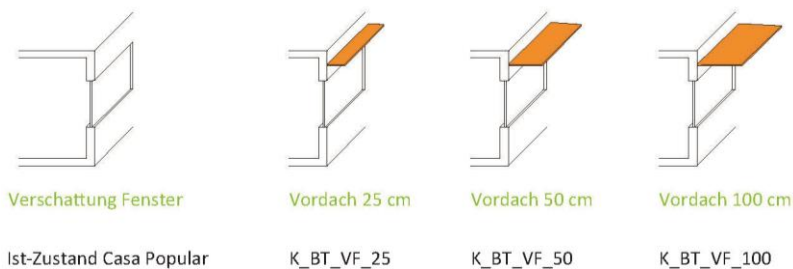


Abb. 107 Strategie Bauteil – Verschattungselement Fenster mit Vordachlängen von 25, 50 und 100cm

3.3.4 Strategie M – Material

In Bezug zum Gebäude werden zwei Strategien dargestellt, die sich mit dem Materialeinsatz befassen. Die Materialauswahl hat einen großen Einfluss auf die Wärmeeigenschaften der thermischen Gebäudehülle. Ihr Wärmespeichervermögen ist sehr wichtig für den Energiebedarf des Gebäudes. Dabei sind die bauphysikalischen Eigenschaften der Rohdichte, der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der Dicke des Baustoffes im Gesamtkonzept entscheidende Faktoren.

Wie schnell sich eine Temperaturänderung in einem Material auswirkt, hängt nicht nur von seiner Wärmeleitfähigkeit, sondern auch von seinem Wärmespeichervermögen ab. Maßgeblich hierfür ist die Temperaturleitfähigkeit. Diese ist umso geringer, je größer die Rohdichte und die spezifische Wärmekapazität sind. Der Wert der Wärmeleitfähigkeit sollte möglichst geringgehalten werden, spielt aber in seinen Auswirkungen keine entscheidende Rolle. Die Wärmespeicherfähigkeit eines Materials bestimmt die Zeitdauer, in welcher der Baustoff des Bauteils sich auskühlen bzw. aufheizen kann. Dabei ist die Rohdichte und die spezifische Wärmekapazität des Materials ein weiterer Einflussfaktor. Je höher die Rohdichte, desto länger ist die Phasenverschiebung und desto höher ist das Wärmespeichervermögen.

Das Wärmespeichervermögen - spezifische Wärmekapazität - gibt an, wieviel Energie das Material je Masseneinheit speichern kann. Die Wärmeleitfähigkeit bestimmt die Menge an Energie, die je Zeiteinheit durch das Material durchgeht.

Die thermische Gebäudehülle umfasst alle Bauteile, die an den Außenbereich, an einen unbeheizten Außenraum oder an den Erdboden angrenzen: Außenwand, Dach und Boden. Die Strategie des Bereichs „Material“ beinhaltet zwei verschiedene Maßnahmen für die Außenwand:

- Die Materialaufbringung auf die Gebäudehülle mit einer optimierten Wärmedämmeigenschaft und niedriger Wärmeleitfähigkeit;
- verschiedene Absorptionsgrade der Gebäudeoberfläche, die den Wärmedurchgang der Außenwand zum Innenraum beeinflussen können.

Außenwand - Lehmputzdicke 2cm und 4cm

Im Ist-Zustand ist die Außenwand der *Casa Popular* mit Kalkputz versehen. Für die folgende Strategie soll ein zusätzlicher Putz mit einem vor-Ort-vorhandenen Material auf die Außenwand aufgebracht werden. Die Variablen unterscheiden sich in der Dicke von 2 cm und 4 cm. In dieser Untersuchung ist die Materialwahl Lehm als ein ökologisch-nachhaltiger Baustoff, der ohne aufwendigen Transport fast überall verfügbar ist. Zudem fungiert das Material aufgrund seiner hohen Rohdichte und geringen Wärmeleitfähigkeit als Wärmespeicher der thermischen Gebäudehülle, die ausschlaggebend für den Transmissionswärmebedarf des Gebäudes ist.

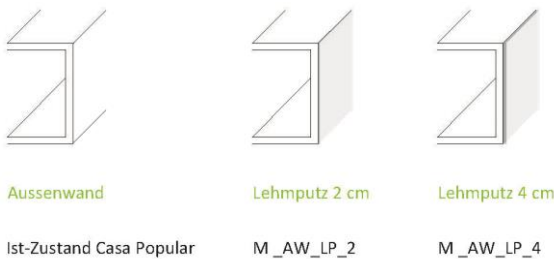


Abb. 108 Strategie Außenwand – Lehmputz

Außenwand - Absorptionsgrad 0,2, 0,5 und 0,8

Die Strategie befasst sich mit der Absorption der Außenfläche der *Casa Popular*. Die Materialität der Außenwand bleibt wie bei dem Ist-Zustand unverändert, lediglich wird die Anstrichfarbe untersucht. Je nach Farbwahl verändert sich die Geschwindigkeit der Energieaufnahme und -abgabe. Dabei ist der Absorptionsgrad ein ausschlaggebender Faktor, der bestimmt, wieviel auf die Oberfläche einwirkende Strahlungswärme von der Gebäudehülle absorbiert oder emittiert wird. Untersucht werden dabei verschiedene Absorptionsgrade der Außenwand mit einer Abstufung von heller (AG 0,2), mittlerer (AG 0,5) und dunklerer Fassadenfarbe (AG 0,8).

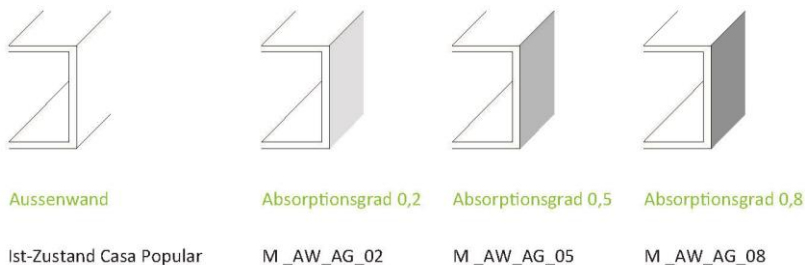


Abb. 109 Strategie Außenwand – Absorptionsgrad

3.4 Casa Popular – Strategieregebnisse

Die Strategien aus der Tabelle 26²⁶⁵ wurden einzeln auf die *Casa Popular* angewendet und mit dem dynamischen Simulationsprogramm *EnergyPlus* simuliert. Im Folgenden werden die Auswertungen jeder Strategie nach Klimazonen aufgezeigt.

Die erste Auswertung bezieht sich ausschließlich auf die Variable der Gebäudeausrichtung der *Casa Popular* im Ist-Zustand. Hierbei soll gezeigt werden, dass anhand einer Voranalyse des Ortes und der richtigen Auswahl der Gebäudepositionierung allein die Ausrichtung einen wichtigen Einflussfaktor darstellt.

Bei allen weiteren Simulationsauswertungen wurde für die *Casa Popular* im Ist-Zustand und unter Strategieeinsatz nur ein Eingangsparameter für eine identische Ausrichtungsposition definiert, damit diese Aussagen vergleichbar sind, isoliert betrachtet und bilanziert werden können.

3.4.1 Ausgabeformat

Aus den Auswertungen der Gebäudesimulation für die *Casa Popular* unter Strategieeinsatz in den vier ausgewählten Klimazonen lassen sich die Werte für die thermische Behaglichkeit und den jährlichen Energieverbrauch für Heizen und/oder Kühlen [kWh/(m².a)] ableiten.

Mit Hilfe des Programms AnalysisBio 2.2 wurden für die thermische Behaglichkeit folgende Ausgabeformate ausgegeben:

- *Psychrometric Chart* als Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit innerhalb des Raumklimas des Ist-Zustandes und eines beispielhaften Strategieeinsatzes.
- Numerische Ergebnisse als Ganzjahresauswertung des *Psychrometric Charts* des Außenklimas [%], des Raumklimas [%] der *Casa Popular* im Ist-Zustand [%] und des Raumklimas unter Strategieeinsatz in der jeweiligen Klimazone [%].

Aus den Gebäudesimulationen wurde folgender Wert zum Energieverbrauch berechnet und ausgegeben:

- Energiekennwert als Kennzahl des Energieverbrauchs für Heizen und Kühlen in Kilowattstunden pro Quadratmeter im Jahr [kWh/(m².a)]. Dieser Kennwert dient der Beurteilung des Jahresheizwärmebedarfs bzw. Jahreskühlenergiebedarfs von Gebäuden und umfasst die über ein Jahr verbrauchte Energie in [kWh] dividiert durch die Energiebezugsfläche des Gebäudes in [m²]. Diese flächenbezogenen Werte erlauben die Vergleichbarkeit der verschiedenen Varianten. Die grafische Darstellung der Auswertungen des Energieverbrauchs erfolgt über den Delta-Wert [%] bezogen auf die *Casa Popular* im Ist-Zustand. Für jede Strategie wird ein Minimum- und Maximum-Wert mit der jeweiligen Azimut-Ausrichtung angezeigt, um das Strategiepotenzial und/oder Strategiedefizit der angewendeten Maßnahme aufzuzeigen. Ein Potenzial bedeutet eine Einsparung beim Energieverbrauch. Ein Defizit weist auf einen Energiemehrverbrauch hin, mit einer somit negativen Auswirkung der Strategie im Vergleich zum Ist-Zustand der *Casa Popular*.

²⁶⁵ Siehe Tabelle 26, S. 126.

3.4.2 Klimazone 01

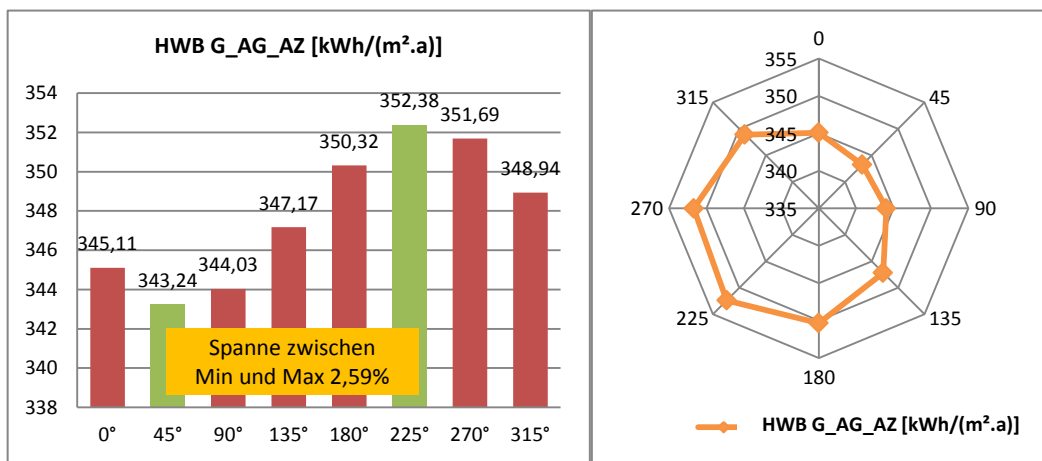
Die Referenzstadt der Klimazone 01 ist Curitiba, Bundesland Paraná. Die Auswertungen dieser gemäßigt-kalten Klimazone weisen ausschließlich Heizwärmebedarf im Jahr [kWh/(m²a)] auf.

Heizwärmebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung

In Tabelle 28 sind die Verbrauchsschwankungen des jährlichen Heizwärmebedarfs (HWB) abhängig von der Gebäudeausrichtung dargestellt. Insgesamt wurde der HWB für die acht ausgewählten Ausrichtungen ermittelt. Der minimale HWB-Verbrauch liegt bei Azimut 45°, der maximale HWB-Verbrauch ergibt sich bei Azimut 225° (Tab. 28).

Allein durch die Ausrichtung des Gebäudes und ohne Strategieeinsatz ergibt sich ein bestmögliches Energieeinsparpotenzial von bis zu 2,59 [%].

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der *Casa Popular* liegt bei 38,4 [%], die Unbehaglichkeit bei 61,6 [%]. Bei den Auswertungen ergeben sich dadurch ein Kälteempfinden von 49,9 [%] und ein geringes Wärmempfinden von 11,7 [%] (Tab. 31)²⁶⁶.



Tab. 28 Verbrauch HWB – Heizwärmebedarf im Jahr [kWh/(m²a)]

Heizwärmebedarf : Strategien Gebäude, Konstruktion und Material

Aus den Simulationen, die mit Hilfe des Programmes *EnergyPlus* durchgeführt wurden, ergeben sich die Auswertungen für den Energieverbrauch für Heizen und/oder Kühlen des Ist-Zustandes der *Casa Popular* und seiner Variation unter Strategieeinsatz für die Bereiche „G-Gebäude“, „K-Konstruktion“ und „M-Material“ (siehe dazu Strategienauswahl in Kap. 3.3.1)²⁶⁷. Weiter werden die möglichen Spannweiten [%] im Bezug zum Ist-Zustand für den Mehr- oder Minderverbrauch dargestellt (Tab. 23)²⁶⁸.

Bei den Auswertungen nach Strategieeinsatz ergeben sich folgende Ergebnisse:

²⁶⁶ Siehe Tabelle 31, S. 142.

²⁶⁷ Siehe Kapitel 3.3.1 - Strategienauswahl; S. 126.

²⁶⁸ Siehe Tabelle 30, S. 140.

Strategie G – Gebäude

Die Strategien der Ausrichtungen Dach und Fenster ergeben sowohl Potenziale als auch Defizite. Das bedeutet eine Energieeinsparung und/oder –mehrverbrauch, sowie eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Insbesondere bei der baulichen Maßnahme der unterschiedlichen Fensterpositionierungen zeigt sich ein Einfluss in der Spanne von -0,50 bis +0,50 [%] zum Ist-Zustand. Aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in Abhängigkeit von der Ausrichtung ergeben sich dadurch Potenziale und Defizite. Für jeden Einzelfall bedarf es einer genaueren Analyse, um einen positiven Nutzen aus der Strategie zu gewinnen oder eine negative Auswirkung zu vermeiden.

Strategie K – Konstruktion

Fünf von sieben Strategien ergeben unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes durchgehend ein positives Ergebnis zur Verringerung des Heizwärmebedarfs und der Verbesserung des Raumklima-Komforts.

Die Strategie K_BD_AW_20 zeigt für alle acht Ausrichtungen einen negativen Einfluss (Defizit), während die Strategie K_BD_AW_15 mit geringerer Wanddicke fast durchgängig Potenzial aufzeigt. Der Unterschied zwischen beiden Maßnahmen ist ein Waddickenunterschied von nur 5cm (15cm zu 20cm Wanddicke). Der Grund darin liegt, dass hier die „effektive Höchstdicke in Abhängigkeit von der Periodendauer der Schwankungen“²⁶⁹ die Speicherfähigkeit einer Wand beeinflusst und damit das Potenzial einer möglichen Wärmespeicherung verringert. Die Strategie mit der Maßnahme der Verschattungselemente der Fenster zeigt durchgängig Potenziale auf, außer bei K_BT_VF_100 mit AZ90°. Unter Strategieeinsatz eines externen Bauteils als Verschattungselement mit der Länge von 100cm erhöht sich der HWB bei AZ90° um 0,91 [%] zum Ist-Zustand. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die solaren Wärmegewinne aufgrund des zu langen Verschattungselementes in Richtung Osten eingeschränkt werden.

Die Strategien K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 zeigen ein erhöhtes Potenzial zum Ist-Zustand auf (Abb. 110)²⁷⁰. Die bereits in der Planung zu berücksichtigende bauliche Maßnahme einer dickeren, massiveren Bodenplatte trägt zu einer Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit unter gleichzeitiger Verringerung des Wärmeverlustes des Gebäudes bei. Der Energieverbrauch im Ist-Zustand bei Azimut 0° beträgt 345,11 [kWh/(m².a)], vergleichend dazu die Auswertung bei Strategieeinsatz K_BD_BP_20 AZ0° mit 270,21 [kWh/(m².a)]. Von allen untersuchten Strategien ergibt sich hier die höchste Energieeinsparung von 21,70 [%], unter gleichzeitiger Verbesserung der thermischen Behaglichkeit. Zur Veranschaulichung wird das thermisch-raumklimatische Verhalten des Ist-Zustandes der besten Strategie K_BD_BP_20 anhand des *Psychrometric Charts* gegenübergestellt (Abb. 111 und 112)²⁷¹. In der Auswertungstabelle wird ersichtlich, dass ausgehend vom Ist-Zustand mit einem Behaglichkeitswert von 38,4 [%] eine Steigerung auf 74,4 [%] unter Strategieeinsatz erreicht wird. Vergleichend dazu wird das Kälteempfinden der *Casa Popular* von 49,9 [%] auf einen Wert von 17,7 [%] verringert (Tab. 31)²⁷².

Die Klimazone 01 benötigt ausschließlich Heizenergiebedarf, sodass sich der Wärmeverlust über erd- oder außenluftangrenzende Bauteile stark auf das Innenraumklima auswirken kann. Der U-

²⁶⁹ Vgl. DIN EN ISO 13786; Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren; Anhang A; S. 17; 2008.

²⁷⁰ Siehe Abb. 110, S. 141.

²⁷¹ Siehe Abb. 111 und 112, S. 142.

²⁷² Siehe Tab. 31, S. 142.

Wert der Bodenplatte von Strategie K_BD_BP_15 reduziert sich um 14,4 [%], mit einer Differenz von 0,39 [W/(m².K)], der U-Wert von Strategie K_BD_BP_20 sogar um 25,5 [%] mit einer Differenz von 0,69 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert der Bodenplatte im Ist-Zustand von 2,71 [W/(m².K)] (Tab. 29). Der U-Wert der Außenwand verringert sich unter Strategieanwendung K_BD_AW_15 um 19,0 [%], mit einer Differenz von 0,54 [W/(m².K)] und unter der Strategieanwendung K_BD_AW_20 sogar um 32,1 [%], mit einer Differenz von 0,91 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert der Außenwand im Ist-Zustand von 2,84 [W/(m².K)] (Tab. 29).

Ausgehend von den durch Simulationen berechneten Auswertungen weist die Strategie einer massiveren Bodenplatte K_BD_BP nicht nur einen niedrigeren U-Wert, sondern auch durchgehendes Potenzial für die Verringerung des Energieverbrauchs und einer Verbesserung der thermischen Behaglichkeit im Vergleich zum Ist-Zustand auf. Vergleichend dazu entspricht die Aussage eines niedrigeren U-Wertes der Außenwand nach Strategieeinsatz nicht einer Verbesserung, sondern sogar für die Strategie K_BD_AW_20 ein durchgehendes negatives Ergebnis, welches einen Mehrverbrauch an HWB bedeutet. Anhand dieser Auswertung darf der U-Wert nicht der alleinige Entscheidungsfaktor sein. Es bedarf einer genaueren Untersuchung der bauphysikalischen Kennwerte und Prozesse, der Materialeigenschaften, der spezifischen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit.

Bodenplatte	U-Wert [W/(m ² .K)]	Differenz Ist-Zustand		Außenwand	U-Wert [W/(m ² .K)]	Differenz Ist-Zustand	
Ist-Zustand	2,71	0		Ist-Zustand	2,84	0	
K_BD_BP_15	2,32	0,39	14,4%	K_BD_AW_15	2,30	0,54	19,0%
K_BD_BP_20	2,02	0,69	25,5%	K_BD_AW_20	1,93	0,91	32,1%

Tab. 29 Vergleichswerte Wärmedurchgangskoeffizienten Boden und Wand

Strategie M – Material

Alle Strategien im Bereich Material weisen ein durchgängiges Potenzial mit der Auswirkung der Verringerung des Heizwärmebedarfs und einer Verbesserung des Raumklima-Komforts auf. Der Einfluss ist zwar geringer als der der Strategien im Bereich Konstruktion, kann aber aufgrund eines kostengünstigeren Lehmputzaufragens ein Potenzial von maximal 0,52 [%] im Vergleich zum Ist-Zustand erreichen. Diese Maßnahme ist auch im bebauten und bewohnten Zustand anwendbar.

Psychrometric Chart für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit

Auswahlkriterium für die Klimazone 01 ist dabei das aufgezeigte höchste Potenzial (Abb. 110)²⁷³ bei der Strategie einer massiven Bodenplatte von 20cm – K_BD_BP_20, unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes. Für die Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit anhand des *Psychrometric Chart* dient der Vergleich des Raumklimas des Ist-Zustandes mit dem Raumklima nach Strategieeinsatz K_BD_BP_20 (Abb. 111 und 112)²⁷⁴. Die numerischen Auswertungen bezüglich der Behaglichkeit, der Unbehaglichkeit, des Kälte- und Wärmeempfindens sind in Tab. 31²⁷⁵ dargestellt.

²⁷³ Siehe Abb. 110, S. 141.

²⁷⁴ Siehe Abb. 111 und 112, S. 142.

²⁷⁵ Siehe Tab. 31, S. 142.

Auswertungen Klimazone 01 Heizwärmebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN	MAX	Δ Strategie
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimut 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,11	343,24	344,03	347,17	350,32	352,38	351,69	348,94	343,24	352,38	-2,59%
				Ist-Zustand [%]	-0,54%	0,00%	-0,23%	-1,15%	-2,06%	-2,59%	-2,46%	-1,66%			0,00%
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,11	343,14	343,63	346,98	350,32	352,28	351,40	348,75	343,14	352,28	-2,59%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,03%	0,11%	0,06%	0,00%	0,03%	0,08%	0,06%			0,03%
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,90	344,72	345,11	347,37	349,63	351,20	350,42	348,35	344,72	351,20	-1,85%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,23%	-0,43%	-0,31%	-0,06%	0,20%	0,33%	0,36%	0,17%			-0,43%
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	346,68	344,03	343,34	345,50	348,94	352,09	352,38	350,32	346,68	352,09	-2,57%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,46%	-0,23%	0,20%	0,48%	0,39%	0,08%	-0,20%	-0,39%			-0,03%
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,80	344,62	345,50	347,86	349,63	350,91	350,42	348,65	344,62	350,91	-1,79%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,20%	-0,40%	-0,43%	-0,20%	0,20%	0,42%	0,36%	0,08%			-0,40%	0,42%
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	344,52	342,75	343,83	347,07	350,42	352,38	351,50	348,35	342,75	352,38	-2,73%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,14%	0,06%	0,03%	-0,03%	0,00%	0,06%	0,17%			0,14%
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,70	343,93	345,31	348,65	351,99	353,76	352,78	349,43	343,93	353,76	-2,78%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,17%	-0,20%	-0,37%	-0,42%	-0,48%	-0,39%	-0,31%	-0,14%			-0,20%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	300,58	299,01	299,80	303,04	305,99	307,95	307,17	304,42	299,01	307,95	-2,90%
				Differenz Ist-Zustand [%]	12,90%	12,89%	12,86%	12,71%	12,65%	12,61%	12,66%	12,76%			12,89%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	270,21	268,83	269,62	272,86	275,62	277,58	276,60	273,94	268,83	277,58	-3,15%
				Differenz Ist-Zustand [%]	21,70%	21,68%	21,63%	21,40%	21,32%	21,23%	21,35%	21,49%			21,68%
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	342,85	351,69	-2,52%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	0,17%	0,17%	0,20%	0,20%	0,22%	0,23%			0,11%
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	342,85	351,69	-2,52%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	0,17%	0,17%	0,20%	0,20%	0,22%	0,23%			0,11%	0,20%
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	344,52	342,85	347,17	347,17	350,32	352,38	351,30	348,16	342,85	352,38	-2,71%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	-0,91%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,23%			0,11%	0,00%
M - Material	Außenwand	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	343,83	341,96	342,85	346,19	349,43	351,50	350,71	347,76	341,96	351,50	-2,71%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,37%	0,37%	0,34%	0,28%	0,25%	0,25%	0,28%	0,34%			0,37%
	Außenwand	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	343,34	341,47	342,55	345,90	349,24	351,20	350,42	347,27	341,47	351,20	-2,77%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,51%	0,52%	0,43%	0,37%	0,31%	0,36%	0,48%	0,33%			0,52%
	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	344,81	343,04	343,73	346,88	350,02	352,19	351,50	348,65	343,04	352,19	-2,60%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,09%	0,06%	0,09%	0,08%	0,08%	0,06%	0,06%	0,08%			0,06%
Außenwand	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,01	343,14	343,93	347,07	350,22	352,38	351,69	348,84	343,14	352,38	-2,62%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,03%			0,03%	0,00%
Außenwand	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	345,11	343,34	344,03	347,17	350,32	352,48	351,79	348,94	343,34	352,48	-2,59%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	-0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,05%	-0,03%	0,00%			-0,03%	-0,03%

Tab. 30 Energieverbrauch HWB Min und Max [kWh/(m².a)] und Differenz zum Ist-Zustand [%]

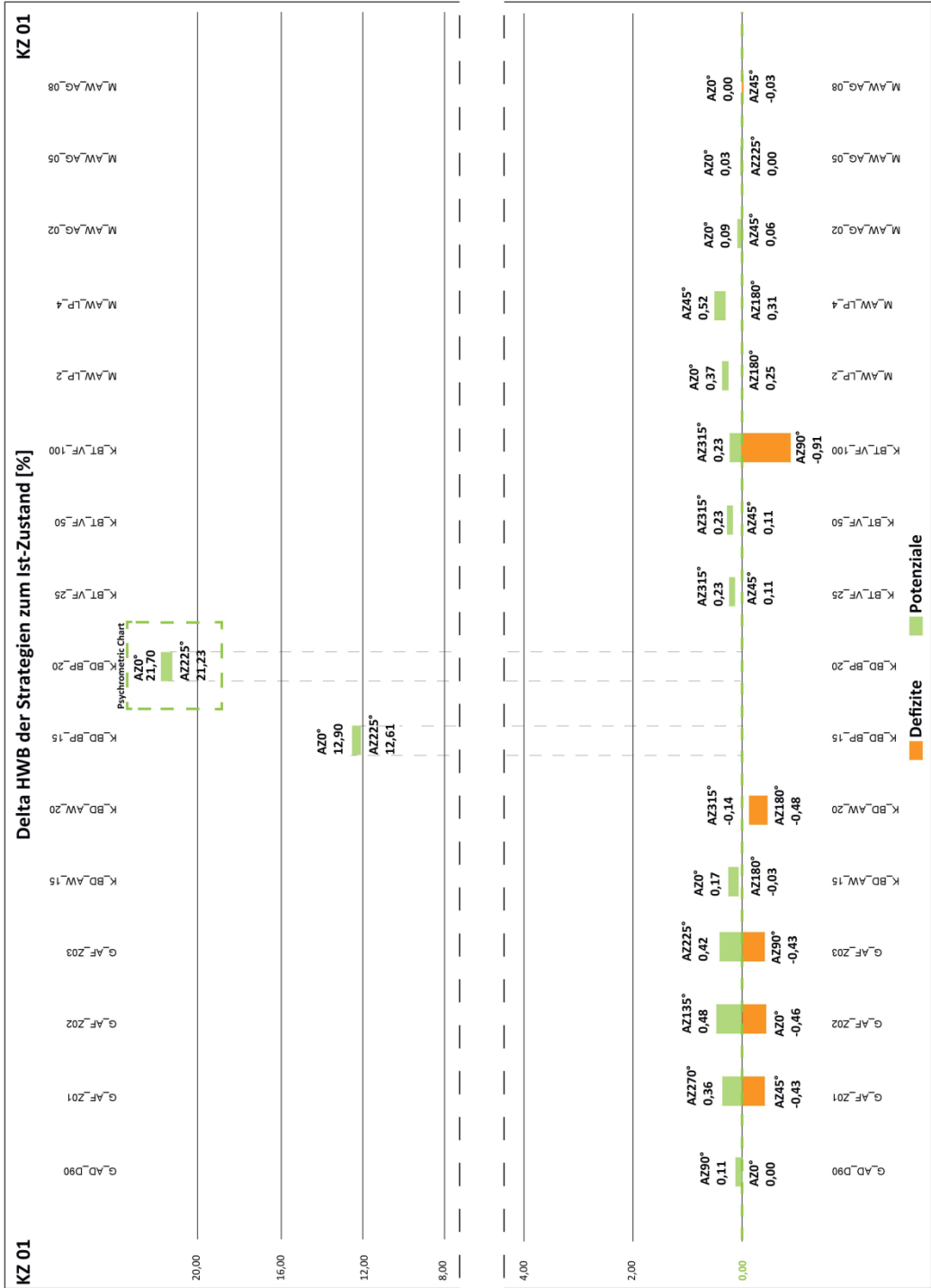


Abb. 110 Delta-Wert: Potenzial/ Einsparung und/oder Defizit/Mehrverbrauch [%]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

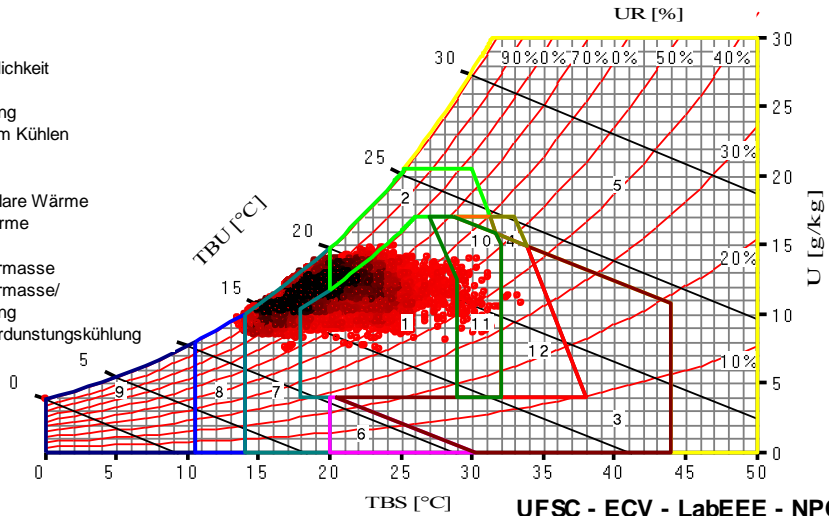


Abb. 111 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular G_AG_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

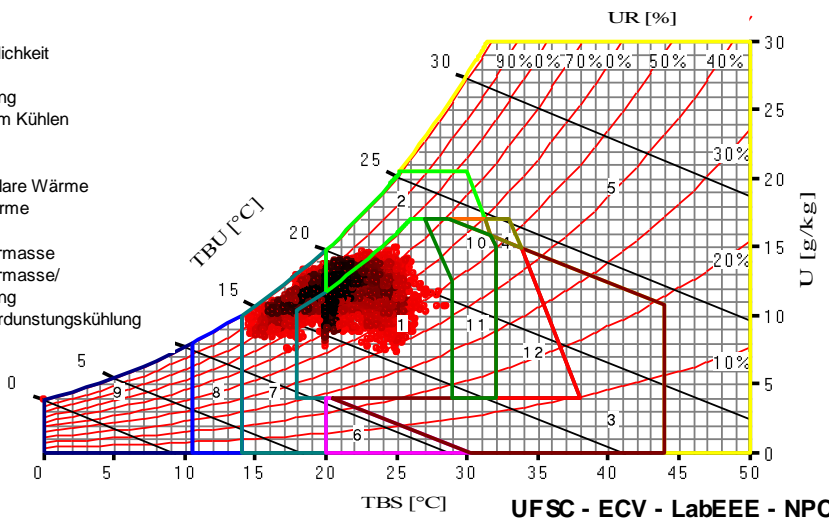


Abb. 112 Jahresauswertung Psychrometric Chart Strategie K_BD_BP_20_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Klimazone 01:	Raumklima Casa Popular:	Raumklima K_BD_BP_20_AZ:
Behaglichkeit: 22,3 %	Behaglichkeit: 38,4 %	Behaglichkeit: 74,4 %
Unbehaglichkeit: 77,7 %	Unbehaglichkeit: 61,6 %	Unbehaglichkeit: 25,6 %
Kälteempfinden: 75,18 %	Kälteempfinden: 49,9 %	Kälteempfinden: 17,7 %
Wärmeempfinden: 2,48 %	Wärmeempfinden: 11,7 %	Wärmeempfinden: 7,92 %

Tab. 31 Vergleich zwischen Raumklima der Casa Popular im Ist-Zustand mit dem Raumklima der Casa Popular unter Anwendung der Strategie K_BD_BP_20_AZ

3.4.3 Klimazone 03

Die Referenzstadt der Klimazone 03 ist São Paulo, Bundesland São Paulo. Auf das Jahr bezogen ergeben die Auswertungen aus den Simulationen für diese gemäßigte Klimazone sowohl Heizwärme-, als auch Kühlenergiebedarf [kWh/(m²a)].

Heizwärme- und Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung

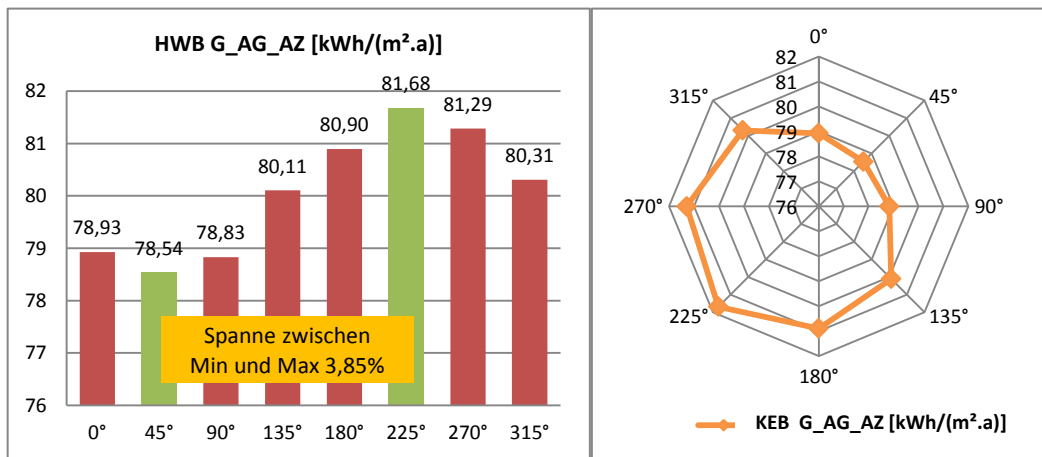
In Tabelle 32 sind die Verbrauchsschwankungen des jährlichen Heizwärmebedarfs (HWB) abhängig von der Gebäudeausrichtung dargestellt. Insgesamt wurde der HWB für die acht ausgewählten Ausrichtungen ermittelt. Der minimale HWB-Verbrauch liegt bei Azimut 45°, der maximale HWB-Verbrauch ergibt sich bei Azimut 225° (Tab. 32).

Allein durch die Ausrichtung des Gebäudes und ohne Strategieeinsatz ergibt sich ein maximales Energieeinsparpotenzial für den Heizwärmebedarf von bis zu 3,85 [%].

In Tabelle 33 sind die Verbrauchsschwankungen des jährlichen Kühlenergiebedarfs (KEB) abhängig von der Gebäudeausrichtung dargestellt. Insgesamt wurde der KEB für die acht ausgewählten Ausrichtungen ermittelt. Der minimale KEB-Verbrauch liegt bei Azimut 225°, der maximale KEB-Verbrauch ergibt sich bei Azimut 45° (Tab. 33). Diese Ergebnisse sind dem Heizwärmebedarf diametral entgegengesetzt.

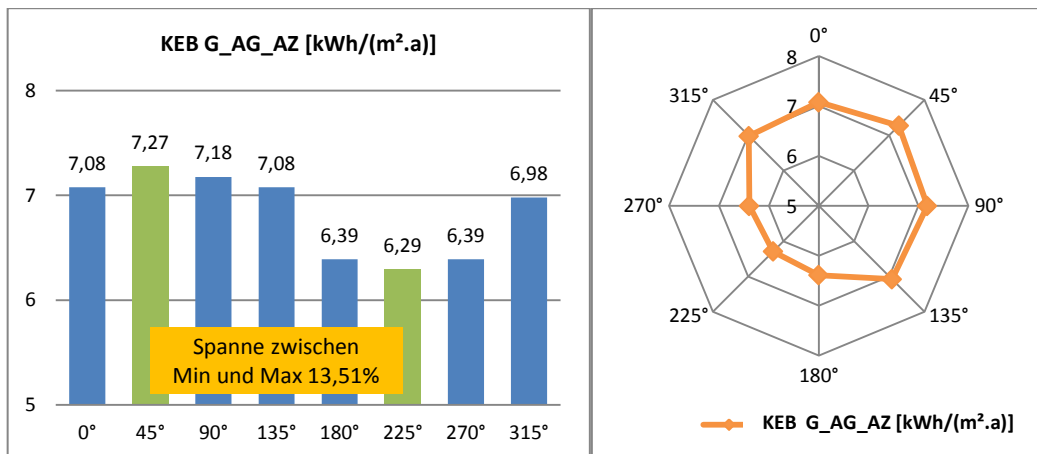
Allein durch die Ausrichtung des Gebäudes und ohne Strategieeinsatz ergibt sich ein maximales Energieeinsparpotenzial für den Kühlenergiebedarf von bis zu 13,51 [%].

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der *Casa Popular* liegt bei 73,9 [%], die Unbehaglichkeit bei 26,1 [%]. Durch die Auswertungen ergeben sich ein Kälteempfinden von 15,8 [%] und ein geringes Wärmempfinden von 10,2 [%] (Tab. 37)²⁷⁶.



Tab. 32 Verbrauch HWB – Heizwärmebedarf im Jahr [kWh/(m²a)]

²⁷⁶ Siehe Tab. 37, S. 154.



Tab. 33 Verbrauch KEB – Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m²a)]

Heizwärmebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden für Klimazone 03 die Auswertungen des Heizwärmebedarfs [kWh/(m²a)] für die *Casa Popular* unter Strategieeinsatz mit den möglichen Spannweiten [%] im Bezug zum Ist-Zustand dargestellt (Tab. 35)²⁷⁷.

Bei den Auswertungen nach Strategieeinsatz ergeben sich folgende Ergebnisse:

Strategie G – Gebäude

Die Strategien der Ausrichtung Dach und Fenster ergeben sowohl Potenziale, als auch Defizite. Das bedeutet eine Energieeinsparung und/oder –Mehrverbrauch, sowie die Verbesserung und/oder Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Insbesondere bei der baulichen Maßnahme der unterschiedlichen Fensterpositionierungen zeigt sich ein Einfluss in der Spanne von -0,75 bis +0,75 [%] zum Ist-Zustand.

Aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in Abhängigkeit mit der Ausrichtung ergeben sich dadurch Potenziale und Defizite und es bedarf einer genaueren Analyse eines jeden Einzelfalles, um einen positiven Nutzen aus der Strategie zu gewinnen bzw. eine negative Auswirkung zu vermeiden.

Strategie K – Konstruktion

Sechs von sieben Strategien weisen unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes immer eine positive Auswirkung zur Verringerung des Heizwärmebedarfs und einer Verbesserung des Raumklima-Komforts auf.

Beim Ist-Zustand der *Casa Popular* bei Azimut 90° ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 78,83 [kWh/(m²a)]. Unter Strategieeinsatz eines externen Bauteils als Verschattungselement mit der Länge von 100cm, K_BT_VF_100, erhöht sich der HWB auf 80,11 [kWh/(m²a)] bzw. um 1,62 [%]

²⁷⁷ Siehe Tab. 35, S. 147.

zum Ist-Zustand. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die solaren Wärmegewinne aufgrund des zu langen Verschattungselementes in Richtung Osten eingeschränkt werden.

Im Gegenteil zur Klimazone 01 mit einem gemäßigt-kalten Klima weist die Klimazone 03 mit einem gemäßigten Klima nur teilweise Heizwärmebedarf auf.

Die Strategien K_BD_AW_15, K_BD_AW_20, K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 zeigen durchgängig ein positives Potenzial im Vergleich zum Ist-Zustand auf (Abb. 113)²⁷⁸. Diese Strategien erhöhen die Wärmespeicherfähigkeit der an den Außenraum angrenzenden Bauteile, der Außenwand und der Bodenplatte und bedeuten damit eine signifikante Energieeinsparung und Verbesserung der thermischen Behaglichkeit des Innenraumklimas. Die Spannweiten der Strategien Außenwand liegen im Bereich von +4,69 bis +8,64 [%] bzw. für die Bodenplatte von +4,74 bis +8,89 [%].

Die U-Werte der Bodenplatte und der Außenwand des Ist-Zustandes werden im Vergleich zu den Werten unter Strategieeinsatz in Tab. 29²⁷⁹ aufgeführt. Ein niedrigerer U-Wert als derjenige des Ist-Zustandes reduziert den Wärmeverlust bei den erd- oder außenluftangrenzenden Bauteilen.

Die Strategien einer dickeren Bodenplatte oder Außenwand sind konstruktive Maßnahmen, die bei einer Neuplanung der Wohneinheiten der *Casa Popular* berücksichtigt werden sollten. Bei bestehenden und schon bewohnten Häusern ist nachträglich eine bauliche Änderung u.a. aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen.

Strategie M – Material

In dem Bereich Material gibt es nur zwei wesentliche Potenziale bei den Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4 (Abb. 113)²⁸⁰. Beide Strategien haben als Maßnahme einen auf der Außenwand zusätzlich aufgetragenen Lehmputz. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Lehm-Materials reduziert den Wärmestrom der Außenwand und verringert gleichzeitig seinen U-Wert. Der U-Wert der Außenwand der Strategie M_AW_LP_2 reduziert sich um 8,45 [%], mit einer Differenz von 0,24 [W/(m².K)]. Der U-Wert der Strategie M_AW_LP_4 verringert sich sogar um 15,8 [%], mit der Differenz von 0,45 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert der Außenwand im Ist-Zustand von 2,84 [W/(m².K)] (Tab. 34)²⁸¹. Entsprechend wird der Wärmeverlust durch diese beiden Strategien reduziert.

Die Strategie K_BD_BP_20_AZ45° aus dem Bereich der Konstruktion weist zwar mit 8,89 [%] ein höheres Potenzial als die Strategie M_AW_LP_4_AZ45° mit 5,51 [%] auf, jedoch ist die bauliche Maßnahme eines Lehmputzauftrags nicht nur eine nachhaltigere und kostengünstigere Variante, sondern auch eine nach der Fertigstellung und im bewohnten Zustand des Gebäudes umsetzbare Strategie.

Zur Veranschaulichung wird das thermisch-raumklimatische Verhalten des Ist-Zustandes der Strategie M_AW_LP_2 anhand des *Psychrometric Charts* gegenübergestellt (Abb. 116 und 117)²⁸². In der Auswertungstabelle wird ersichtlich, dass ausgehend vom Ist-Zustand mit einem Behaglichkeitswert von 73,9 [%] eine Steigerung auf 82,2 [%] unter Strategieeinsatz erreicht wird. Vergleichend dazu wird das Kälteempfinden der *Casa Popular* von 15,8 [%] auf einen Wert von 7,6 [%] verringert (Tab. 37)²⁸³.

²⁷⁸ Siehe Abb. 113, S. 148.

²⁷⁹ Siehe Tab. 29, S. 139.

²⁸⁰ Siehe Abb. 113, S. 148.

²⁸¹ Siehe Tab. 34, S. 146.

²⁸² Siehe Abb. 116 und 117, S. 154.

²⁸³ Siehe Tab. 37, S. 154.

Die drei Varianten der Strategie M_AW_AG weisen hinsichtlich des Absorptionsgrades keinen positiven Einfluss bzw. nur einen gering negativen Wert von bis zu -0,36 [%] auf und bedürfen der genaueren Analyse des Einzelfalles nach Gebäudeausrichtung.

Außenwand	U-Wert [W/(m².K)]	Differenz Ist-Zustand	
Ist-Zustand	2,84	0	
M_AW_LP_2	2,60	0,24	8,45%
M_AW_LP_4	2,39	0,45	15,8%

Tab. 34 Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand im Ist-Zustand und unter Strategieeinsatz

Psychrometric Chart für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit

Auswahlkriterium für die Klimazone 03 ist dabei bewusst nicht das am höchsten aufgezeigte Potenzial der Strategie einer massiven Bodenplatte von 20cm – K_BD_BP_20, ähnlich der Auswertung zu Klimazone 01, sondern die Maßnahme eines wirtschaftlich günstigen und einfach umzusetzenden Lehmputzauftrags von 2,0 cm Dicke. Auch wurde das nächstgelegene und nur geringfügig bessere Resultat eines Lehmputzes von 4,0 cm aufgrund des unverhältnismäßig höheren Materialeinsatzes nicht berücksichtigt.

Der geringste Energieverbrauch im Ist-Zustand ergibt sich bei AZ 45° mit 78,54 [kWh/(m²a)].

Die niedrigste Differenz vom Ist-Zustand zur Strategie M_AW_LP_2 ergibt sich bei AZ45° mit 76,08 [kWh/(m²a)], also 2,46 [kWh/(m²a)] geringer bzw. 3,13 [%] Potenzial, bezogen auf den Ist-Zustand.

Die niedrigste Differenz vom Ist-Zustand zur Strategie M_AW_LP_4 ergibt sich bei AZ45° mit 74,21 [kWh/(m²a)], also 4,32 [kWh/(m²a)] geringer bzw. 5,51 [%] Potenzial, bezogen auf den Ist-Zustand.

Die Differenz zwischen den beiden Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4 beträgt nur 1,87 [kWh/(m²a)]. Aus konstruktiven und statischen Gründen ist der Mehraufwand eines 4,0 cm Lehmputzauftrags nicht zu empfehlen. Hinsichtlich des Heizwärmebedarfs ist für eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und Reduzierung des Energieverbrauchs ein mindestens 2,0 cm dicker Lehmputz aus oben genannten Gründen vollkommen ausreichend.

Für die Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit anhand des *Psychrometric Charts* wird der Vergleich des Raumklimas im Ist-Zustandes mit dem Raumklima unter Strategieeinsatz M_AW_LP_2 ausgewählt (Abb. 116 und 117)²⁸⁴. Die numerischen Auswertungen bezüglich der Behaglichkeit, der Unbehaglichkeit und des Kälte- und Wärmeempfindens werden in Tab. 37²⁸⁵ dargestellt.

²⁸⁴ Siehe Abb. 116 und 117, S. 154.

²⁸⁵ Siehe Tab. 37, S. 154.

Auswertungen Klimazone 03 Heizwärmebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	Energieverbrauch												MAX	Δ Strategie
					0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN					
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	79,93	78,54	78,83	80,11	80,90	81,68	81,29	80,31	81,68	81,68	-3,85%			
				Ist-Zustand [%]	-0,50%	0,00%	-0,38%	-2,00%	-2,92%	-3,85%	-3,50%	-2,25%	0,00%	-3,85%	-3,85%			
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	79,03	78,44	78,63	80,11	81,09	81,58	80,99	80,31	78,44	81,58	-3,86%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00	0,13%	0,25%	0,00%	-0,24%	0,12%	0,36%	0,00%	0,13%	0,12%	-3,86%			
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	79,13	79,03	79,22	80,21	80,80	81,29	80,80	80,11	80,11	79,03	81,29	-2,78%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,25%	-0,63%	-0,50%	-0,12%	0,48%	0,60%	0,24%	0,00%	-0,63%	0,48%	-2,78%			
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	79,42	78,73	78,54	79,52	80,60	81,58	81,49	80,80	80,80	78,54	81,58	-3,73%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,62%	-0,25%	0,37%	0,74%	0,36%	0,12%	-0,24%	-0,61%	0,00%	0,12%	-3,73%				
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	79,03	78,93	79,42	80,40	80,70	81,09	80,90	80,31	78,93	81,09	81,09	-2,67%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,12%	-0,50%	-0,76%	-0,37%	0,24%	0,72%	0,48%	0,00%	-0,50%	0,72%	-2,67%				
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	74,60	74,21	74,60	76,08	76,96	77,85	77,26	76,28	74,21	77,85	-4,67%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,48%	5,51%	5,36%	5,03%	4,86%	4,69%	4,96%	5,02%	5,48%	4,69%	-4,67%			
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	72,15	71,75	72,25	73,72	74,70	75,49	74,90	73,82	71,75	75,49	-4,95%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	8,59%	8,64%	8,35%	7,98%	7,65%	7,58%	7,86%	8,08%	8,59%	7,58%	-4,95%			
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	74,90	74,51	75,00	76,18	77,06	77,65	77,16	76,28	74,51	77,65	-4,05%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,11%	5,13%	4,86%	4,91%	4,74%	4,93%	5,08%	5,02%	5,11%	4,93%	-4,05%			
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	71,95	71,56	72,05	73,33	74,11	74,70	74,21	73,23	71,56	74,70	-4,21%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	8,84%	8,89%	8,60%	8,47%	8,38%	8,54%	8,71%	8,81%	8,89%	8,54%	-4,21%			
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,83	78,44	78,83	80,01	80,80	81,49	80,99	80,11	78,44	81,49	-3,74%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	0,00%	0,12%	0,24%	0,24%	0,36%	0,24%	0,13%	0,24%	-3,74%			
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,83	78,44	78,83	80,01	80,80	81,49	80,99	80,11	78,44	81,49	-3,74%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	0,00%	0,12%	0,24%	0,24%	0,36%	0,24%	0,13%	0,24%	-3,74%			
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,83	78,44	78,83	80,11	80,90	81,68	81,09	80,11	78,44	81,68	-3,97%				
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	-1,62%	0,00%	0,00%	0,00%	0,24%	0,24%	0,13%	0,00%	-3,97%				
M - Material	Außenwand Dicke 2cm	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	76,47	76,08	76,37	77,85	78,63	79,42	79,03	78,05	76,08	79,42	-4,21%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	3,11%	3,13%	3,12%	2,82%	2,79%	2,77%	2,78%	2,82%	3,11%	2,77%	-4,21%			
	Außenwand Dicke 4cm	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	74,60	74,21	74,60	76,08	76,96	77,75	77,26	76,28	74,21	77,75	-4,55%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,48%	5,51%	5,36%	5,03%	4,86%	4,81%	4,96%	5,02%	5,48%	4,81%	-4,55%			
	Außenwand Absorptionsgrad 0,2	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,93	78,54	78,83	80,21	80,99	81,68	81,29	80,40	78,54	81,68	-3,85%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,12%	-0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,12%	0,00%	-3,85%			
Außenwand Absorptionsgrad 0,5	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,93	78,54	78,93	80,21	80,99	81,78	81,29	80,40	78,54	81,78	-3,97%				
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	0,00%	0,00%	-0,12%	0,00%	-3,97%				
Außenwand Absorptionsgrad 0,8	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	78,93	78,54	78,83	80,31	81,19	81,88	81,49	80,50	78,54	81,88	-4,08%				
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,25%	-0,36%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	0,00%	-0,24%	-4,08%				

Tab. 35 Energieverbrauch HWB Min und Max [kWh/(m².a)] und Differenz zum Ist-Zustand [%]

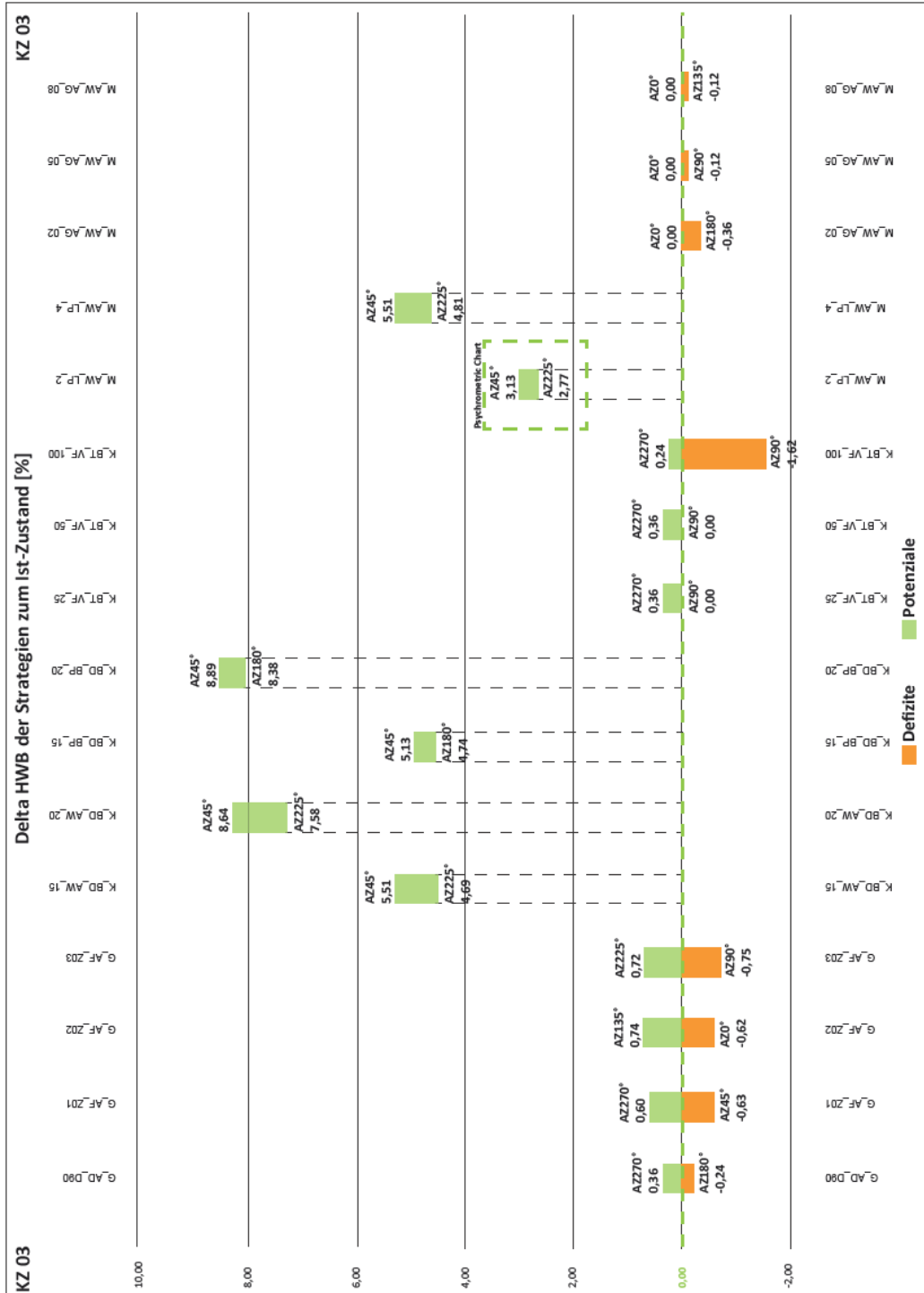


Abb. 113 Delta-Wert: Potenzial/ Einsparung und/oder Defizit/Mehrverbrauch [%]

Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäude, Konstruktion und Material

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden für Klimazone 03 die Auswertungen des Kühlenergiebedarfs [kWh/(m²a)] für die *Casa Popular* unter Strategieeinsatz mit den möglichen Spannweiten [%] im Bezug zum Ist-Zustand dargestellt (Tab. 36)²⁸⁶.

Bei den Auswertungen nach Strategieeinsatz ergeben sich folgende Ergebnisse:

Strategie G – Gebäude

Die Strategien der Ausrichtung Dach und Fenster ergeben ähnlich den Auswertungen beim Heizwärmebedarf sowohl Potenziale als auch Defizite, mit einer Verbesserung und/oder Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Insbesondere bei der baulichen Maßnahme der unterschiedlichen Fensterpositionierungen zeigt sich ein Einfluss in der Spanne von -3,08 bis +2,74 [%] zum Ist-Zustand.

Strategie K – Konstruktion

Fünf von sieben Strategien weisen unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes immer eine positive Auswirkung einer Verringerung des Kühlenergiebedarfs und einer Verbesserung des Raumklima-Komforts auf.

Die Strategien K_BD_AW_15 und K_BD_AW_20 zeigen ein erhöhtes Potenzial zum Ist-Zustand auf (Abb. 114)²⁸⁷. Diese Strategien tragen zu einer Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit der an den Außenraum angrenzenden Bauteile bei und somit zu einer signifikanten Energieeinsparung und Verbesserung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Aufgrund der großen Spannweite von 27,40 [%] bis zu 46,15 [%] zum Ist-Zustand zeigen beide Strategien im Vergleich zu anderen Maßnahmen im Bereich Konstruktion große Potenziale auf.

Die Klimazone 03 weist sowohl einen Heizenergie-, als auch einen Kühlenergiebedarf auf, so dass sich der Wärmeverlust über erd- oder außenluftangrenzende Bauteile sehr stark auf das Innenraumklima auswirkt. Die U-Werte der Außenwand des Ist-Zustandes im Vergleich zu den U-Werten unter Strategieeinsatz sind in Tab. 29²⁸⁸ aufgeführt. In den warmen Jahreszeiten wirkt sich der niedrige U-Wert der Außenwand positiv aus, da die Wärme nicht in das Gebäude eindringen kann.

Die Strategien einer dickeren Bodenplatte, K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20, zeigen ein Defizit mit einer Spanne von -12,16 [%] bis zu -23,61 [%] auf. Vergleichend zu den vorherigen Auswertungen des Heizenergiebedarfs, mit einem Potenzial von bis zu 8,89 [%], wirken sich diese Strategien während der warmen Jahreszeit negativ aus und führen zu einem Mehrverbrauch an Kühlenergie (siehe auch dazu Abb. 115)²⁸⁹.

²⁸⁶ Siehe Tab. 36, S. 151.

²⁸⁷ Siehe Abb. 114, S. 152.

²⁸⁸ Siehe Tab. 29, S. 139.

²⁸⁹ Siehe Abb. 115, S. 153.

Strategie M – Material

In dem Bereich Material gibt es nur zwei wesentliche Potenziale bei den Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4 (Abb. 114)²⁹⁰. Beide Strategien haben als Maßnahme einen auf der Außenwand zusätzlich aufgetragenen Lehmputz. Die Auswertungen zeigen mit ähnlichen Ergebnissen wie beim Heizwärmebedarf ein Potenzial zur Minderung des Kühlenergiebedarfs auf, mit einer Spanne von 15,07 [%] bis zu 29,17 [%], im Vergleich zum Ist-Zustand. Entsprechend werden die Wärmeverluste in der Heiz- bzw. Kühlperiode durch diese beiden Strategien reduziert.

Die Strategie K_BD_BP_20_AZ180° aus dem Bereich der Konstruktion weist zwar mit 46,15 [%] ein höheres Potenzial als die Strategie M_AW_LP_4_AZ0° mit 29,17 [%] auf, jedoch ist die bauliche Maßnahme eines Lehmputzauftrags nicht nur eine nachhaltigere und kostengünstigere Variante, sondern auch eine nach der Fertigstellung und im bewohnten Zustand des Gebäudes umsetzbare Strategie.

Die drei Varianten der Strategie M_AW_AG weisen hinsichtlich des Absorptionsgrades keinen positiven Einfluss bzw. einen negativen Einfluss bis zu -6,15 [%] auf und bedürfen der genaueren Analyse des Einzelfalles nach Gebäudeausrichtung.

Psychrometric Chart für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit

Auswahlkriterium für die Klimazone 03 ist dabei bewusst nicht das am höchsten aufgezeigte Potenzial der Strategie einer massiven Außenwand von 20cm – K_BD_AW_20, sondern die Maßnahme eines wirtschaftlich günstigen und einfach umzusetzenden Lehmputzauftrags von 2,0 cm Dicke. Auch wurde das nächstgelegene und nur geringfügig bessere Resultat eines Lehmputzes von 4,0 cm aufgrund des unverhältnismäßig höheren Materialeinsatzes nicht berücksichtigt.

Der geringste Energieverbrauch im Ist-Zustand ergibt sich bei AZ 225° mit 6,29 [kWh/(m²a)].

Die niedrigste Differenz vom Ist-Zustand zur Strategie M_AW_LP_2 ergibt sich bei AZ225° mit 5,31 [kWh/(m²a)], also 0,98 [kWh/(m²a)] geringer bzw. 15,63 [%] Potenzial, bezogen auf den Ist-Zustand. Die niedrigste Differenz vom Ist-Zustand zur Strategie M_AW_LP_4 ergibt sich bei AZ225° mit 4,62 [kWh/(m²a)], also 1,67 [kWh/(m²a)] geringer bzw. 26,56 [%] Potenzial, bezogen auf den Ist-Zustand.

Die Differenz zwischen den beiden Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4 beträgt nur 0,69 [kWh/(m²a)]. Wie bei der vorherigen Auswertung für den Heizwärmebedarf derselben Klimazone, ist auch hier aus konstruktiven und statischen Gründen der Mehraufwand eines 4,0 cm Lehmputzauftrags nicht zu empfehlen. Hinsichtlich des Kühlenergiebedarfs ist für eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und Reduzierung des Energieverbrauchs ein mindestens 2,0 cm dicker Lehmputz vollkommen ausreichend.

Für die Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit anhand des *Psychrometric Charts* wird der Vergleich des Raumklimas im Ist-Zustandes mit dem Raumklima unter Strategieeinsatz M_AW_LP_2 ausgewählt (Abb. 116 und 117)²⁹¹. Die numerischen Auswertungen bezüglich der Behaglichkeit, der Unbehaglichkeit und des Kälte- und Wärmeempfindens werden in Tab. 37²⁹² dargestellt.

²⁹⁰ Siehe Abb. 114, S. 152.

²⁹¹ Siehe Abb. 116 und 117, S. 154.

²⁹² Siehe Tab. 37, S. 154.

Auswertungen Klimazone 03 Kühlenergiebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	Kühlenergiebedarf											MAX	MIN	Δ Strategie
					0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0,00%	-13,51%	0,00%			
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimut 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,06	7,27	7,18	7,08	6,39	6,29	6,39	6,39	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%	
				Ist-Zustand [%]	-11,11%	-13,51%	-12,33%	-11,11%	-1,54%	0,00%	-1,54%	0,00%	-1,54%	0,00%	-9,86%	0,00%	-13,51%	
	Ausrichtung Dach	Dachrichtung um 90°	G_AD_D80_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,18	7,27	7,08	7,08	6,49	6,29	6,29	6,29	6,29	6,98	6,29	7,27	-13,51%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	0,00%	1,37%	0,00%	-1,54%	0,00%	1,54%	0,00%	1,54%	0,00%	0,00%	0,00%		
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,18	1,35%	7,18	6,98	6,98	6,49	6,39	6,39	6,39	6,98	6,39	7,18	-10,96%
				Ist-Zustand [%]	-1,39%	1,35%	2,74%	1,39%	-1,54%	-1,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,35%			
G_AF_Z02_AZ				Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,18	7,27	7,08	7,08	6,59	6,29	6,29	6,29	6,29	6,29	6,98	6,29	7,27	-13,51%
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	Gebäudezone 02	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	6,98	7,18	7,18	7,08	6,39	6,39	6,49	7,08	7,08	7,18	7,18	7,18	-10,96%	
				Ist-Zustand [%]	1,39%	1,35%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,56%	-1,54%	-1,41%	-1,41%	-1,41%	-1,41%			
				Differenz Ist-Zustand [%]														
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	5,01	5,21	5,21	5,01	4,52	4,52	4,52	4,52	5,01	4,52	5,21	-13,21%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	29,17%	28,38%	27,40%	29,17%	29,23%	28,13%	29,23%	29,23%	29,23%	29,23%	28,17%			
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	3,83	3,93	3,93	3,83	3,44	3,44	3,44	3,44	3,54	3,44	3,93	-12,50%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	45,83%	45,95%	45,21%	45,83%	46,15%	45,31%	44,62%	44,62%	44,62%	45,07%	45,07%			
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	8,06	8,16	8,06	7,96	7,27	7,08	7,18	7,18	7,86	7,08	8,16	-13,25%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-13,89%	-12,16%	-12,33%	-12,50%	-13,85%	-12,50%	-12,31%	-12,68%	-12,68%	-12,68%				
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	8,75	8,94	8,75	8,65	7,86	7,77	7,77	7,77	7,77	8,55	7,77	8,94	-13,19%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-23,61%	-22,97%	-21,92%	-22,22%	-23,08%	-23,44%	-21,54%	-22,54%	-22,54%	-22,54%				
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,08	7,27	7,08	6,98	6,39	6,29	6,29	6,39	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,08	7,27	7,08	6,98	6,39	6,29	6,29	6,39	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%					
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,08	7,27	7,08	7,08	6,39	6,29	6,29	6,39	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%					
M - Material	Außenwand Dicke 2cm	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	6,00	6,09	6,09	6,00	5,41	5,31	5,41	5,41	6,09	5,31	6,09	-12,90%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	15,28%	16,22%	15,07%	15,28%	15,38%	15,63%	15,38%	15,38%	15,38%	15,49%				
	Außenwand Dicke 4cm	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	5,01	5,21	5,21	5,11	4,62	4,62	4,62	4,62	5,01	4,62	5,21	-11,32%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	29,17%	28,38%	27,40%	27,78%	27,69%	26,56%	27,69%	26,56%	28,17%	28,17%				
	Außenwand Absorptionsgrad 0,2	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,37	7,57	7,47	7,37	6,78	6,59	6,59	6,59	7,27	6,59	7,57	-12,99%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	-4,17%	-4,05%	-4,11%	-4,17%	-6,15%	-4,69%	-3,08%	-4,23%	-4,23%	-4,23%					
Außenwand Absorptionsgrad 0,5	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,27	7,37	7,27	7,18	6,59	6,39	6,49	7,08	7,08	7,37	6,39	7,37	-13,33%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	-2,78%	-1,35%	-1,37%	-1,39%	-3,08%	-1,56%	-1,54%	-1,41%	-1,41%	-1,41%					
Außenwand Absorptionsgrad 0,8	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	7,18	7,27	7,18	7,08	6,49	6,39	6,39	6,39	7,08	6,39	7,27	-12,16%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%					

Tab. 36 Energieverbrauch KEB Min und Max [kWh/(m².a)] und Differenz zum Ist-Zustand[%]

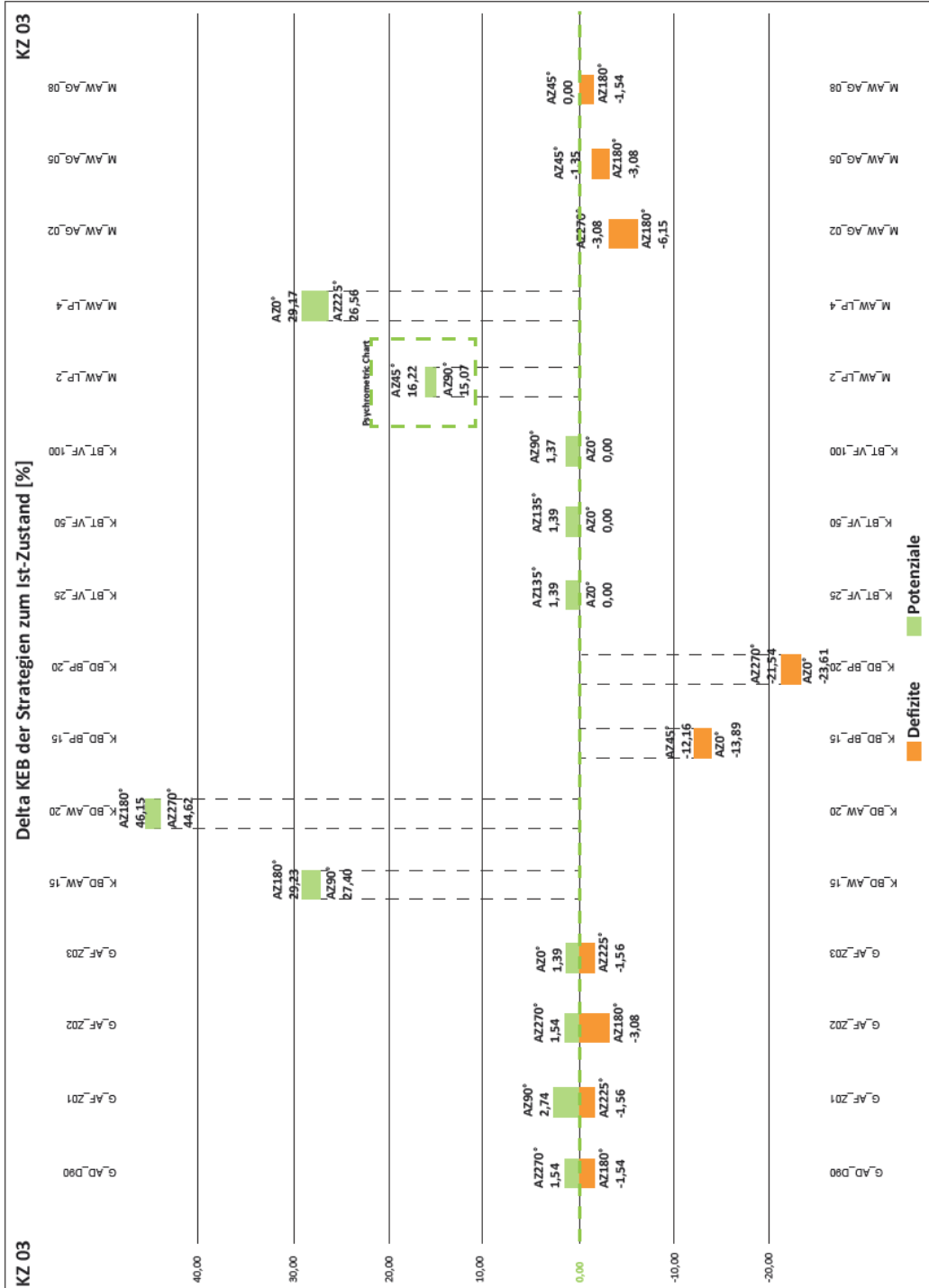


Abb. 114 Darstellung Delta-Wert: Potenzial/ Einsparung und/oder Defizit/Mehrverbrauch [%]

Heizwärme- und Kühlenergiebedarf

Die Klimazone 03 weist Heizwärme- und Kühlenergiebedarf auf. Im Bereich Konstruktion, mit den Strategien K_BD_AW_15, K_BD_AW_20 und im Bereich Material, mit den Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4 zeigen die Auswertungen für das gesamte Jahr Einsparungen sowohl für den Heiz-, als auch den Kühlenergiebedarf. Wiederum gibt es beispielsweise im Bereich der Konstruktion Strategien, die in ihrer Auswirkung den Heizwärmebedarf reduzieren, jedoch den Kühlenergiebedarf erhöhen, zum Beispiel eine dickere Bodenplatte, K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20.

Für eine bessere Beurteilung der Wirksamkeit dieser Strategien bedarf es einer vertieften Analyse der Klimaauswertungen der Referenzstadt, um den jeweils größeren Heiz- oder Kühlenergiebedarf zu ermitteln.

In der dynamisch-energetischen Gebäudesimulation dieser Arbeit wurden die Strategien über den Zeitraum eines Jahres simuliert, um den Energieverbrauch für Heizwärme [kWh/(m².a)] und Kühlenergie [kWh/(m².a)] auswerten zu können.

Bei der Klimazone 03 im Ist-Zustand der *Casa Popular* liegt der maximale Heizwärmebedarf bei AZ225° mit 81,68 [kWh/(m².a)], entgegengesetzt dazu der minimale Kühlenergiebedarf von nur 6,29 [kWh/(m².a)].

Beim Ist-Zustand und AZ225° beträgt der minimale Heizwärmebedarf 78,54 [kWh/(m².a)], entgegengesetzt dazu der maximale Kühlenergiebedarf von nur 7,27 [kWh/(m².a)].

Das Potenzial zur Einsparung des Heizwärmebedarfs der Strategien K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 liegt zwischen 4,03 [kWh/(m².a)] und 6,97 [kWh/(m².a)] bzw. 5,13 [%] bis 8,89 [%], in Abhängigkeit von der Gebäudeausrichtung (Abb. 113 und 114)²⁹³.

Bei der Beurteilung einer potenziellen Energie-Einsparmöglichkeit für den Heizwärmebedarf sind die Strategien K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 unter der Ausrichtung von AZ45° für die Klimazone 03 als empfehlenswert zu betrachten.

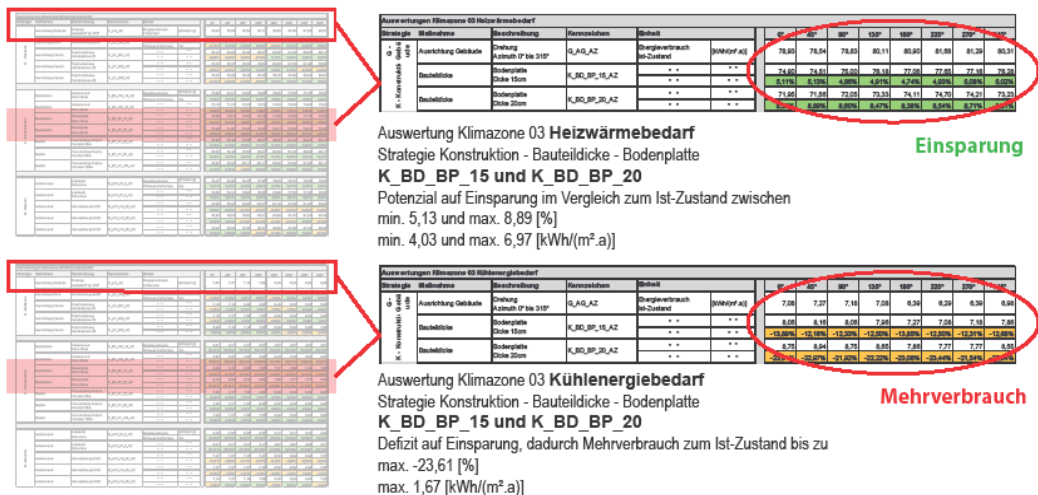


Abb. 115 Strategienvergleich K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 für den Heiz- und Kühlenergiebedarf

²⁹³ Siehe Abb. 113, S 148 und Abb 114, S. 152.

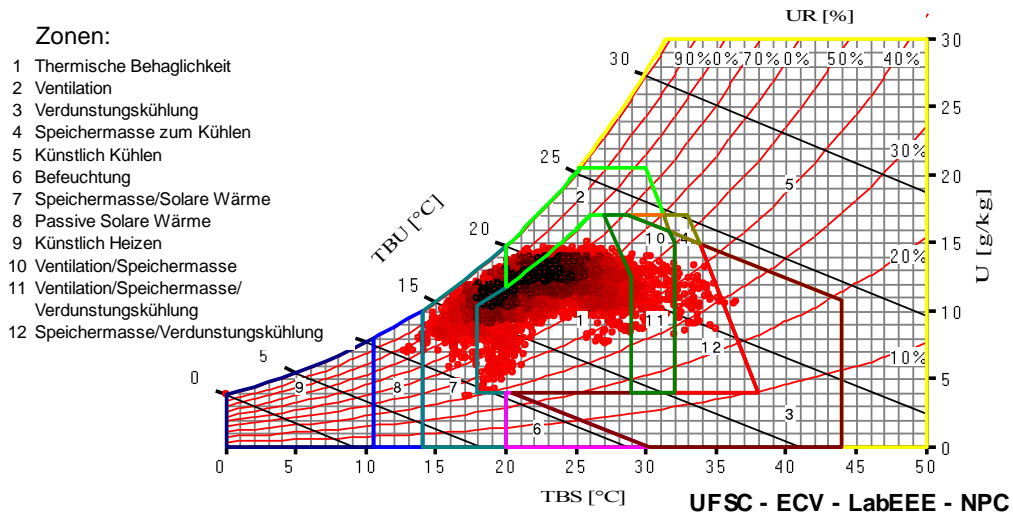


Abb. 116 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular G_AG_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

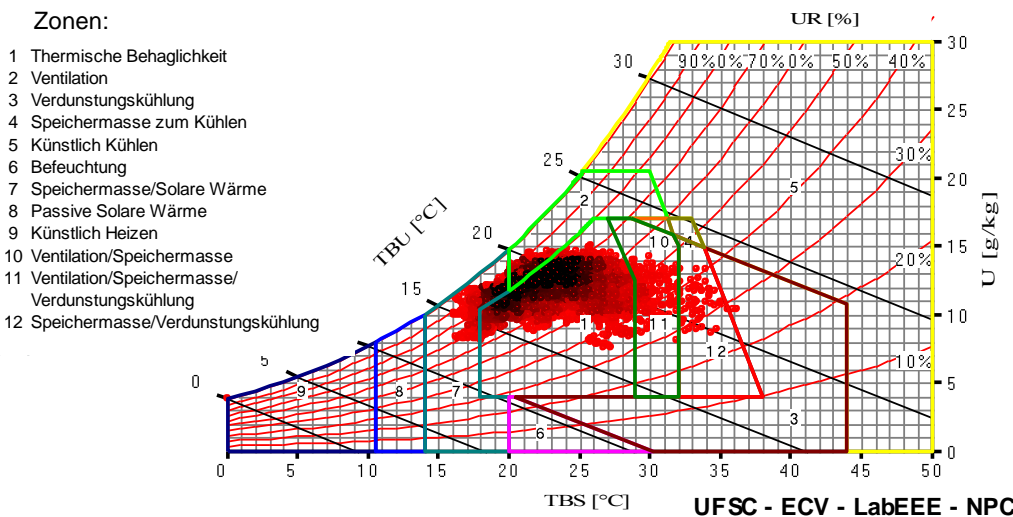


Abb. 117 Jahresauswertung Psychrometric Chart Strategie M_AW_LP_2_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Klimazone 03:	Raumklima Casa Popular:	Raumklima M_AW_LP_2_AZ:
Behaglichkeit: 34,8 %	Behaglichkeit: 73,9 %	Behaglichkeit: 82,2 %
Unbehaglichkeit: 65,2 %	Unbehaglichkeit: 26,1 %	Unbehaglichkeit: 17,8 %
Kälteempfinden: 59,5 %	Kälteempfinden: 15,8 %	Kälteempfinden: 7,6 %
Wärmeempfinden: 5,71 %	Wärmeempfinden: 10,2 %	Wärmeempfinden: 10,2 %

Tab. 37 Vergleich zwischen Raumklima der Casa Popular im Ist-Zustand mit dem Raumklima der Casa Popular unter Anwendung der Strategie M_AW_LP_2_AZ

3.4.4 Klimazone 07

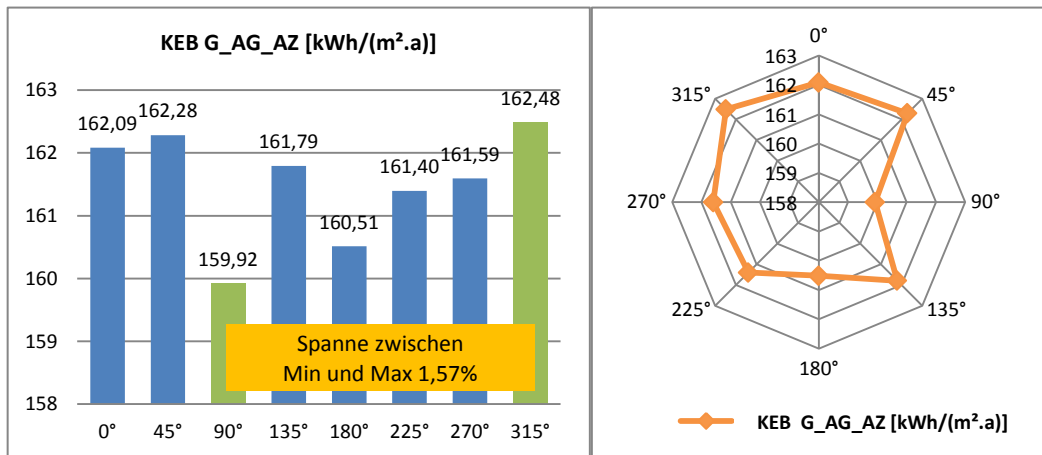
Die Referenzstadt der Klimazone 07 ist Picos, Bundesland Piauí. Die Auswertungen dieser warm-trockenen Klimazone weisen ausschließlich Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m²a)] auf.

Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung

In Tabelle 38 sind die Verbrauchsschwankungen des jährlichen Kühlenergiebedarfs (KEB) abhängig von der Gebäudeausrichtung dargestellt. Insgesamt wurde der KEB für acht Ausrichtungen ermittelt. Der minimale KEB-Verbrauch liegt bei Azimut 90°. Der maximale KEB-Verbrauch ergibt sich bei Azimut 315°.

Allein durch die Ausrichtung des Gebäudes und ohne Strategieeinsatz ergibt sich ein bestmögliches Energieeinsparpotenzial von bis zu 1,57 [%].

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas im Ist-Zustand der *Casa Popular* liegt bei 28,3 [%], die Unbehaglichkeit bei 71,7 [%]. Bei den Auswertungen ergeben sich dadurch ein Wärmempfinden von 71,7 [%] und ein zu vernachlässigendes Kälteempfinden von 0,01 [%] (Tab. 40)²⁹⁴.



Tab. 38 Verbrauch KEB – Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m²a)]

Kühlenergiebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material

Aus den Simulationen, die mit Hilfe des Programmes *EnergyPlus* durchgeführt wurden, ergeben sich die Auswertungen für den Energieverbrauch für Kühlen des Ist-Zustandes der *Casa Popular* und seiner Variation unter Strategieeinsatz für die Bereiche „G-Gebäude“, „K-Konstruktion“ und „M-Material“ (siehe dazu Strategienauswahl in Kap. 3.3.1)²⁹⁵. Weiter werden die möglichen Spannweiten [%] im Bezug zum Ist-Zustand für den Mehr- oder Minderverbrauch dargestellt (Tab. 39)²⁹⁶.

Bei den Auswertungen nach Strategieeinsatz ergeben sich folgende Ergebnisse:

²⁹⁴ Siehe Tab. 40, S 160.

²⁹⁵ Siehe Kap. 3.3.1, S. 126.

²⁹⁶ Siehe Tab. 39, S 158.

Strategie G – Gebäude

Die Strategien der Ausrichtung Dach und Fenster ergeben sowohl Potenziale als auch Defizite. Das bedeutet eine Energieeinsparung und/oder –Mehrverbrauch, sowie eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Insbesondere bei der baulichen Maßnahme der unterschiedlichen Fensterpositionierungen zeigt sich ein Einfluss in der Spanne von -0,98 bis +0,97 [%] zum Ist-Zustand.

Aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in Abhängigkeit von der Ausrichtung ergeben sich dadurch Potenziale und Defizite. Für jeden Einzelfall bedarf es einer genaueren Analyse, um einen positiven Nutzen aus der Strategie zu gewinnen oder eine negative Auswirkung zu vermeiden.

Strategie K – Konstruktion

Zwei von sieben Strategien ergeben unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes durchgehend eine positive Auswirkung zur Verringerung des Kühlenergiebedarfs und der Verbesserung des Raumklima-Komforts.

Die Strategien K_BD_AW_15 und K_BD_AW_20 zeigen ein erhöhtes Potenzial (Abb. 118)²⁹⁷. Diese Strategien tragen zu einer Verbesserung der Wärmespeicherfähigkeit der an den Außenraum angrenzenden Bauteile bei und somit zu einer signifikanten Energieeinsparung und Verbesserung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas.

Der U-Wert der Außenwand verringert sich unter Strategieanwendung K_BD_AW_15 um 19,0 [%] - Differenz von 0,54 [W/(m².K)], unter der Strategieanwendung K_BD_AW_20 sogar um 32,1 [%] entsprechend einer Differenz von 0,91 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert Außenwand im Ist-Zustand von 2,84 [W/(m².K)] (Tab. 29)²⁹⁸. Das bedeutet, dass der Wärmeverlust durch diese Strategien reduziert und aufgrund des niedrigeren U-Wertes die Wärme nicht in das Gebäude eindringen kann.

Der Energieverbrauch im Ist-Zustand bei Azimut 135° beträgt 161,79 [kWh/(m².a)], vergleichend dazu die Auswertung bei Strategieeinsatz K_BD_AW_20 AZ135° mit 145,57 [kWh/(m².a)]. Von allen untersuchten Strategien ergibt sich hier die höchste Energieeinsparung von 10,02 [%] mit gleichzeitiger Verbesserung der thermischen Behaglichkeit.

Zur Veranschaulichung wird das thermisch-raumklimatische Verhalten des Ist-Zustandes der besten Strategie K_BD_AW_20 anhand des *Psychrometric Charts* gegenübergestellt (Abb. 119 und 120)²⁹⁹. In der Auswertungstabelle wird ersichtlich, dass ausgehend vom Ist-Zustand mit einem Behaglichkeitswert von 28,3 [%] eine Steigerung auf 40,8 [%] unter Strategieeinsatz erreicht wird. Vergleichend dazu wird das Wärmeempfinden der *Casa Popular* von 71,6 [%] auf einen Wert von 57,2 [%] verringert (Tab. 40)³⁰⁰.

Der U-Wert der Bodenplatte wird durch Anwendung der Strategie K_BD_BP_15 um 14,4 [%] reduziert, mit einer Differenz von 0,39 [W/(m².K)], der U-Wert unter Strategieanwendung K_BD_BP_20 sogar um 25,5 [%] entsprechend einer Differenz von 0,69 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert der Bodenplatte im Ist-Zustand von 2,71 [W/(m².K)] (Tab. 29)³⁰¹.

²⁹⁷ Siehe Abb 118, S. 159.

²⁹⁸ Siehe Tab. 29, S. 139.

²⁹⁹ Siehe Abb. 119 und 120, S. 160.

³⁰⁰ Siehe Tab. 40, S. 160.

³⁰¹ Siehe Tab. 29, S. 139.

Die Strategien K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 zeigen unabhängig von der Gebäudeausrichtung ein durchgängiges Defizit mit einer Spanne -1,22 [%] bis zu -4,61 [%] zum Ist-Zustand auf (Abb. 118)³⁰². Die bauliche Maßnahme einer massiveren Bodenplatte trägt durch die geringeren Temperaturschwankungen zwischen Innen- und Außenraumklima zu einem Defizit bei der Wärmeabgabe aus dem Innenraum bei. Bei gleichzeitiger Erhöhung der Kühlenergiebedarfsmenge ergibt sich eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit.

Die Strategien mit dem Verschattungselement der Fenster ergeben aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in starker Abhängigkeit von der Ausrichtung des Gebäudes und der in der Klimazone auftretenden hohen Solarstrahlung ausschließlich Potenziale, bis auf ein geringes Defizit bei Ausrichtung AZ90°: starke Solarstrahlung von östlicher Richtung auf den höchsten WWR-Anteil der Gebäudefassade.

Strategie M – Material

In dem Bereich Material gibt es zwei erhöhte Potenziale (Abb. 118)³⁰³ bei den Strategien M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4. Beide Strategien haben als Maßnahme einen auf der Außenwand zusätzlich aufgetragenen Lehmputz. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Lehm-Materials reduziert den Wärmestrom der Außenwand und somit auch den U-Wert. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand unter Strategieanwendung können aus der Tabelle 34³⁰⁴ entnommen werden. Zwar ist der Einfluss dieser Strategien geringer als der im Bereich Konstruktion K_BD_AW_20 mit max. 10,02 [%] zu dem Potenzial M_AW_LP_4 mit max. 4,78 [%], jedoch weist diese Maßnahme eines Lehmputzauftrags nicht nur eine nachhaltigere und kostengünstigere Anwendung auf, sondern kann auch nach Fertigstellung im bewohnten Zustand des Hauses umgesetzt werden.

Die letzten drei Strategien hinsichtlich des Absorptionsgrades weisen einen im Bereich von 0,37 [%] bis -0,18 [%] liegenden Einfluss auf und bedürfen einer genaueren Analyse eines jeden Einzelfalles je nach Gebäudeausrichtung.

***Psychrometric Chart* für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit**

Auswahlkriterium für die trocken-warme Klimazone 07 ist dabei das aufgezeigte höchste Potenzial unter der Strategie einer massiven Außenwand von 20cm – K_BD_AW_20, unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes. Für die Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit anhand des *Psychrometric Charts* dient der Vergleich des Raumklimas des Ist-Zustandes mit dem Raumklima nach Strategieeinsatz K_BD_AW_20 (Abb. 119 und 120)³⁰⁵. Die numerischen Auswertungen bezüglich der Behaglichkeit, der Unbehaglichkeit und des Kälte- und Wärmeempfindens sind in Tab. 40³⁰⁶ dargestellt.

³⁰² Siehe Abb. 118, S. 159.

³⁰³ Siehe Abb. 118, S. 159.

³⁰⁴ Siehe Tab. 34, S. 146.

³⁰⁵ Siehe Abb. 119 und Abb. 120, S. 160.

³⁰⁶ Siehe Tab. 40, S. 160.

Auswertungen Klimazone 07 Kühlenergiebedarf																
Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN	MAX	Δ Strategie	
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	162,09	162,28	159,92	161,79	160,51	161,40	161,59	162,48	159,92	162,48	-1,57%	
				Ist-Zustand [%]	-1,33%	-1,45%	0,00%	-1,15%	-0,37%	-1,03%	-1,57%	0,00%	0,00%	-1,57%	0,00%	-1,57%
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D80_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	162,68	162,68	160,12	161,69	161,10	161,40	161,10	162,48	160,12	162,68	-1,57%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,36%	-0,24%	-0,12%	0,06%	-0,37%	0,30%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,12%	-0,12%	
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	162,48	161,89	160,22	162,58	161,30	161,69	160,51	160,91	160,91	160,22	162,58	-1,45%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,24%	0,24%	-0,19%	-0,49%	-0,49%	0,67%	0,87%	0,87%	0,87%	-0,18%	-0,06%	
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	162,77	162,18	160,22	161,89	161,00	161,00	160,81	162,09	162,09	160,22	162,77	-1,57%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,42%	0,06%	-0,19%	-0,06%	-0,31%	0,49%	0,49%	0,49%	0,49%	-0,18%	-0,18%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,30	162,28	161,50	161,59	160,12	161,59	162,97	162,88	162,88	160,12	162,97	-1,75%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,49%	0,00%	-0,98%	0,12%	0,24%	-0,12%	-0,86%	-0,06%	-0,06%	-0,12%	-0,30%		
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	153,93	154,42	154,32	153,44	151,18	152,85	152,85	152,36	151,18	154,42	-2,10%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,03%	4,85%	3,50%	5,16%	5,82%	5,30%	5,41%	6,23%	6,23%	5,47%	4,96%	
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	147,15	149,41	146,95	145,57	145,38	147,24	147,74	148,23	145,38	149,41	-2,70%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	9,22%	7,93%	8,11%	10,02%	9,43%	8,77%	8,58%	8,77%	8,77%	9,10%	8,05%	
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	165,33	165,43	163,17	164,74	163,56	164,45	163,56	165,62	163,17	165,62	-1,48%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-2,00%	-1,94%	-2,03%	-1,82%	-1,90%	-1,89%	-1,22%	-1,94%	-1,22%	-1,94%	-2,03%	
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	167,59	167,79	167,30	167,00	165,72	166,61	165,72	167,68	167,68	165,72	167,89	-1,29%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-3,40%	-3,59%	-4,61%	-3,22%	-3,25%	-3,25%	-2,55%	-3,53%	-3,53%	-3,63%	-3,33%	
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,79	161,89	160,22	161,40	160,22	161,10	160,91	161,99	161,99	160,22	161,99	-1,09%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-0,19%	0,24%	0,18%	0,19%	0,43%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,79	161,89	160,22	161,40	160,22	161,10	160,91	161,99	161,99	160,22	161,99	-1,09%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-0,19%	0,24%	0,18%	0,19%	0,43%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,79	161,89	161,79	161,79	160,51	161,40	161,10	162,09	162,09	160,51	162,09	-0,97%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-1,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,24%	0,24%	0,24%	-0,37%		
M - Material	Außenwand	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	156,25	159,04	159,33	157,76	155,30	157,56	157,96	158,65	155,30	159,33	-2,53%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	2,37%	2,00%	0,37%	2,49%	3,25%	2,38%	2,25%	2,36%	2,36%	2,89%	1,94%	
	Außenwand	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	155,11	155,50	155,50	154,52	153,34	154,03	154,91	154,71	153,34	155,50	-1,39%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	4,31%	4,18%	2,77%	4,50%	4,77%	4,14%	4,78%	4,78%	4,12%	4,30%		
	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,59	162,18	159,53	161,20	160,12	160,81	161,00	161,89	161,89	159,53	162,18	-1,64%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,30%	0,06%	0,25%	0,36%	0,24%	0,37%	0,36%	0,36%	0,36%	0,25%	0,18%	
Außenwand	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	161,89	162,48	159,73	161,50	160,32	161,10	161,40	162,28	162,28	159,73	162,48	-1,69%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	-0,12%	0,12%	0,18%	0,12%	0,18%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%		
Außenwand	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	162,09	162,58	159,92	161,79	160,51	161,30	161,59	162,48	162,48	159,92	162,58	-1,63%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	-0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		

Tab. 39 Energieverbrauch KEB Min und Max [kWh/(m².a)] und Differenz zum Ist-Zustand [%]

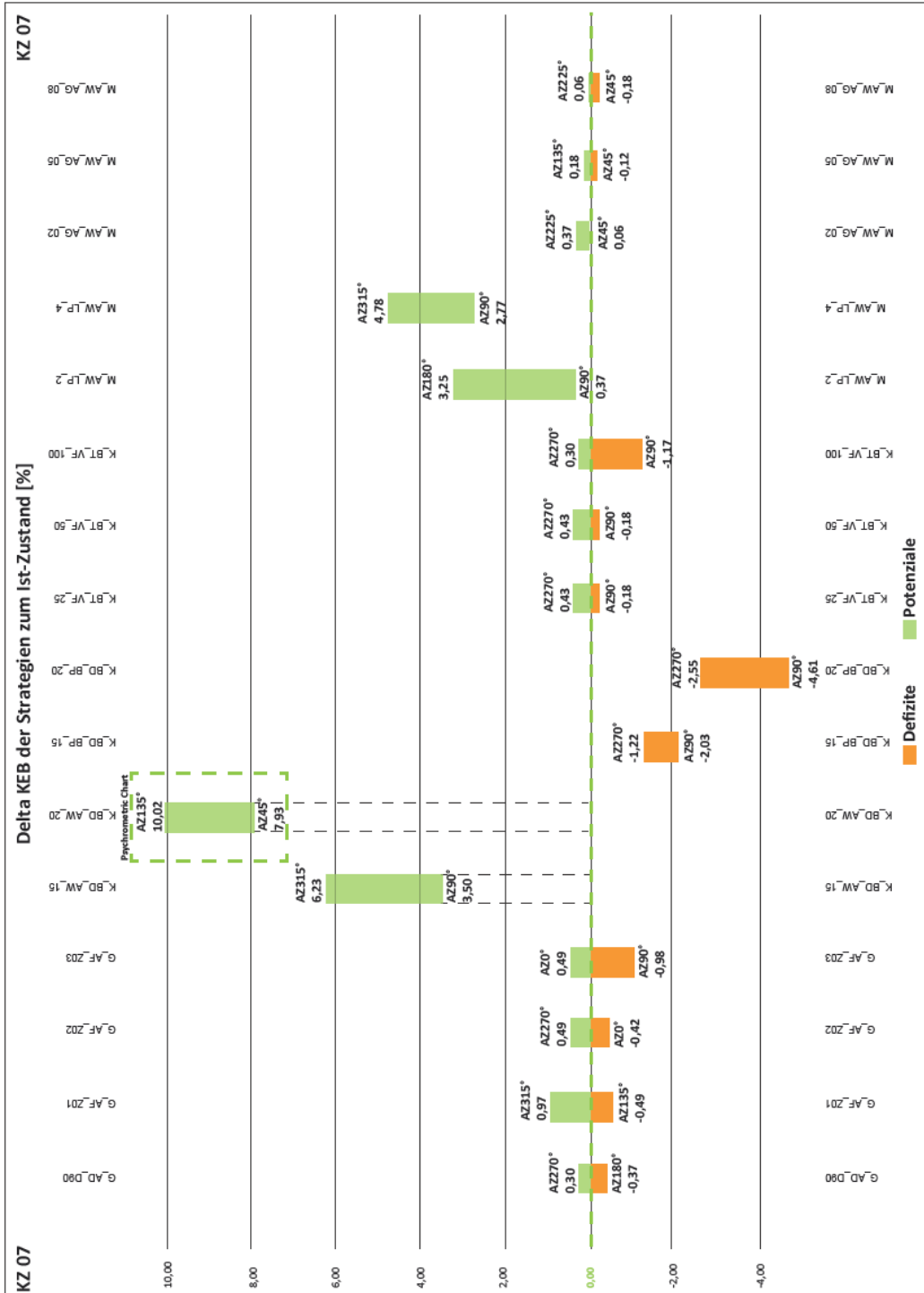


Abb. 118 Delta-Wert: Potenzial/ Einsparung und/oder Defizit/Mehrverbrauch [%]

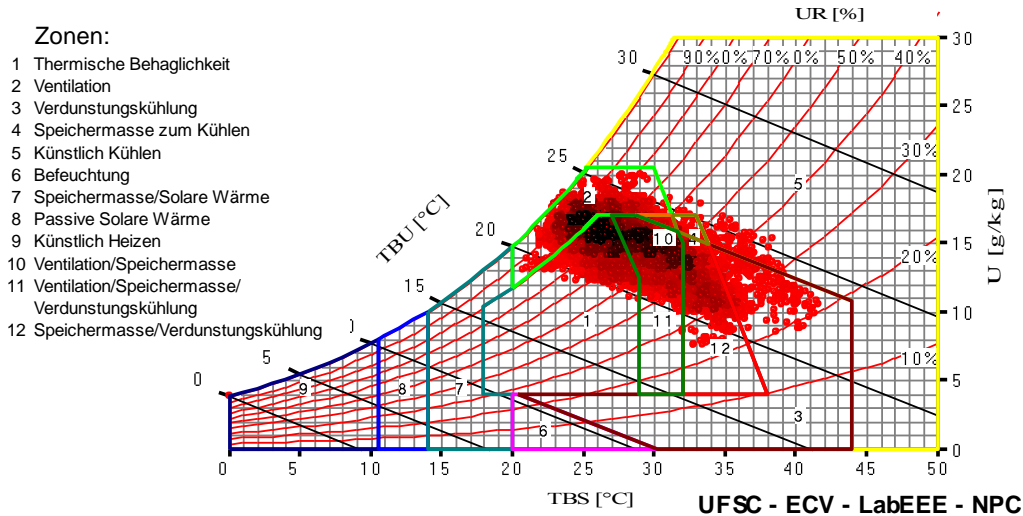


Abb. 119 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular G_AG_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

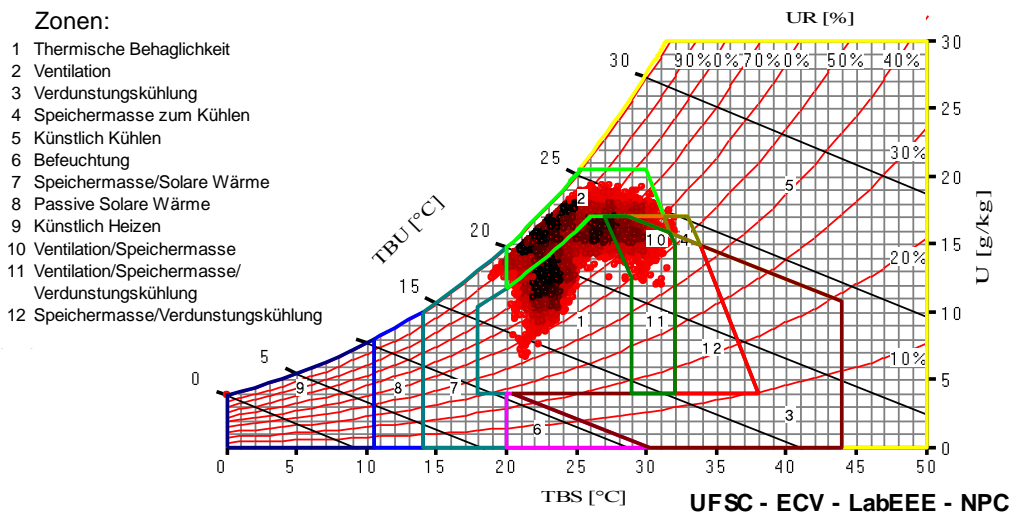


Abb. 120 Jahresauswertung Psychrometric Chart Strategie K_BD_AW_20_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Klimazone 07:	Raumklima Casa Popular:	Raumklima K_BD_AW_20_AZ:
Behaglichkeit: 43,3 %	Behaglichkeit: 28,3 %	Behaglichkeit: 40,8 %
Unbehaglichkeit: 56,7 %	Unbehaglichkeit: 71,7 %	Unbehaglichkeit: 59,2 %
Kälteempfinden: 4,41 %	Kälteempfinden: 0,01 %	Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 52,37 %	Wärmeempfinden: 71,6 %	Wärmeempfinden: 57,2 %

Tab. 40 Vergleich zwischen Raumklima der Casa Popular im Ist-Zustand mit dem Raumklima der Casa Popular unter Anwendung der Strategie K_BD_AW_20_AZ

3.4.5 Klimazone 08

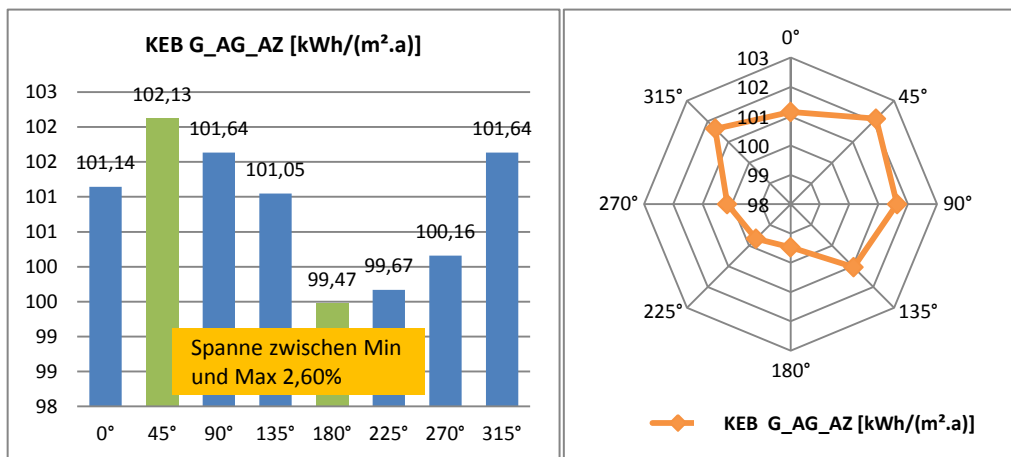
Die Referenzstadt der Klimazone 08 ist Recife, Bundesland Pernambuco. Die Auswertungen dieser warm-feuchten Klimazone weisen ähnlich der Klimazone 07 ausschließlich Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m²a)] auf.

Kühlenergiebedarf: Strategie Gebäudeausrichtung

In Tabelle 41 sind die Verbrauchsschwankungen des jährlichen Kühlenergiebedarfs (KEB) abhängig von der Gebäudeausrichtung dargestellt. Insgesamt wurde der KEB für acht Ausrichtungen ermittelt. Der minimale KEB-Verbrauch liegt bei Azimut 180°. Der maximale KEB-Verbrauch ergibt sich bei Azimut 45°.

Allein durch die Ausrichtung des Gebäudes und ohne Strategieeinsatz kann ein bestmögliches Energieeinsparpotenzial von bis zu 2,60 [%] erreicht werden.

Die thermische Behaglichkeit des Innenraumklimas liegt im Ist-Zustand der *Casa Popular* bei 40,6 [%] mit einer Unbehaglichkeit bei 59,4 [%]. Bei den Auswertungen ergeben sich dadurch ein Wärmempfinden von 59,4 [%] und ein zu vernachlässigendes Kälteempfinden von 0,01 [%] (Tab. 43)³⁰⁷.



Tab. 41 Verbrauch KEB – Kühlenergiebedarf im Jahr [kWh/(m²a)]

Kühlenergiebedarf: Strategien Gebäude, Konstruktion und Material

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden auch für die Klimazone 08 die Auswertungen des Kühlenergiebedarfs für die *Casa Popular* unter Strategieeinsatz mit den möglichen Spannweiten [%] im Bezug zum Ist-Zustand für den Mehr- oder Minderverbrauch dargestellt (Tab. 42)³⁰⁸.

Bei den Auswertungen nach Strategieeinsatz ergeben sich folgende Ergebnisse:

³⁰⁷ Siehe Tab. 43, S. 166.

³⁰⁸ Siehe Tab. 42, S. 164.

Strategie G – Gebäude

Die Strategien der Ausrichtung Dach und Fenster ergeben sowohl Potenziale als auch Defizite. Das bedeutet zum einen Energieeinsparung und/oder –Mehrverbrauch, sowie eine Verbesserung und/oder Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas. Insbesondere bei der baulichen Maßnahme der unterschiedlichen Fensterpositionierungen zeigt sich ein Einfluss-Spektrum zwischen -1,19 und +1,28 [%].

Aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in starker Abhängigkeit von der Ausrichtung ergeben sich dadurch Potenziale und Defizite und es bedarf einer genaueren Analyse eines jeden Einzelfalles, um positives Nutzen aus der Strategie zu gewinnen und eine negative Auswirkung zu vermeiden.

Strategie K – Konstruktion

Fünf von sieben Strategien weisen unabhängig von der Ausrichtung des Gebäudes durchgehend eine positive Auswirkung zur Verringerung des Kühlenergiebedarfs und der Verbesserung des Raumklima-Komforts auf.

Wie schon bei der Klimazone 07 zeigen die beiden Strategien K_BD_AW_15 und K_BD_AW_20 das höchste Potenzial auf (Abb. 121)³⁰⁹. Tabelle 29³¹⁰ zeigt die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand der *Casa Popular* im Ist-Zustand im Vergleich zu den U-Werten unter Strategieanwendung einer massiveren Außenwand. Der niedrigere U-Wert reduziert den Wärmeverlust und schützt das Gebäude bei beiden Maßnahmen vor einer Überhitzung.

Der geringste Kühlenergiebedarf liegt im Ist-Zustand bei Azimut 180° bei 99,47 [kWh/(m².a)], vergleichend dazu die Auswertung bei Strategieeinsatz K_BD_AW_20 AZ180° mit 86,30 [kWh/(m².a)] mit der maximalen Energieeinsparung von 13,24 [%]. Um dieses beste Potenzial ausschöpfen zu können, sollte diese bauliche Maßnahme vorab bei der Planung berücksichtigt werden.

Die Strategien K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20 zeigen unabhängig von der Gebäudeausrichtung ein durchgängiges Defizit zum Ist-Zustand auf (Abb. 121)³¹¹. Der Amplitudenverlauf der Außenlufttemperaturen von Klimazone 08 ist konstanter als bei Klimazone 07 (vergleiche dazu Abb. 50 und 55)³¹², sodass die Auswirkung der Strategien einer massiven Bodenplatte mit einer Spanne von -5,92 [%] bis zu -13,02 [%] ein höheres Defizit im Vergleich zur vorherigen Klimazone 07 aufzeigen. Die bauliche Maßnahme einer massiveren Bodenplatte trägt durch die geringeren Temperaturschwankungen zwischen Innen- und Außenraumklima zu einem Defizit bei der Wärmeabgabe aus dem Innenraum bei und kann zu einer Überhitzung des Gebäudeinneren führen.

Die Strategien mit den Verschattungselementen der Fenster ergeben aufgrund der unterschiedlichen WWR-Anteile der Gebäudefassaden in starker Abhängigkeit von der Ausrichtung und der in dieser Klimazone auftretenden hohen Solarstrahlung ausschließlich Potenziale, bis auf ein bei AZ135° auftretendes geringes Defizit unter Strategie K_BT_VF_100: starke Solarstrahlung aus östlicher Richtung mit einer ungünstigen Positionierung der WWR-Anteile der Gebäudefassade.

³⁰⁹ Siehe Abb. 121, S. 165.

³¹⁰ Siehe Tab. 29, S. 139.

³¹¹ Siehe Abb. 121, S. 165.

³¹² Siehe Abb. 50, S. 52 und Abb. 55, S. 55.

Strategie M – Material

Wie schon bereits in der Klimazone 07 beschrieben, gibt es ebenfalls in der Klimazone 08 im Bereich Material zwei erhöhte Potenziale (Abb. 121)³¹³, bei Strategie M_AW_LP_2 und M_AW_LP_4. Zwar ist der Einfluss dieser Strategien geringer als der im Bereich Konstruktion K_BD_AW_20 mit max. 13,24 [%] Potenzial zur Strategie M_AW_LP_4 mit max. 6,82 [%] Potenzial, jedoch weist diese Maßnahme eines Lehmputzauftrags nicht nur eine nachhaltigere und kostengünstigere Anwendung auf, sondern kann auch nach Fertigstellung im bewohnten Zustand des Hauses umgesetzt werden.

Zur Veranschaulichung wird das thermisch-raumklimatische Verhalten des Ist-Zustandes der Strategie K_M_LP_4 anhand des *Psychrometric Charts* gegenübergestellt (Abb. 122 und 123)³¹⁴. Durch die Auswertungstabelle wird ersichtlich, dass ausgehend vom Ist-Zustand der Casa Popular mit einem Behaglichkeitswert von 40,6 [%] eine Steigerung auf 48,51 [%] unter Strategieeinsatz erreicht wird. Vergleichend dazu wird das Wärmeempfinden von 59,4 [%] auf einen Wert von 50,89 [%] verbessert (Tab. 43)³¹⁵.

Die letzten drei Strategien weisen hinsichtlich der drei Absorptionsgrade eine Spanne von 0,56 [%] bis -0,20 [%] auf und bedürfen einer genaueren Analyse eines jeden Einzelfalles je nach Gebäudeausrichtung.

Psychrometric Chart für die Auswertung der thermischen Behaglichkeit

Statt die optimalen Strategiepotenziale einer massiven Bodenplatte zu berücksichtigen, wie schon bei Klimazone 01 und 07 ausgewertet³¹⁶, diene als Auswahlkriterium für diese warm-feuchte Klimazone 08 die Strategie mit einem wirtschaftlich günstigen, einem vor Ort leicht anzutreffenden Material (Lehm) und einer vor allem nach Fertigstellung anwendbaren Maßnahme des Lehmputzauftrags von 4,0 cm Dicke.

Die Klimazone 08 erstreckt sich mit dem höchsten Klimazonen-Flächenanteil nicht nur auf das Gebiet des nördlichen Amazonas, sondern auch auf die gesamte nordöstliche Küste Brasiliens. Mit insgesamt 430 Tsd. in dieser Klimazone schon fertiggestellten Wohneinheiten, im Vergleich zu 1,69 Mio. (Stand 2014)³¹⁷ in ganz Brasilien, sollten die auch im bewohnten Zustand anwendbaren Strategien mit besonderer Relevanz berücksichtigt werden.

Für die Veranschaulichung der thermischen Behaglichkeit anhand des *Psychrometric Charts* dient der Vergleich des Raumklimas des Ist-Zustandes mit dem Raumklima nach Strategieeinsatz M-AW_LP_4 (Abb. 125 und 126)³¹⁸. Die numerischen Auswertungen bezüglich der Behaglichkeit, der Unbehaglichkeit und des Kälte- und Wärmeempfindens sind in Tab. 34 dargestellt.

Der geringste Energieverbrauch im Ist-Zustand ergibt sich bei AZ 180° mit 99,47 [kWh/(m²a)]. Das höchste Potenzial der Strategie M_AW_LP_4 ergibt sich bei gleicher Ausrichtung mit 92,69 [kWh/(m²a)], also 6,78 [kWh/(m²a)] weniger bzw. 6,82 [%] Potenzial, bezogen auf den Ist-Zustand (Tab. 34)³¹⁹.

³¹³ Siehe Abb. 121, S. 165.

³¹⁴ Siehe Abb. 122 und Abb. 123, S. 166.

³¹⁵ Siehe Tab. 43, S. 166.

³¹⁶ Siehe Klimazone 01 Abb. 110, S. 141 und Klimazone 07 Abb. 118, S. 159.

³¹⁷ CAIXA - Minha Casa Minha Vida prevê a entrega de 2 milhões de casas até o fim do ano"; Abrufbar unter: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>; Datum:06.06.2014, Abrufdatum:31.07.2014.

³¹⁸ Siehe Abb. 125 und Abb. 126, S. 165.

³¹⁹ Siehe Tab. 42, S. 164.

Auswertungen Klimazone 08 Kühlenergiebedarf																	
Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN	MAX	Δ Strategie		
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimut 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,14	102,13	101,64	101,05	99,47	99,67	100,16	101,64	99,47	102,13	-2,60%		
				Ist-Zustand [%]	-1,65%	-2,60%	-2,13%	-1,56%	0,00%	-0,20%	-0,69%	-2,13%	0,00%	-2,60%	-2,60%		
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D80_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,83	102,13	100,95	101,05	100,16	99,67	99,47	101,73	99,47	102,13	-2,60%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,58%	0,00%	0,68%	0,00%	-0,69%	0,00%	0,69%	-0,10%	0,00%	0,00%	-2,60%		
	G - Gebäude	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,34	101,83	100,85	101,54	100,65	100,06	99,37	101,05	99,37	101,83	-2,41%	
					Differenz Ist-Zustand [%]	-0,19%	0,29%	0,77%	-0,49%	-1,19%	-0,39%	0,79%	0,58%	-0,39%	0,29%	-2,41%	
Ausrichtung Fenster		Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,64	101,83	101,24	101,24	100,36	99,57	98,88	100,75	98,88	101,83	-2,90%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,49%	0,29%	0,39%	-0,19%	-1,09%	0,10%	-0,87%	0,10%	0,29%	-0,87%	-2,90%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	100,16	101,64	102,13	100,85	99,18	99,87	101,05	101,34	99,18	102,13	99,18	102,13	-2,88%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,97%	0,48%	-0,48%	0,19%	0,30%	-0,20%	-0,88%	0,29%	0,30%	0,00%	-0,88%	0,29%	-2,88%	
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	93,77	94,46	94,17	93,18	91,71	92,00	92,89	94,07	91,71	94,46	-2,91%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	7,29%	7,51%	7,35%	7,78%	7,81%	7,69%	7,26%	7,45%	7,26%	7,45%	7,81%	7,51%	-2,91%
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	88,76	89,25	88,76	87,78	86,30	86,79	87,58	89,35	86,30	89,35	-3,41%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	12,24%	12,61%	12,67%	13,13%	13,24%	12,92%	12,56%	12,09%	13,24%	12,56%	13,24%	12,51%	-3,41%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	108,42	109,50	108,91	108,12	106,35	106,94	107,43	109,01	106,35	109,50	-2,87%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-7,19%	-7,22%	-7,16%	-7,00%	-6,82%	-7,30%	-7,26%	-7,25%	-6,82%	-7,25%	-7,22%	-7,22%	-2,87%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	114,32	115,10	114,61	113,43	111,37	112,35	113,14	114,51	111,37	115,10	111,37	115,10	-3,25%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-13,02%	-12,70%	-12,77%	-12,26%	-11,96%	-12,72%	-12,95%	-12,67%	-11,96%	-12,72%	-12,67%	-11,96%	-12,70%
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	100,85	101,83	101,24	100,65	99,28	99,57	99,96	101,24	99,28	101,83	99,28	101,83	-2,51%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,39%	0,39%	0,20%	0,10%	0,20%	0,39%	0,20%	0,20%	0,29%	0,20%	0,29%
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	100,85	101,83	101,24	100,65	99,28	99,57	99,96	101,24	99,28	101,83	99,28	101,83	-2,51%
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,39%	0,39%	0,20%	0,10%	0,20%	0,39%	0,20%	0,20%	0,29%	0,20%	0,29%
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	100,85	101,83	101,14	101,14	99,47	99,67	100,06	101,24	99,47	101,83	99,47	101,83	-2,32%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,48%	-0,10%	0,00%	0,00%	0,10%	0,39%	0,00%	0,10%	0,39%	0,00%	0,29%	-2,32%
M - Material	Außenwand	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	97,70	98,29	98,39	97,02	95,74	96,23	96,82	98,00	95,74	98,39	-2,70%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	3,40%	3,75%	3,19%	3,99%	3,75%	3,45%	3,34%	3,58%	3,75%	3,66%	3,75%	3,66%	-2,70%
	Außenwand	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	94,76	95,44	95,15	94,17	92,69	92,99	93,87	95,05	92,69	95,44	-2,88%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	6,32%	6,54%	6,38%	6,81%	6,28%	6,71%	6,28%	6,48%	6,32%	6,54%	6,82%	6,54%	-2,88%
	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,24	101,54	101,64	101,14	99,57	99,87	99,96	101,64	99,57	101,64	99,57	101,64	-2,03%
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,10%	0,58%	0,00%	-0,10%	-0,10%	-0,20%	0,20%	0,00%	-0,10%	0,20%	0,00%	-0,10%	0,48%
Außenwand	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,24	102,13	101,64	101,14	99,47	99,67	100,06	101,64	99,47	102,13	99,47	102,13	-2,60%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,10%	0,00%	0,00%	-0,10%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%
Außenwand	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m².a)]	101,14	102,13	101,64	101,14	99,47	99,67	100,16	101,64	99,47	102,13	99,47	102,13	-2,60%	
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%

Tab. 42 Energieverbrauch KEB Min und Max [kWh/(m².a)] und Differenz zum Ist-Zustand [%]

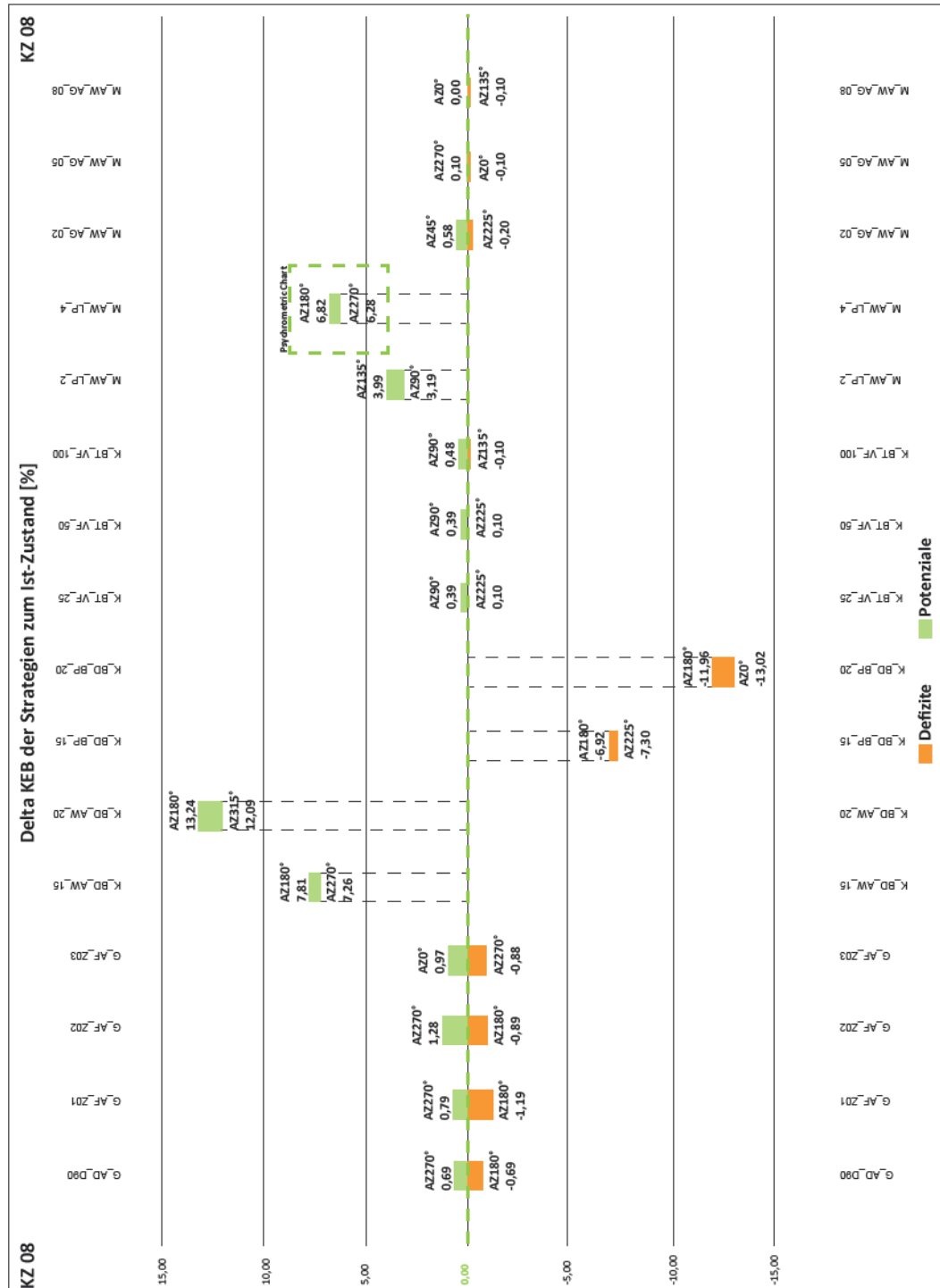


Abb. 121 Delta-Wert: Potenzial/ Einsparung und/oder Defizit/Mehrverbrauch [%]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

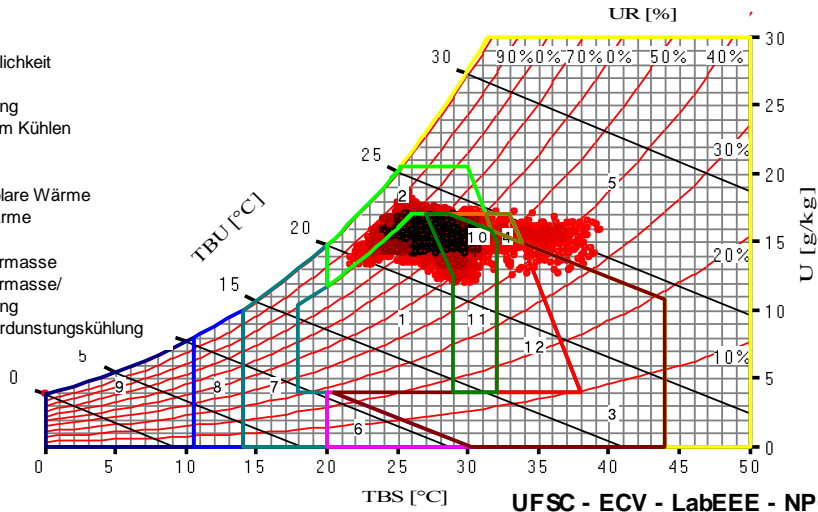


Abb. 122 Jahresauswertung Psychrometric Chart Casa Popular G_AG_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Zonen:

- 1 Thermische Behaglichkeit
- 2 Ventilation
- 3 Verdunstungskühlung
- 4 Speichermasse zum Kühlen
- 5 Künstlich Kühlen
- 6 Befeuchtung
- 7 Speichermasse/Solare Wärme
- 8 Passive Solare Wärme
- 9 Künstlich Heizen
- 10 Ventilation/Speichermasse
- 11 Ventilation/Speichermasse/
Verdunstungskühlung
- 12 Speichermasse/Verdunstungskühlung

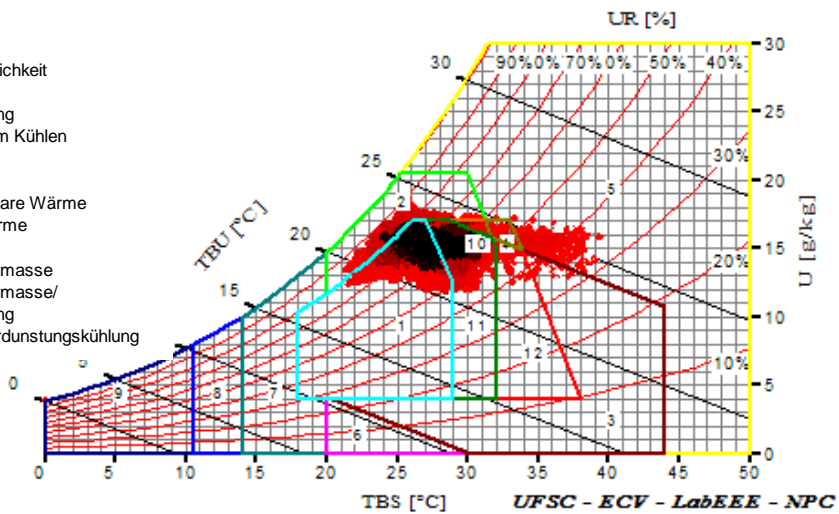


Abb. 123 Jahresauswertung Psychrometric Chart Strategie M_AW_LP_4_AZ [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]

Aussenklima Klimazone 08:	Raumklima Casa Popular:	Raumklima M_AW_LP_4_AZ:
Behaglichkeit: 42,8 %	Behaglichkeit: 40,6 %	Behaglichkeit: 48,51 %
Unbehaglichkeit: 57,2 %	Unbehaglichkeit: 59,4 %	Unbehaglichkeit: 51,49 %
Kälteempfinden: 0,23 %	Kälteempfinden: 0,01 %	Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 57,02 %	Wärmeempfinden: 59,4 %	Wärmeempfinden: 50,89 %

Tab. 43 Vergleich zwischen Raumklima der Casa Popular im Ist-Zustand mit dem Raumklima der Casa Popular unter Anwendung der Strategie M_AW_LP_4_AZ

4 Schlussfolgerung

4.1 Casa Popular – Strategiewertungen

Die Ergebnisse der Gebäudesimulationen unter Betrachtung der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas zum Energieverbrauch der *Casa Popular* basieren auf den folgenden Annahmen:

- jede Strategie ist in ihrer Anwendung eine Einzelmaßnahme und wird unter gleichen Eingangsparametern simuliert, analysiert und ausgewertet;
- im Vergleich der Ausgabewerte – *outputs* – und im Sinne einer bestmöglichen Bilanzierung wird eine identische Gebäudeausrichtung vorausgesetzt;
- die schrittweise definierten Gebäudeausrichtungen werden einzeln in Betracht gezogen, um eine bestmögliche Positionierung zu erzielen und gleichzeitig ein mögliches Potenzial durch die Ausrichtung in jeder Planungsphase einzubringen.

Die in dieser Forschungsarbeit untersuchten passiven Strategiemeasures wurden für vier repräsentativ ausgewählte Klimazonen Brasiliens analysiert und ausgewertet, um eine Entscheidungsfindung hinsichtlich einer energetisch- und thermisch-effizienten Vorgehensweise zu treffen oder, bei einer negativen Auswirkung, die Strategie für eine bestimmte Klimazone entsprechend auszuschließen. Die grafische Darstellung der Tabelle 44³²⁰ zeigt die positive oder negative Tendenz der durch die Strategien angewendeten Maßnahmen. Farblich sind die Potenziale und Defizite unterschiedlich dargestellt. Innerhalb der jeweiligen Klimazone und der dazugehörigen Strategie erfolgt eine Aufteilung des Feldes in acht Segmente, die den acht verschiedenen Gebäudeausrichtungen entsprechen. Mit dieser Auswertung kann man die Beziehung zwischen Ausrichtung - Potenzial bzw. Ausrichtung - Defizit erkennen und quantitativ abschätzen.

Für die Schlussfolgerung einer möglichen Strategiewahl dienen die Abbildungen (Abb. 110, 113, 114, 118 und 121)³²¹ mit den Spannweiten der minimalen und maximalen Einflussgrößen, mit denen die Potenziale und Defizite am besten zu interpretieren sind. Nachfolgend sollen für die einzelnen Strategien wichtige Rückschlüsse zur Einsetzbarkeit erklärt werden.

Strategie G – Gebäude

Ausrichtung Gebäude

Bei Klimazone 01 liegt der Heizwärmebedarf in einer Spanne von bis zu maximal 2,59 [%] mit einem maximalen Einsparungspotenzial von 9,14 [kWh/(m².a)], bezogen auf die Ausgangssituation des Ist-Zustandes mit dem höchsten Verbrauch.

Bei der Klimazone 03 mit Heiz- und Kühlenergiebedarf muss das sich durch die Strategie ergebende Potenzial [%] in Bezug zum absoluten Energieverbrauch [kWh/(m².a)] gesetzt werden. Ein scheinbar prozentual hohes Potenzial beim Kühlenergiebedarf von 13,51 [%] bedeutet in diesem Fall eine nur geringe Ersparnis von 0,98 [kWh/(m².a)]. Vergleichend dazu ergibt sich für dieselbe Klimazone bezüglich Heizwärmebedarf in einer scheinbar geringen Spanne von maximal 3,85 [%] das höhere Einsparungspotenzial von bis zu 3,15 [kWh/(m².a)].

³²⁰ Siehe Tab. 44, S. 170.

³²¹ Siehe dazu Klimazone 01 HWB mit Abb. 110, S. 141, Klimazone 03 HWB mit Abb. 113, S. 148, Klimazone 03 KEB mit Abb. 114, S. 152, Klimazone 07 KEB mit Abb. 118, S. 159 und Klimazone 08 mit Abb. 121, S. 165.

Ausrichtung Dach

Die Strategie einer festen Dachausrichtung zeigt nur in Klimazone 01 ein von der Gebäudeausrichtung unabhängiges Potenzial auf. Durch die 90°-Drehung des Satteldachs mit dem entgegengesetzt geneigten Dachflächen wird die waagerechte Giebelseite auf die längere Seite des rechtwinkligen Gebäudes positioniert. Somit erhält die kürzere Gebäudeseite den kleineren Dachflächenanteil und die Längsfassaden mehr Außenwandflächenanteile. Dadurch wird eine größere Wärmespeicherung in den Außenwänden erreicht.

In den übrigen Klimazonen hat die Ausrichtung einen geringen Einfluss auf den Energieverbrauch, so dass man für eine Entscheidungsfindung die Auswertung jeder einzelnen Position betrachten muss.

Ausrichtung Fenster

Die Strategie einer Fensterpositionierung der Raumzonen 01, 02 oder 03 hat bei:

- Klimazone 01 für HWB eine Spanne von -0,5 bis +0,5 [%];
- Klimazone 03 für HWB eine Spanne von -0,75 bis +0,75 [%] und für KEB von -3,08 bis +2,74 [%];
- Klimazone 07 für KEB eine Spanne von -0,98 bis +0,97 [%] und
- Klimazone 08 für KEB eine Spanne von -1,19 bis +1,28 [%].

Die Spannweiten bewegen sich im positiven und negativen Bereich mit relativ großen Ausschlägen. Eine Strategianwendung hat eine direkte Auswirkung auf eine Einsparung oder einen Mehrverbrauch an Energie in Abhängigkeit von der Gebäudeausrichtung.

Durch die Änderung der Fensterpositionierung in den einzelnen Räumen ergeben sich von außen wirkende Einflussfaktoren wie Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge, usw., die die Temperatur der Gebäudehülle beeinflussen können.

Strategie K – Konstruktion

Bauteildicke Außenwand

Die Spannweite der Strategie der Bauteildicke der Außenwand bewegt sich bei:

- Klimazone 01 für HWB von -0,48 bis +0,17 [%];
- Klimazone 03 für HWB von +4,69 bis +8,64 [%] und für KEB von +27,40 bis +46,15 [%];
- Klimazone 07 für KEB von +3,50 bis +10,02 [%] und
- Klimazone 08 für KEB von +7,26 bis +13,24 [%].

Die Strategie K_BD_AW_15 zeigt eine für alle Klimazonen durchgängig positive Auswirkung einer Verbesserung des Raumklima-Komforts und einer Verringerung des Energieverbrauchs, insbesondere für die nach Norden wärmer werdenden Klimazonen 03, 07 und 08.

Für Klimazone 01 ergibt sich vom Ergebnis her ein scheinbar geringer Wert, der aber durch die hohen Verbrauchswerte an Heizwärmeenergie entsprechend als bedeutende Verbesserung in die Auswertung eingeht.

Die Strategie K_BD_AW_20 zeigt für fast alle Klimazonen eine positive Auswirkung auf eine Verbesserung des Raumklima-Komforts und eine Verringerung des Energieverbrauchs. Bei der Klimazone 01 ergibt sich jedoch für alle Gebäudeausrichtungen eine negative Auswirkung mit einem entsprechenden Mehrverbrauch an Heizenergie.

Für die Klimazonen mit Kühlenergiebedarf empfehlen sich ausschließlich Außenwände mit einem niedrigen U-Wert, damit die Wärme aufgrund der Phasenverschiebung verlangsamt in den Innenraum gelangt und nicht zu einer Überhitzung führt.

Bauteildicke Bodenplatte

Die sich positiv auswirkende Spannweite der Strategie Bauteildicke Bodenplatte bewegt sich bei:

- Klimazone 01 für HWB von +12,61 bis +21,70 [%] und
- Klimazone 03 für HWB von +4,74 bis +8,89 [%].

In der kalt-gemäßigten Klimazonen 01 und der gemäßigten Klimazone 03 wirkt sich die Strategie der Bauteildicke Bodenplatte (K_BD_BP_15 und K_BD_BP_20) - im Gegensatz zur Strategie Bauteildicke Außenwand - positiv für eine Verringerung des Heizwärmebedarfs und einer Verbesserung des Raumklima-Komforts aus.

Während ein kleinerer U-Wert der Bodenplatte in den Klimazonen 01 und 03 zu geringeren Wärmeverlusten führt und damit die Wärme im Gebäude verbleibt, ergibt sich bei den wärmeren Klimazonen 07 und 08 trotz kleinerem U-Wert zum Ist-Zustand ein hoher Kühlenergieverbrauch mit einer Zunahme der Unbehaglichkeit beim Innenraumklima.

Die sich negativ auswirkende Spannweite der Strategie Bauteildicke Bodenplatte bewegt sich bei:

- Klimazone 03 für KEB von -12,16 bis -23,61 [%];
- Klimazone 07 für KEB von -1,22 bis -4,61 [%] und
- Klimazone 08 für KEB von -6,92 bis -13,02 [%].

In allen Auswertungen ergeben sich unter obiger Strategieanwendung die größten Potenziale und Defizite, bzw. Spannweiten im positiven oder negativen Bereich. Das bedeutet, dass diese bauliche Maßnahme bei der Planung mit besonderer Gewichtung zu berücksichtigen ist.

Bauteil Verschattung Fenster

Die Strategie von Verschattungsmaßnahmen wirken sich in der kalt-gemäßigten Klimazonen 01 und der gemäßigten Klimazone 03 durchgängig mit einer Verbesserung des Raumklima-Komforts und einer Verringerung des Energieverbrauchs aus. Jedoch sollte man bei diesen Klimazonen darauf achten, dass die Vordachlänge nicht zum Hindernis der solaren Wärmeenergieeinträge wird, wie der Fall des Verschattungselements mit 100cm Länge für die Heizperiode in Klimazone 01 und 03 aufzeigt. Für die Kühlperiode der Klimazone 03 und 08 haben die Verschattungselemente positive Auswirkungen und sollten bei der Planung berücksichtigt werden.

In der warm-trockenen Klimazone 07 bewegen sich die Spannweiten der Verschattungsmaßnahmen im positiven und negativen Bereich mit relativ großen Ausschlägen und haben dadurch einen bedeutenden Einfluss auf eine Einsparung oder einen Mehrverbrauch an Kühlenergie. Das Zusammenspiel der Gebäudeausrichtung, der Solarstrahlungsintensität und dem Sonneneinfallswinkel muss Gegenstand von Untersuchungen werden, um durch zu optimierende Verschattungsmaßnahmen einer Gebäudeüberhitzung entgegenzuwirken.

Strategie M – Material

Außenwand Material

Der Einsatz des in Brasilien überall in der Natur vorkommenden Lehmmaterials bzw. die Aufbringung eines Lehmputzes ist eine besonders effiziente, nachhaltige und zudem auch noch kostengünstige Maßnahme, die in der Planung zu berücksichtigen ist und auch nach Fertigstellung des Gebäudes noch angewendet werden kann. Für alle Klimazonen konnten bei dieser Strategieanwendung durchgehend positive Auswirkungen aufgezeigt werden. Die Spannweite der Strategie des Materials der Außenwand bewegt sich bei:


- Klimazone 01 für HWB von +0,25 bis +0,52 [%];
- Klimazone 03 für HWB von +2,77 bis +5,51 [%] und für KEB von +15,07 bis +29,17 [%];
- Klimazone 07 für KEB von +0,37 bis +4,78 [%] und
- Klimazone 08 für KEB von +1,19 bis +6,82 [%].


Die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Lehm-Materials wirkt wie ein natürliches Dämmmaterial, reduziert den Wärmestrom und damit den U-Wert der Außenwand. Durch diese Strategie wird der Wärmeverlust sowohl in der Heiz- als auch in der Kühlperiode reduziert. Der U-Wert der Außenwand der Strategie M_AW_LP_2 reduziert sich um 8,45 [%] - Differenz von 0,24 [W/(m².K)]; der U-Wert der Strategie M_AW_LP_4 verringert sich sogar um 15,8 [%] mit der Differenz von 0,45 [W/(m².K)] – ausgehend vom U-Wert der Außenwand im Ist-Zustand mit 2,84 [W/(m².K)].

Außenwand Absorptionsgrad

Die Strategien M_AW_AG_02, M_AW_AG_05 und M_AW_AG_08 ergeben keine relevanten Aussagen zur Strategieauswahl für eine geeignete Festlegung des Absorptionsgrades der Fassadenflächen. Auch hier ist zu empfehlen, genauere Untersuchungen und Auswertungen hinsichtlich der Materialität der Fassadenoberflächen und -anstrichen durchzuführen, um den genauen Anteil an opaken Wandflächen in Bezug zur Gebäudeausrichtung bestimmen zu können.

Strategie	Kennziffern	Klimazone 01 HWB					Klimazone 03 HWB					Klimazone 03 KEB					Klimazone 07 KEB					Klimazone 08 KEB													
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°		
G - Gebäude	G_AG_AZ																																		
	G_AD_D90_AZ																																		
	G_AF_Z01_AZ																																		
	G_AF_Z02_AZ																																		
	G_AF_Z03_AZ																																		
K - Konstruktion	K_BD_AW_15_AZ																																		
	K_BD_AW_20_AZ																																		
	K_BD_BP_15_AZ																																		
	K_BD_BP_20_AZ																																		
	K_BT_VF_25_AZ																																		
	K_BT_VF_50_AZ																																		
M - Material	M_AW_LP_2_AZ																																		
	M_AW_LP_4_AZ																																		
	M_AW_AG_02_AZ																																		
	M_AW_AG_05_AZ																																		
	M_AW_AG_08_AZ																																		

 Potenzial der Energieeinsparung und Potenzial einer Verbesserung der Thermischen Behaglichkeit

 Defizit eines Energiemehrverbrauchs und Defizit zu einer Verschlechterung der Thermischen Behaglichkeit

Tab. 44 Übersicht der Strategieinflüsse auf die vier ausgewählten Klimazonen (Anlage F)

4.2 Casa Popular – Optimierungspotenziale

In der Tabelle 45³²² sind die Ergebnisse eines maximalen Optimierungspotenzials der Strategien dargestellt, bezogen auf das Energieeinsparpotenzial innerhalb der acht Gebäudeausrichtungen. Für die vier ausgewählten Klimazonen und unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit untersuchten Strategien ergeben sich durch das Kriterium des niedrigsten Energieverbrauchs die schon bei der Planung vorzunehmenden Optimierungsmaßnahmen. Bei der Betrachtung der Ergebnisse müssen sowohl die prozentualen Werte, als auch der eigentliche Verbrauch betrachtet werden, da ein auf den ersten Blick hoher prozentualer Wert nicht gleichbedeutend einem hohen Einsparungspotenzial entspricht. Unter Berücksichtigung der Gebäudepositionierung des Ist-Zustandes der *Casa Popular* haben die Auswertungen gezeigt, dass die wärmeren Klimazonen 07 und 08 hinsichtlich einer Energieeinsparung einen geringeren Einfluss auf das Optimierungspotenzial ausüben. Vergleichend dazu ergibt sich bei Klimazone 01 für den Heizwärmebedarf ein maximales Einsparungspotenzial von bis zu 2,59 [%] bzw. von bis zu 9,14 [kWh/(m².a)], bezogen auf die Ausgangssituation des Ist-Zustandes mit dem höchsten Verbrauch.

In dem Bereich K-Konstruktion wurden bauliche Maßnahmen untersucht, die aus planerischer Sicht zwar einem Mehraufwand bedürfen, jedoch bei den Auswertungen den niedrigsten Energieverbrauch aufgezeigt haben. Bei den Klimazonen 01 und 03 mit Heizwärmebedarf zeigte die konstruktive Maßnahme einer massiveren Bodenplatte den niedrigsten Energieverbrauch im Vergleich zum Ist-Zustand der *Casa Popular* und damit das maximale Optimierungspotenzial einer in der Planung zu berücksichtigen Strategieanwendung. Bei den Auswertungen liegt der höchste HWB der *Casa Popular* im Ist-Zustand für Klimazone 01 und AZ225° bei 352,38 [kWh/(m².a)] und für Klimazone 03 und AZ225° bei 81,68 [kWh/(m².a)]. Bei der Strategie K_BD_BP_20 liegt der niedrigste HWB für

- Klimazone 01 und AZ45° bei 268,83 [kWh/(m².a)] und zeigt eine Einsparung von bis zu 23,7 [%] bzw. 83,55 [kWh/(m².a)] auf;
- Klimazone 03 und AZ45° bei 71,56 [kWh/(m².a)] und zeigt eine Einsparung von bis zu 12,4 [%] bzw. 10,12 [kWh/(m².a)] auf.

Bei den Klimazonen 03, 07 und 08 mit Kühlenergiebedarf zeigte die konstruktive Maßnahme einer massiveren Außenwand den niedrigsten Energieverbrauch im Vergleich zum Ist-Zustand der *Casa Popular* und damit das maximale Optimierungspotenzial einer in der Planung zu berücksichtigende Strategieanwendung. Bei den Auswertungen liegt der höchste HWB der *Casa Popular* im Ist-Zustand für Klimazone 03 und AZ45° bei 7,27 [kWh/(m².a)], für Klimazone 07 und AZ315° bei 162,48 [kWh/(m².a)] und für Klimazone 08 und AZ45° bei 102,13 [kWh/(m².a)]. Bei der Strategie K_BD_AW_20 liegt der niedrigste KEB für:

- Klimazone 03 und AZ180° bei 3,44 [kWh/(m².a)] und zeigt eine Einsparung von bis zu 52,7 [%] bzw. 3,83 [kWh/(m².a)] auf;
- Klimazone 07 und AZ180° bei 145,38 [kWh/(m².a)] und zeigt eine Einsparung von bis zu 10,5 [%] bzw. 17,1 [kWh/(m².a)] auf;
- Klimazone 08 und AZ180° bei 86,30 [kWh/(m².a)] und zeigt eine Einsparung von bis zu 15,5 [%] bzw. 15,83 [kWh/(m².a)] auf.

Ein hohes Optimierungspotenzial weist auch die noch nachträglich und im bebauten Zustand als Maßnahme mögliche Strategieanwendung eines auf der Außenwand aufgetragenen Lehmputzes auf. Für alle ausgewählten Klimazonen ergibt sich unter Berücksichtigung einer geeigneten Gebäudepositionierung ein starkes Einsparungspotenzial.

³²² Siehe Tab. 45, S. 172: Optimierungspotenziale mit blau gekennzeichneten Feldern.

Auswertungen maximale Optimierungspotenziale der Strategien			Klimazone 01 - HWB		Klimazone 03 - HWB		Klimazone 03 - KEB		Klimazone 07 - KEB		Klimazone 08 - KEB	
Strategie	Beschreibung	Kennzeichen	Min I Max Delta [kWh/m²a]	[%]	Min I Max Delta [kWh/m²a]	[%]	Min I Max Delta [kWh/m²a]	[%]	Min I Max Delta [kWh/m²a]	[%]	Min I Max Delta [kWh/m²a]	[%]
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude im Ist-Zustand	G_AG_AZ	343,24 9,14	352,38 2,59%	78,54 3,15	81,68 3,85%	6,29 0,98	7,27 13,51%	159,92 2,56	162,48 1,57%	99,47 2,65	102,13 2,60%
	Ausrichtung Dach	G_AD_D90_AZ	343,14 9,14	352,28 2,59%	78,44 3,15	81,58 3,86%	6,29 0,983	7,27 13,51%	160,12 2,56	162,68 1,57%	99,47 2,65	102,13 2,60%
	Ausrichtung Fenster	G_AF_Z01_AZ	344,72 6,49	351,20 1,85%	79,03 2,26	81,29 2,78%	6,39 0,79	7,18 10,98%	160,22 2,36	162,58 1,45%	99,37 2,46	101,83 2,41%
	Ausrichtung Fenster	G_AF_Z02_AZ	343,34 9,04	352,38 2,57%	78,54 3,05	81,58 3,79%	6,29 0,98	7,27 13,51%	160,22 2,56	162,77 1,57%	98,88 2,95	101,83 2,90%
	Ausrichtung Fenster	G_AF_Z03_AZ	344,62 6,29	350,91 1,79%	78,93 2,16	81,09 2,67%	6,39 0,79	7,18 10,98%	160,12 2,85	162,97 1,75%	99,18 2,95	102,13 2,89%
K - Konstruktion	Bauteildicke	K_BD_AW_15_AZ	342,75 9,63	352,38 2,73%	74,21 3,64	77,85 4,67%	4,52 0,69	5,21 13,21%	151,18 3,24	154,42 2,10%	91,71 2,75	94,46 2,91%
	Bauteildicke	K_BD_AW_20_AZ	343,93 9,83	353,76 2,78%	71,75 3,74	75,49 4,95%	3,44 0,49	3,93 12,50%	145,38 4,03	149,41 2,70%	86,30 3,05	89,35 3,41%
	Bauteildicke	K_BD_BP_15_AZ	299,01 8,94	307,95 2,90%	74,51 3,15	77,65 4,05%	7,08 1,08	8,16 13,25%	163,17 2,46	165,62 1,48%	106,35 3,15	109,50 2,87%
	Bauteildicke	K_BD_BP_20_AZ	268,83 8,75	277,58 3,15%	71,86 3,15	74,70 4,21%	7,77 1,18	8,94 13,19%	165,72 2,16	167,89 1,29%	111,37 3,74	115,10 3,25%
	Bauteil	K_BT_VF_25_AZ	342,85 8,85	351,69 2,52%	78,44 3,05	81,49 3,74%	6,29 0,98	7,27 13,51%	160,22 1,77	161,99 1,09%	99,28 2,56	101,83 2,51%
	Bauteil	K_BT_VF_50_AZ	342,85 8,85	351,69 2,52%	78,44 3,05	81,49 3,74%	6,29 0,98	7,27 13,51%	160,22 1,77	161,99 1,09%	99,28 2,56	101,83 2,51%
	Bauteil	K_BT_VF_100_AZ	342,85 9,53	352,38 2,71%	78,44 3,24	81,68 3,97%	6,29 0,98	7,27 13,51%	160,51 1,57	162,09 0,97%	99,47 2,36	101,83 2,32%
	Außenwand	M_AW_LP_2_AZ	341,96 9,53	351,50 2,71%	76,08 3,34	79,42 4,21%	5,31 0,79	6,09 12,90%	155,30 4,03	159,33 2,53%	95,74 2,85	98,39 2,70%
	Außenwand	M_AW_LP_4_AZ	341,47 9,73	351,20 2,77%	74,21 3,54	77,75 4,55%	4,62 0,59	5,21 11,32%	153,34 2,16	155,50 1,39%	92,69 2,75	95,44 2,88%
	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	343,04 9,14	352,19 2,60%	78,54 3,15	81,68 3,85%	6,59 0,98	7,57 12,99%	159,53 2,65	162,18 1,64%	99,28 2,56
Außenwand	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	343,14 9,24	352,38 2,62%	78,54 3,24	81,78 3,97%	6,39 0,98	7,37 13,33%	159,73 2,75	162,48 1,69%	99,47 2,65	102,13 2,60%
Außenwand	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	343,34 9,14	352,48 2,59%	78,54 3,34	81,88 4,08%	6,39 0,88	7,27 12,16%	159,92 2,65	162,58 1,63%	99,47 2,65	102,13 2,60%

Maximales Optimierungspotenzial: mögliche Strategiewendung
Maximales Optimierungspotenzial: planerische Strategiewendung

Tab. 45 Auswertungen maximale Optimierungspotenziale der Strategien

4.3 Ausblick

Die Auswertungen der Untersuchungen aus den dynamischen Gebäudesimulationen von passiven Strategien haben für die ausgewählten Klimazonen signifikante Ergebnisse zur Einschätzung der auftretenden Potenziale, aber auch der möglichen Defizite der angewendeten Strategiemassnahmen erbracht. In der Tabelle 44³²³ wird die Gebäudeausrichtung als wichtigster Einflussfaktor verdeutlicht und geht als fester Eingangsparameter in die Simulationen ein, damit die Ergebnisse für jede der acht definierten Ausrichtungsschritte ausgewertet und miteinander vergleichbar werden. Daraus ergeben sich die direkten Potenziale bzw. Defizite für die Energiebilanzierung und das Verhalten der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas.

Die drei höchsten Potenziale und Defizite werden in den Tabellen 46 und 47 als „Top 3“ für die vier ausgewählten Klimazonen aufgezeigt. Jede Strategieauswertung steht in Bezug zu einer bestimmten Gebäudeausrichtung, in der das maximale Potenzial ausgeschöpft werden kann bzw. Defizite durch sich negativ auswirkende Strategiemassnahmen vermieden werden können, immer im Vergleich zum Ist-Zustand. Für zukünftige Untersuchungen empfiehlt sich sowohl eine erweiterte Kombination von multiplen Strategien, als auch eine Anwendung auf alle acht Klimazonen Brasiliens, um die energetischen Potenziale eindeutiger definieren und optimieren zu können, damit das Gesamtspektrum der Strategien noch feiner ausgelegt und gewichtet werden kann. Das hier betrachtete Ausgangsmodell der *Casa Popular* als Standard-Einfamilienhaus sollte zukünftig in weiteren dynamischen Gebäudesimulationen unter Berücksichtigung der im Katalog der CAIXA zusätzlich angebotenen unterschiedlichen Haustypologien untersucht werden, um das Spektrum zu erweitern und damit die Ergebnisse für alle acht Klimazonen zu verbessern. Die Untersuchungen zeigen auch, dass sich die aufgezeigten Potenzialverbesserungen für das ausgewählte Ausgangsmodell auf den ersten Blick als geringfügig darstellen. Bezogen auf das Gesamtvolumen der zu erstellenden Wohneinheiten innerhalb des von der Regierung geplanten sozialen Wohnungsbauprogrammes und seinen multiplen Siedlungen in allen Bundesländern ergeben sich volkswirtschaftlich für Brasilien immense Einsparungsmöglichkeiten beim Energieverbrauch, mit einem gleichzeitig verbesserten Angebot von thermisch-behaglichem und qualitativ-hochstehendem zeitgemäßen Wohnraum.

TOP 3	Klimazone 01 HWB	Klimazone 03 HWB	Klimazone 03 KEB	Klimazone 07 KEB	Klimazone 08 KEB
1.	K_BD_BP_20_AZ0° 21,70%	K_BD_BP_20_AZ45° 8,89%	K_BD_AW_20_AZ180° 46,15%	K_BD_AW_20_AZ135° 10,02%	K_BD_AW_20_AZ180° 13,24%
2.	K_BD_BP_15_AZ0° 12,90%	K_BD_AW_20_AZ45° 8,64%	K_BD_AW_15_AZ180° 29,23%	K_BD_AW_15_AZ315° 6,23%	K_BD_AW_15_AZ180° 7,81%
3.	M_AW_LP_4_AZ45° 0,52%	K_BD_AW_15_AZ45° M_AW_LP_4_AZ45° 5,51%	M_AW_LP_4_AZ0° 29,17%	M_AW_LP_4_AZ315° 4,78%	M_AW_LP_4_AZ180° 6,82%

Tab. 46 Strategien – Top 3 Potenziale der Klimazonen

TOP 3	Klimazone 01 HWB	Klimazone 03 HWB	Klimazone 03 KEB	Klimazone 07 KEB	Klimazone 08 KEB
1.	K_BT_VF_100_AZ90° -0,91%	K_BT_VF_100_AZ90° -1,62%	K_BD_BP_20_AZ0° -23,61%	K_BD_BP_20_AZ90° -4,61%	K_BD_BP_20_AZ0° -13,02%
2.	K_BD_AW_20_AZ180° -0,48%	G_AF_Z03_AZ90° -0,75%	K_BD_BP_15_AZ0° -13,89%	K_BD_BP_15_AZ90° -2,03%	K_BD_BP_15_AZ225° -7,30%
3.	G_AF_Z02_AZ0° -0,46%	G_AF_Z01_AZ0° -0,62%	M_AW_AG_02_AZ180° -6,15%	K_BT_VF_100_AZ90° -1,17%	G_AF_Z01_AZ180° -1,19%

Tab. 47 Strategien – Top 3 Defizite der Klimazonen

³²³ Siehe Tab. 44, S. 170.

Nach der ersten Phase des Regierungsprogrammes PMCMV³²⁴ von rund 1.2 Mio. Wohneinheiten in den Jahren von 2009-2012 entwickelte sich eine intensive fachliche Diskussion, sowohl in den Presseorganen, in den Fachinstituten der Universitäten, als auch bei Kongressen und privatwirtschaftlichen Fachverbänden zur Bewertung der zur Behebung des Wohnbaudefizits im ganzen Land errichteten Wohnsiedlungen. Beispiele dafür sind u.a.: Brasilianisches Forum für Technologie und Raumklima „ENTAC³²⁵ - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído“, Brasilianisches und Lateinamerikanisches Forum für Behaglichkeitskriterien und Energieeffizienz bei Wohngebäuden „ENCAC/ELACAC³²⁶ - Encontro Nacional e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído“, Nationale Gesellschaft für Technologie und Energieeffizientes Bauen „ANTAC³²⁷ - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído“.

Die Wohnungsbaupolitik hat zwar historisch die Erstellung von Wohneinheiten gefördert, dabei aber städtebauliche Kriterien, wie die Einbindung in die Umwelt und die Schaffung einer größtmöglichen Lebensqualität, stets vernachlässigt. Mit dem Programm PMCMV wurde ähnlich verfahren, indem man die neuen Wohneinheiten ohne Einbeziehung eines elementaren Qualitätsbewusstseins für Architektur und Konstruktion hauptsächlich mengenmäßig realisieren wollte.³²⁸ Für die Regierungspartei steht vorrangig die wirtschaftliche Entwicklung im Fokus als die Durchsetzung eines Sozialplanes zur Behebung des Wohnungsbaudefizites.³²⁹ Bei einer Gesamtzahl von 3.0 Mio. geplanten Wohneinheiten bis zum Jahr 2018 (Phase 1 und 2) wächst die fachliche Kritik, besonders wegen der ungenügenden Anbindung der neuen Wohngebiete an die Infrastruktur der Stadtzentren, der schlechten Bauausführung und des aus Kostengründen unsachgemäß verwendeten Materials.^{330 331}

Die allein auf Menge basierende offizielle Wohnungsbaupolitik ist unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten der Ressourcenknappheit und einer sich abzeichnenden Mittelknappheit so nicht weiterzuführen. Umso mehr können die in dieser Arbeit für die Gesamtheit der Klimazonen Brasiliens aufgezeigten Potenziale eine Verbesserung der Lebensqualität und der Energieeffizienz für die schon bestehenden und in der Planung befindlichen Haustypologien bewirken.

³²⁴ Siehe dazu Kap. 1.2 Wohnungsbaudefizit in Brasilien - Soziales Wohnungsbauprogramm, S. 25 fff.

³²⁵ ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Brasilianisches Forum für Technologie und Raumklima; Website für die Kongressveranstaltung am 21-23.09.2016 in São Paulo - São Paulo; Abrufbar unter: <<http://entac2016.pcc.usp.br/>>.

³²⁶ ENCAC - Brasilianisches und Lateinamerikanisches Forum für Behaglichkeitskriterien und Energieeffizienz bei Wohngebäuden „ENCAC/ELACAC - Encontro Nacional e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído“; Website für die Kongressveranstaltung am 15-17.10.2015 in Campinas - São Paulo; Abrufbar unter: <<http://www.fau.usp.br/eventos/encac2015/2apresentacaoEvento.html>>.

³²⁷ Vgl. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional; Kap. 2 - Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações; Porto Alegre; 2003; Dokument abrufbar unter <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/122.pdf>> Abrufdatum: 20.02.2012; S. 16-46.

³²⁸ Vgl. FERREIRA, J. S. Whitaker (coord.); Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano. Parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos.; LABHAB ; FUPAM; São Paulo; 2012; Dokument abrufbar unter: <www.usp.br/fau/depprojeto/labhab>; Abrufdatum: 16.07.2015; S. 45-48.

³²⁹ Vgl. ROMANELLI, C.; Avaliação ambiental estratégica como instrumento para implantação de programas habitacionais - um estudo sobre o Minha Casa Minha Vida.; Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-10032014-154512/pt-br.php>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 15-17.

³³⁰ Vgl. FRANCA, M. S. de; Abiko, A. K.; Minha Casa Minha Vida: uma avaliação preliminar.; Artikel aus der 13. Internationalen Konferenz LARES - Sociedade Latino Americana de Estudos Imobiliários; São Paulo - São Paulo; 2013; Abrufbar unter: <<http://lares.org.br/Anais2013/artigos/895-1041-1-SP.pdf>>; S. 1-10.

³³¹ Vgl. FERREIRA, 2012; S. 187-199.



Literaturverzeichnis

- ABNT, 2005
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15220-3 „Wärmeschutz von Gebäuden – Teil 3: Bioklimatische Zonierung Brasiliens und konstruktive Richtlinien für den Sozialen Wohnungsbau“, Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003, Rio de Janeiro, 2003. Dokument abrufbar unter < <http://normaabnt.blogspot.de/2013/10/norma-abnt-nbr-15220-download.html>>
Abrufdatum: 21.01.2012.
- ABRAVA, 2013
Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento; Dokument abrufbar unter: <<http://www.abrava.com.br/>>;
Artikel abrufbar unter: < <http://www.abrava.com.br/comunicado-gbc-brasil-abesco-abrava-o-consumo-de-energia-eletrica-nas->>;
Abrufdatum: 27.08.2015.
- AKUTSU, 2005
AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; PESSOTO, T.C.; SOUZA, H.A.; Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. Revista Escola de Minas: Ouro Preto, n. 2, vol. 58, S. 133-138; 2005. Dokument abrufbar unter: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000200007> und <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v58n2/a07v58n2.pdf>>; Datum der Veröffentlichung: Apr/Jun 2005; Abrufdatum: 02.04.2013
- ALLARD, 2008
ALLARD, Francis; Santamouris, Matheos; Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook; Verlag Routledge; Erste Edition 1998; 2. Auflage 2008.
- ANTAC, 1988
ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional; Kap. 2 - Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações; Porto Alegre; 2003; <<http://www.antac.org.br/>>; Dokument abrufbar unter <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/122.pdf>>
Abrufdatum: 20.02.2012.
- ASHRAE, 2003
ASHRAE STANDARD 62-2001; Ventilation for Acceptable Indoor Air. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Inc. Atlanta, GA; 2003; Abrufdatum: 15.08.2013.
- ASHRAE, 2004
ASHRAE Standard 90.1-2004; Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building; I-P Edition; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2014; Abrufdatum: 28.09.2012.
- ASHRAE, 2009
ASHRAE Handbook—Fundamentals; Indoor Environmental Quality; Chapter 9: Thermal Comfort; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2009; Abrufdatum: 28.09.2012.
- ASHRAE, 2010
ASHRAE STANDARD 55-2004; Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; ASHRAE Inc. Atlanta, GA; 2010; Abrufdatum: 21.07.2012.
- BARBOSA, 1997
BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.; Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis; 1997.
- BARRETO, 1975
BARRETO. Paulo Thedim; O Piauí e a sua arquitetura. In: Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975.

-
- BARRETO, 1981 BARRETO, Paulo. Piauí e sua arquitetura. In "Arquitetura Civil I". São Paulo. MEC –IPHAN e FAU/USP, 1981.
- BITTENCOURT, 2005 BITTENCOURT, L.; Candido, C.; Introdução à ventilação natural.; Verlag: EDUFAL; Maceió; 2005.
- BONDUKI, 1993 BONDUKI, N. (Ed.); ANDRADE, C.R.M.; BONDUKI, N.; ROSSETTO, R. (Org.).Arquitetura & Habitação Social em São Paulo 1989-1992. São Carlos: USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Planejamento, 1993.
- BONDUKI, 1997 BONDUKI, N.; Habitat: as práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras. São Paulo: Studio Nobel, 1999.
- BONDUKI, 1999 BONDUKI, N.; Origens da habitação social no Brasil. 2 ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1999.
- BONDUKI, 2008 BONDUKI, N. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula.; Revista eletrônica de Arquitetura e urbanismo, 1.; São Paulo; 2008; Dokument abrufbar unter: <http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf>; Veröffentlichung: 18.09.2008; Abrufdatum: 18.10.2015.
- BRASIL, 1991 BRASIL. Presidência da República. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei No 8.245, de 18 de Outubro de 1991. Dispõe sobre as locações dos imóveis urbanos e os procedimentos a elas pertinentes. Dokument abrufbar unter: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8245.htm> Datum der Veröffentlichung: 18.10.1991 Abrufdatum: 20.11.2015.
- BRASIL, 2009 BRASIL. Presidência da República. Lei Ordinária nº 11.977, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Dokument abrufbar unter: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/111977.htm> Datum der Veröffentlichung: 07.07.2009 Abrufdatum: 08.07.2012.
- BRE, 1978 BRE - Building Research Establishment; Principles of natural ventilation.; BRE Digest, Nr. 210.; Verlag Garston; 1978.
- BROSS, 2002 BROSS, Hans. Construções Antigas em Santa Catarina. Florianópolis: ed da UFSC, 2002.
- BROWN, 2000 BROWN, G. Z.; Dekay, M. Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies. Second edition. Hoboken, NJ: Wiley e Sons.; 2000.
- BOWEN, 1981 BOWEN, A.; Clarck, G., Labs, K. (eds.); Classification of air motion systems and patterns. In: Internacional Passive and Hybrid Cooling Conference; American Section of ISES, Newark, 1981.
- CAIXA, 2009 Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/mpv/459.htm>, <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012
- CAIXA, 2011 Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, Dokumente abrufbar unter: <<http://caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>>, Abrufdatum: 08.07.2012
- CAIXA, 2012 Prospekt Referenzgebäude Casa Popular: Beschreibung, Grundriss, Schnitt und Ansichten; CAIXA GIDUR/VT. Cadernos CAIXA Projeto padrão casas populares, 2006; Dokument abrufbar unter: <http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/banco_projetos/projetos_his/casa_42m2.pdf> und <http://www.abenc-ba.org.br/attachments/274_modelo_padrao_casa_37m2.pdf>, Abrufdatum: 08.08.2012.
- CAIXA, 2014 CAIXA - Minha Casa Minha Vida prevê a entrega de 2 milhões de casas até o fim do ano“; Abrufbar unter:

-
- <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>; Datum:06.06.2014, Abrufdatum:31.07.2014.
- CASTRO, 2008
CASTRO, Prof. Dr. Eng. José de; Engenharia Mecânica; Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, 2008, Dokument abrufbar unter: <<http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/materiais/materiais.html>> und <<http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/FT/Psicometria2.pdf>> Abrufdatum: 15.06.2012.
- CHAFFUN, 1996
CHAFFUN, N., "Dinâmica Global e Desafio Urbano". Bonduki, Nabil (org.). Habitat. As práticas bem sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras. São Paulo: Studio Nobel, 1996.
- CANUTO, 2008
CANUTO, E.M.A; VLACH, V.R.F., O direito à moradia urbana como um dos pressupostos para a efetivação da dignidade da pessoa humana., Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, 2008.
- CANUTO, 2005
CANUTO, E.M.A; CANUTO, A.F. et VLACH, V.R.F. Políticas públicas e cidadania no Brasil. In: II Simpósio Internacional sobre Cidades Médias. Anais do II Simpósio Internacional sobre Cidades Médias. Uberlândia, LAPUR/UFU, 2005.
- CORONA, 1972
CORONA, Eduardo e LEMOS, Carlos A. C. Dicionário da arquitetura brasileira. São Paulo, EDART, 1972. P. 429.
- D'AMICO, 2011
D'AMICO, Fabiano; O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal; Rio de Janeiro: Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento: Caixa Econômica Federal, 2011, Dokument abrufbar unter: <http://centrocelsofurtado.com.br/arquivos/image/201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf> Abrufdatum: 15.10.2012.
- DASILVA, 2008
DA SILVA, Isadora Mendes; „Efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico.“ Versão revisada CoPGR 6018; Dissertação Título de Mestrado; Universidade de São Paulo (USP); Piracicaba; 2012; Dokument abrufbar unter: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-30102012-171253/pt-br.php>>; Abrufdatum: 30.08.2014.
- DINIZ, 2013
DINIZ, João Diniz Arquitetura Ltda, Belo Horizonte – Minas Gerais, 2013. ArchDaily. Abrufbar unter: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-60177/a-casa-invisivel-fragmentos-sobre-a-arquitetura-popular-no-brasil-joao-diniz>> Abrufdatum: 04.06.2014.
- DIN4108,2003
DIN V 4108-6:2003-06; Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs; 2003.
- DIN13786,2008
DIN EN ISO 13786; Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren; Anhang A; S. 17; 2008.
- DOE, 2006
U. S. Department of Energy <<http://www.energy.gov/science-innovation/energy-efficiency>> und <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>; Datum der Veröffentlichung: Juni 2014; Abrufdatum: 18.6.2014.
- DUMKE, 2002
DUMKE, Eliane M. S. Avaliação do Desempenho Térmico em Sistemas Construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como Subsídio para a Escolha de Tecnologias Apropriadas em Habitação de Interesse Social. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.
- DUTT, 1992
DUTT, A. J.; Dear, R. J.; Krishnan, P.; Full scale and model investigation of natural ventilation and thermal comfort in building.; In:

-
- 8° Intern. Conf. On Wind Engineering.; Ontario, July 8-12 1991; Verlag Elsevier Science Publishers; Amsterdan; 1992.
- ELETRO, 2010
ELETRObras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; <<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>; Datum der Veröffentlichung: 2010; Abrufdatum: 13.08.2012.
- ENERGYPLUS, 2011
ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus; Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus; University of Illinois; Mai 2011.
- ENERGYPLUS, 2012
ENERGYPLUS Energy Simulation Software, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, Programm Download unter: <<https://energyplus.net/>>, Abrufdatum: 27.07.2012
- ENEV, 2014
ENEV 2014 - Leitfaden für Wohngebäude; Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.; Mein Ziegelhaus GmbH & Co. KG; Bonn; 2014; Dokument abrufbar unter: <www.zwk.de/downloads/fremde_prospekte/EnEV-Broschuere.pdf> Datum der Veröffentlichung: Mai 2014; Abrufdatum: 18.06.2014.
- ENTAC, 2016
Brasilianisches Forum für Technologie und Raumklima „ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído“; Website für die Kongressveranstaltung am 21-23.09.2016 in São Paulo - São Paulo; Abrufbar unter: <<http://entac2016.pcc.usp.br/>>.
- ENCAC, 2015
Brasilianisches und Lateinamerikanisches Forum für Behaglichkeitskriterien und Energieeffizienz bei Wohngebäuden „ENCAC/ELACAC - Encontro Nacional e VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído“; Website für die Kongressveranstaltung am 15-17.10.2015 in Campinas - São Paulo; Abrufbar unter: <<http://www.fau.usp.br/eventos/encac2015/2apresentacaoEvento.html>>.
- EPW, 2012
EPW – EnergyPlus Weather File für die Referenzstädte; LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações; Arquivos climáticos em formato EPW; 2012; Datei abrufbar unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>; Abrufdatum: 27.07.2012.
- EUBANK, 2015
EUropean Central BANK; <<https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-brl.en.html>>; Datum der Veröffentlichung: 01.01.2015; Abrufdatum: 02.08.2015.
- EVANS, 1980
EVANS, J. M.; Housing climate and comfort.; Architectural Press; London; 1980.
- FANGER, 1970
FANGER, P. O.; Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering; McGraw-Hill-Books; Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
- FANGER, 1973
FANGER, P. O.; Thermal Comfort analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill-Books, New York, 1973.
- FERREIRA, 2009
FERREIRA, A. R.; Schmidt, Prof. Dr. C.; Programas e combate ao déficit habitacional brasileiro.; Trabalho de conclusão Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; 2009; Dokument abrufbar unter: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25348/000737944.pdf>>; Abrufdatum: 16.07.2015.
- FERREIRA, 2012
FERREIRA, J. S. W.; Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil Urbano.; Editora FUPAM. 1ª Ed.; São Paulo; 2012; Dokument abrufbar unter: <http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/ferreira_2012_produzirhab_cidades.pdf>; Abrufdatum: 10.11.2015.

-
- FERREIRA, 2012 FERREIRA, J. S. Whitaker (coord.); Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano. Parametros de qualidade para a implementaço o de projetos habitacionais e urbano.; LABHAB ; FUPAM; São Paulo; 2012; Dokument abrufbar unter: < www.usp.br/fau/deprojeto/labhab >; Abrufdatum: 16.07.2015.
- FJP, 2015 FJP-Fundação João Pinheiro; CEI-Centro de Estatística e Informações; Déficit habitacional no Brasil 2011-2012; Belo Horizonte; 2015; Abrufbar unter: <http://www.fjp.mg.gov.br> oder <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/559-deficit-habitacional-2011-2012/file>; Abrufdatum: 01.08.2015.
- FAR, 2011 FAR - Especificações Mínimas para uma Casa do Programa Minha Casa Minha Vida / FAR <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/programas-uniao/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx > Dokument abrufbar unter <http://www.caixa.gov.br/downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Legislacao_FAR.pdf> Datum der Veröffentlichung: 09.10.2011, Abrufdatum: 08.08.2012.
- FISCHER, 2008 FISCHER, H.-M., Jenisch, R., Freymuth, H., Stohrer, M., Richter, E., Häupl, P., Homann, M.; Lehrbuch der Bauphysik, Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand – Klima; 6., aktualisierte und erweiterte Auflage; Vieweg+Teubner Verlag; 2008.
- FRACALOSSI, 2013 FRACALOSSI, Igor . "A Casa Invisível: Fragmentos sobre a arquitetura popular no Brasil / João Diniz" 15 May 2013.
- FRANCA, 2013 FRANÇA, M.; Abiko, A. K.; Minha Casa Minha Vida: uma avaliação preliminar.; Anais da 13a Conferência Internacional da LARES - Latin American Real Estate Society.; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: < http://lares.org.br/Anais2013/artigos/895-1041-1-SP.pdf>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 1-10.
- GANDEMER, 1992 GANDEMER, J.; Barnaud G.; Millet J. R.; Sacre, C.; Guide sur la climatisation naturelle de l´habitat en climat tropical humide.; Tome 1: Methologie de Prise em Compte des Parametres Climatiques dans l´Habitat et Conseils Pratiques.; Report for the CSTB; Nantes; 1992.
- GENIUS, 2014 GENIUS: GrAT - Gruppe Angepasste Technologie; Projektleiter Dr. Katharina Zwiauer; Titel Raumklima und thermische Behaglichkeit im Passivhaus; Dokument abrufbar unter < www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/raumklima/raumklima.pdf> oder < www.e-genius.at> Datum der Veröffentlichung: 2011 Abrufdatum: 17.06.2013.
- GOULART, 1970 GOULART, Nestor. Quadro da arquitetura no Brasil. São Paulo. Editora perspectiva.1970.
- GIVONI, 1976 GIVONI, Baruch; Man, climate and architecture. London: Applied Science Publisher, 1976.
- GIVONI, 1984 GIVONI, B.; Design for Climate in Hot, Dry Cities.; In: Technical Conference on Urban Climatology and ist Applications with Special Regard to Tropical Areas; Mexico, 25-30 November 1984; Oke, T.R. (ed.) Publ. Nr. 652; Geneva; 1984.
- GIVONI, 1992 GIVONI, B.; Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building, Volume 18, Issue 1; 1992; Dokument abrufbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K> Abrufdatum: 02.11.2012; S. 11-23.
- GONZALO, 2006 GONZALO, R., Habermann, K. J.; Energieeffiziente Architektur: Grundlagen für Planung und Konstruktion; Birkhäuser GmbH; Walter de Gruyter-Verlag, 2006.
- HAUSLADEN, 2003 HAUSLADEN, Gerhard; de Saldanha, M.; Nowak, W.; Liedl, P.: Einführung in die Bauklimatik. Berlin: Ernst & Sohn 2003.

HAUSSLADEN, 2006	HAUSSLADEN, Gerhard; de Saldanha, M.; Liedl, P.: ClimaSkin - Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten.; Verlag Callwey; 2006.
HAUSSLADEN, 2012	HAUSSLADEN, Gerhard.; de Saldanha, M.; Liedl, P.; Sager Chr.; Klimagerecht Bauen - Ein Handbuch.; Verlag Birkhäuser Berlin; 2012.
HARTWIG, 2014	HARTWIG, J.; Keller, M.; Pick, P.; Kommunal-Info 3/2014; Energieeffizient bauen, Nachhaltiger Bau und Betrieb von Gebäuden; Dokument abrufbar unter < https://issuu.com/links-sachsen/docs/links_04_2014 >; Datum der Veröffentlichung: 26.03.2014 unter www.gemeinderat-online.de/ ; Abrufdatum: 17.06.2014.
HAYNER, 2010	HAYNER, M., Ruoff, J., Thiel, D.; Faustformel Gebäudetechnik: für Architekten; Deutsche Verlags-Anstalt (DVA); München 2010.
HEGGER, 2007	HEGGER, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M.; Energie Atlas: Nachhaltige Architektur; Birkhäuser GmbH; 2007.
HEGGER, 2013	HEGGER; M.; Fafflok, C.; Hegger, J.; Passig, I.; Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Energieplushaus; Verlag Callwey; 2013.
HUE, 1999	Hue, Jorge de Souza. Uma visão da arquitetura colonial no Brasil. Rio de Janeiro: ed Agir, 1999.
IBGE, 2008	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Demográfico, rojeção da População do Brasil por sexo e idade: 1980-2050 - Revisão 2008, Dokument abrufbar unter: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2008/projecao.pdf > Abrufdatum: 17.12.2013
IBGE, 2010	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Demográfico, Rendimento mensal Populacao, 2010, Dokument abrufbar unter: < ftp://ftp.ibge.gov.br/Orcamentos_Familiares/Pesquisa_de_Orcamentos_Familiares_2008_2009/Despesas_rendimentos_e_condicoes_de_vida/tab_rendimentos.zip >, Abrufdatum: 03.09.2012
IBGE, 2014	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Statistiken brasilianischer Bundesländer und Städte abrufbar unter: < ">http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=> Datum der Veröffentlichung: 2014; Abrufdatum: Okt 2015.
IPHAN, 2014	Patrimônio Mundial no Brasil; IPHAN-Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional < http://www.unesco.org/new/pt/brasil/culture/world-heritage/ > Abrufdatum: 16.06.2014.
ISO, 2005	DIN EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005; Abrufdatum: 31.05.2012.
JONES, 2001	JONES, J.; West, A.W.Natural Ventilation and Collaborative Design; ASHRAE Journal; November, 2001.
KELLER, 2011	KELLER, B.; Ruths, St.: Pinpoint - Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen. Verlag VdK Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Zürich; 2011.
KOEPPEN, 1884	KOEPPEN, W., 1884: The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and of the impact of heat on the organic world, Meteorol. Z., 1, 215-226 (translated and edited by Volken, E. and S. Brönnimann). Meteorologische Zeitschrift, Volume 20, S. 351-360. Dokument abrufbar unter < http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1884.pdf > Abrufdatum: 19.06.2013.

-
- KOTTEK, 2006 KOTTEK, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, Volume 15, Number 3, 2006, S. 259-263. Dokument abrufbar unter < http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf> Abrufdatum: 19.06.2013.
- KOWALTOSKI, 2010 KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; PINA, Sílvia A. Mikami G.; *Arquiteturas do Morar: Comportamento e espaço concreto; Seminário Internacional de Psicologia e Projeto do Ambiente construído – Anais* S. 482-491; UFRN; Rio de Janeiro; 2010; S. 1-9.
- KRAUSE, 2013 KRAUSE, C.; Balbim, R.; Neto, V. C. L.; *Minha Casa Minha Vida, nosso crescimento: Onde fica política habitacional?; Texto para Discussão No 1853, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); 2013; Dokument abrufbar unter: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1853.pdf>; Abrufdatum: 20.11.2015*
- KRUGER, 2000 KRUEGER, E.L. ; LAMBERTS, R. . *Avaliação do desempenho térmico de casas populares. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador. Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (CD-ROM). Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2000.*
- KRUGER, 2004 KRUEGER, E.L. ; Fernandes, Leandro Carlos ; *Equações preditivas para avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais do X ENTAC. Porto Alegre: ANTAC, 2004. v. 1. p. 1-15.*
- LABEEEE, 1996 LABEEEE - *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações ; Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, s/d.; 1996; Abrufbar unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/>> Abrufdatum: 27.07.2012.*
- LABEEEE, 2006 LABEEEE - *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações ; Florianópolis; Introdução ao EnergyPlus, s/d.; 2006; Abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Tutorial%20EnergyPlus%202006.pdf> und <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf>; Abrufdatum: 27.07.2012.*
- LAMBERTS, 1996 LAMBERTS, R. *Desempenho térmico de edificações: cálculo da transmitância térmica e da resistência térmica de elementos e componentes. Florianópolis: UFSC, [1996].*
- LAMBERTS, 1997 LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F.O.R., *Eficiência Energética nas Edificações. PW Editores, Patrocínio PROCEL, São Paulo, 1997.*
- LAMBERTS, 1997 LAMBERTS, R. et al., *Building Bioclimatology in Brazil.; 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. PLEA 97, Kushiro, Japan. 1997. S. 203-208.*
- LAMBERTS, 2011 LAMBERTS, R.; GHISI, E. et al; *Desempenho térmico de edificações; LabEEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações— Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; 2011; Dokument abrufbar unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/ensino/graduacao/ecv5161>> und <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_1.pdf> Abrufdatum: 31.01.2012.*
- LAMBERTS, 2014 LAMBERTS, R. et al.; *Conforto Térmico e Stress Térmico; LabEEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações—Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Dept. de Engenharia Civil; 2014; Dokument abrufbar unter: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20%20C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf> Abrufdatum: 24.06.2015.*

- LEMOS, 1981 LEMOS, C. A. C.; O que é Patrimônio Histórico. São Paulo: Brasileirise; 1981.
- LEMOS, 1989 LEMOS, C. A. C.; Paulo, S.; Historia da Casa Brasileira; Editora Contexto; São Paulo; 1989.
- LEMOS, 1999 LEMOS, C. A. C.; Casa Paulista: História das moradias anteriores ao ecletismo trazido pelo café; Editora da Universidade de São Paulo - EdUSP; São Paulo; 1999.
- LEMOS, 2008 LEMOS, C. A. C.; Faquini, R.; Moradas do Brasil.; 1. Ed; Imprensa de São Paulo; Editora DBA Artes Gráficas; São Paulo; 2008.
- LIDDAMENT, 1986 LIDDAMENT, M.; Air infiltration calculation technique: an applications guide.; Bracknell: Air Infiltration and Ventilation Centre; 1986.
- LOBO, 2001 LÔBO, D. G. F.; Bittencourt, L.; A influência dos captadores de vento na ventilação de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos.; In: ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. Anais; São Pedro; 2001.
- MAAS, 2008 MAAS, Anton (Hrsg.); Energieeffizienz - Behaglichkeit - Materialien. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- MARICATO, 2009 MARICATO, E.; A terra é um nó na sociedade brasileira... também nas cidades urbanas. Carta Capital; São Paulo; No. 570; 2009; Dokument abrufbar unter: <http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/maricato_terrano sociedade brasileira.pdf>; Abrufdatum: 20.11.2015.
- MENEZES, 2006 MENEZES, Milton Serpa. Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS. Dissertação Mestrado em Engenharia – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006.
- MET, 2013 LÖLLGEN, Herbert; Winter, Ulrich J.; Erdmann, Erland; Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis; Springer-Verlag, April 2013.
- NERY, 2006 NERY, J.; Andrade, T.; Freire, T.; Katschner, L. Thermal Comfort Studies in Humid Tropical City, Salvador- Brazil. In: ICUC-INTERNATIONAL CONFERENCE OF URBAN CLIMATE, VI., 2006, Goteborg, Sweden. Proceedings... Goteborg, Sweden: IAUC Newsletter, 2006. Dokument abrufbar unter: <<http://www.urban-climate.org/IAUC018.pdf>>; Abrufdatum: 15.04.2012.
- NOVAES, 1983 NOVAES, Sylvia Caiuby; Habitações indígenas; Sao Paulo; NOBEL/EDUSP; 1983.
- OLGYAY, 1998 OLGAYAY, V.;; Arquitectura y clima. Manual de diseño para arquitectos y urbanistas.; Verlag Gustavo Gili, AS; Barcelona; 1998.
- PBE, 2012 PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>, <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>; Datum der Veröffentlichung: Abrufdatum: 24.08.2012.
- PINHEIRO, 2010 Fundação João Pinheiro, com base nos dados preliminares do Censo Demográfico de 2010 (IBGE).
- PR, 1998 PR - Paraná: Geografia". (em português) Nova Enciclopédia Barsa (volume 11). (1998). São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações Ltda. pp.133.
- PROCEL, 2006 PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team={505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC}>> und <<http://www.eletrabras.com/elb/data/Pages/LUMISO389BBA8PTBRIE.htm>>; Abrufdatum: 24.08.2012
- PROCEL, 2009 PROCEL - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base

- 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; 2009, Dokument abrufbar unter: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=¶ms=itemID={99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9}&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>> Abrufdatum: 24.08.2012
- PROCEL, 2010
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; Bittencourt, L.; Cândido, C.; Ventilação Natural em Edificações. ; Editora Procel Edifica - Eficiência Energética em Edificações; Rio de Janeiro; 2010; Dokument abrufbar unter: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=¶ms=itemID={85351C92-D471-4B09-8FB2-9D4669936EFE}&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>> Abrufdatum: 24.08.2012
- REIS FILHO, 1970
REIS FILHO, Nestor Goulart. Quadro da arquitetura no Brasil. São Paulo: Perspectiva, 1970.
- REIS, 2001
REIS FILHO, Nestor Goulart. Imagens de vilas e cidades do Brasil colonial. São Paulo: EDUSP, 2001.
- RETRATO, 2009
RETRATO do Brasil; Reportagem: Um plano para Dilma - O "Minha casa minha vida" pode até levar a ministra à Presidência. Mas é ruim: fortalece a concentração de capitais no setor e agrava a dependência da economia brasileira.; No 23; 2009;Dokument abrufbar unter: <http://www.oretratodobrasil.com.br/revista/RB_23/pdf/RB23_parcial.pdf>; Abrufdatum: 10.08.2015.
- RODRIGUES, 1979
RODRIGUES, José Wash. Documentário arquitetônico. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.
- ROMANELLI, 2013
ROMANELLI, C.; Avaliação ambiental estratégica como instrumento para implantação de programas habitacionais-um estudo sobre o Minha Casa Minha Vida.; Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil; São Paulo; 2013; Dokument abrufbar unter: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-10032014-154512/pt-br.php>>; Abrufdatum: 20.11.2015.
- RORIZ, 2004
RORIZ, Maurício; Programa computacional ZBBR 1.1 - Zoneamento bioclimático do Brasil. Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, ABNT NBR 15220-3, São Carlos: UFScar, 2005. Programm Download unter <http://www.roriz.eng.br/download_6.html> oder <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbbr>> Abrufdatum: 16.02.2012.
- SAIA, 1975
SAIA, Luís. "Notas sobre a arquitetura rural paulista do segundo século". In: Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975. P. 221-281.
- SAKAMOTO, 2015
SAKAMOTO, E. H.; Hardt, C.; Rezende, D. A.; Paisagens em Debate: Revista eletrônica da área Paisagem e Ambiente, FAU.USP - No. 04; Artikel: Cidade Ecológica: Política de criação de áreas; 2006; Dokuemtn abrufbar unter: <<http://www.usp.br/fau/deprojeto/gdpa/paisagens/artigos/2006Eliane-cidadeEcologica.pdf>>; Abrufdatum: 20.11.2015; S. 4.
- SACRAMENTO, 2012
SACRAMENTO, A. da S.; A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-AL.; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal de Alagoas; Maceió; 2012; Dokument abrufbar unter: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/739>>; Abrufdatum: 21.08.2015.
- SANTAMOURIS, 2006
SANTAMOURIS, M.; Wouters, P.; Building Ventilation: The State of the Art.; Verlag Earthscan; London; 2006.

SEN, 2007	SEN, Amartya Kumar. Desenvolvimento como liberdade. São Paulo, Companhia das Letras, 2007.
SILVA, 2009	SILVA, Luís Inácio Lula da; Discurso do lançamento do Programa Minha Casa no dia 10.12.2009; Dokument abrufbar unter: < http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/ex-presidentes/luiz-inacio-lula-da-silva/discursos/2o-mandato/2009/2o-semester/10-12-2009-discurso-do-presidente-da-republica-luiz-inacio-lula-da-silva-durante-cerimonia-de-assinatura-de-contratos-do-programa-minha-casa-minha-vida/view > Abrufdatum: 08.07.2012.
SINAT, 2007	SINAT - MINISTÉRIO DAS CIDADES, Sistema Nacional de Avaliação Técnica. < http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php > Datum der Veröffentlichung: 19.07.2013; Abrufdatum: 09.06.2014.
TERSLUISEN, 2012	TERSLUISEN, Dipl.-Ing. Angèle; Konzept zur Planung und Bewertung wärmeenergiegewinnender, energetisch-dynamischer Bauteil- und Raumstrukturen im Wohnungsbau.; Dissertation; Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt; syntagma-verlag, Freiburg; 2012.
TERJUNG, 2008	TERJUNG, W. H.; Louie, S. S. F.; A Climatic Model of Urban Energy Budgets. Geographic Analysis; V. 6; 1974; S. 341-367.
UNIFSC, 2011	UNIFSC; Claro, Prof. Anderson; Antonio, G. B. P.; Benatti, K.; Arquitetura indígena; Universidade Federal de Santa Catarina; Departamento de Arquitetura e Urbanismo; 2011; Dokument abrufbar unter < http://www.ceap.br/material/MAT21042014225238.pdf > Abrufdatum: 03.05.2011.
UNITED, 1971	UNITED NATIONS. Design of low-cost housing and community facilities: Vol. 1 Climate and House Design. Department of Economic and Social Affairs. New York; 1971.
VAUTIER, 1975	VAUTIER, L. L. Casas de residência no Brasil. In: Arquitetura Civil I. Textos Escolhidos da Revista do IPHAN. São Paulo: FAUUSP e MEC-IPHAN, 1975.
VERÍSSIMO, 2000	VERÍSSIMO, F. e BITTAR, W. "500 anos da casa no Brasil. As transformações da arquitetura e da utilização do espaço da moradia". Rio de Janeiro. Ediouro Publicações S.A., 2000.
VILLAS BOAS, 1991	VILLAS BOAS, M.; Thermal Comfort Criteria and Design Principles for the Warm and Humid Coastal Areas of Northeastern Brazil.; In: 9° CIB Congress; Vol.3B - Energy Technology and Conservation.; Stockholm; 1991.
WEIMER, 2005	WEIMER, G.; Arquitetura popular brasileira.; Livraria Martins Fontes Editora; São Paulo; 2005.
ZUERCHER, 2005	ZUERCHER, C.; Frank, T.; Bauphysik - Bau und Energie; Verlag Vdf Hochschulverlag; 2014.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 02 [WEIMER, 2005; S.47]
Abb. 03 [WEIMER, 2005; S.146]
Abb. 04 [WEIMER, 2005; S.33]
Abb. 05 [WEIMER, 2005; S. 89]
Abb. 06 [WEIMER, 2005; S.99]
Abb. 07 [WEIMER, 2005; S.99]
Abb. 08 [WEIMER, 2005; S. 305]
Abb. 09 [WEIMER, 2005; S. 306]
Abb. 10 [REIS FILHO, 1970; S. 31]
Abb. 11 [BROSS, 2002; S. 139]
Abb. 12 [FJP, 2015; Statistik und Daten auf S. 36 und 99]
Abb. 13 [http://www.olhardireto.com.br/imgsite/noticias/daury_riva.jpg, Alexandre Alves aus Sinop; Aktualisiert am 15.05.2012]
Abb. 14 [IBGE 2014; Statistik und Daten mit Stand 2014]
Abb. 15 [KOTTEK, 2006; S. 261]
Abb. 16 [ABNT, 2005; S. 1, 3, 14]
Abb. 17 [RORIZ, 2006; Fensterabbild des Programms]
Abb. 18 [ABNT, 2005; S. 3, 4]
Abb. 19 [ABNT, 2005; S. 3, 4]
Abb. 20 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 21 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 23 [ABNT, 2005; S. 3-5]
Abb. 24 [ABNT, 2005; S. 3-5]
Abb. 25 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 26 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 28 [ABNT, 2005; S. 3, 5]
Abb. 29 [ABNT, 2005; S. 3, 5]
Abb. 30 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 31 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 33 [ABNT, 2005; S. 3, 6]
Abb. 34 [ABNT, 2005; S. 3, 6]
Abb. 35 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 36 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 38 [ABNT, 2005; S. 3, 6, 7]
Abb. 39 [ABNT, 2005; S. 3, 6, 7]
Abb. 40 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 41 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 43 [ABNT, 2005; S. 3, 7]
Abb. 44 [ABNT, 2005; S. 3, 7]
Abb. 45 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 46 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 48 [ABNT, 2005; S. 3, 8]
Abb. 49 [ABNT, 2005; S. 3, 8]
Abb. 50 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 51 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 53 [ABNT, 2005; S. 3, 8, 9]
Abb. 54 [ABNT, 2005; S. 3, 8, 9]
Abb. 55 [Daten aus EnergyPlus]
Abb. 56 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
Abb. 58 [FANGER 1973; http://www.cats-software.com/CATsnewsletter/NL0610/CATs_NewsL_thermischebimngs/abb1.jpg, Dr. J. Seifert, Prof. W. Richter, Aktualisiert 10/2006]
Abb. 59 [ASHRAE, 2010; S. 3]
Abb. 60 [ABNT, 2005]
Abb. 61 [ABNT, 2005; S. 3]
Abb. 62 [GIVONI, 1992; S. 21]
Abb. 63 [ABNT, 2005; S. 14]
Abb. 64 [CASTRO, 2008; S. 14]
Abb. 65 [LABEEEE, 1996; Programm AnalysisBio 2.2 zur Veranschaulichung des Psychrometric Charts]
Abb. 70 [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]
Abb. 71 [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]
Abb. 72 [Auswertungen aus EnergyPlus]
Abb. 73 [BROSS, 2002; S. 135, 136]

- Abb. 74 [BARRETO, 1975; S. 195-198]
- Abb. 75 [<http://www.feiraodacaixa.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Minha-Casa-Minha-Vida-Curitiba-%E2%80%93-PR-%E2%80%93-2014.-01.jpg>, Feirao Imóvel; Aktualisiert am 20.10.2015]
- Abb. 76 [FERREIRA, 2012; S. 58]
- Abb. 77 [ABNT, 2005; S. 3], [IBGE, 2014; S. 21], [FJP, 2015; Daten und Abbild aus S. 36 und 99]
- Abb. 78 [KOWALTOWSKI, 2010; S. 6 Abb. 1]
- Abb. 79 [BROOS, 2002; S. 135 f.] und [CAIXA, 2012; S. 1, 6, 8 f.]
- Abb. 81 [ENERGYPLUS, 2012; Fensterabbild des Programms]
- Abb. 82 [SketchUp 3D; Fensterabbild des Programms]
- Abb. 83 [SketchUp 3D; Fensterabbild des Programms]
- Abb. 85-95 [Daten EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
- Abb. 98 [CAIXA, 2012; S. 1, 6, 8, 9]
- Abb. 103 [OLGYAY, 1998; S. 52]
- Abb. 104 [PROCEL, 2010; S.20] und [ALLARD, 2008; S.90 Gleichung 3.17]
- Abb. 111, 112, 116, 117, 119, 120, 122, 123 [Daten aus EnergyPlus; Auswertung AnalysisBio 2.2]
- Nicht aufgeführte Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zeichnungen, Piktogramme und Darstellungen stammen von der Autorin.

Programmverzeichnis

Beschreibung

EnergyPlus 8.1.0

EPW Datei

AnalysisBio 2.2

ZBBR 2.2

SketchUp 3D

Open Studio

Quelle

U.S. Department of Energy | USA.gov, Dynamisches Gebäudesimulationsprogramm, 2012; Download unter: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>.

Wetterdatei in den Formaten: CSV, EPW (TRY e SWERA) und BIN. Brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.“, 2005; Download unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>.

Brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.“, 2010; Download unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>>.

Zoneamento Bioclimático do Brasil – UFSCar Brasilianischen Universität „Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.“, 2005; Download unter: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>> oder <http://www.roriz.eng.br/download_6.html>.

Google Sketchup OpenStudio SketchUp Plug-in; Download unter: <<http://www.sketchup.com/>>.

OpenStudio SketchUp Plug-in; Download unter: <<https://www.openstudio.net/>>.

Nomenklatur

Symbol	Beschreibung	Einheit
d	Dicke	m
l	Länge	m
b	Breite	m
A	Fläche	m ²
V	Volumen	m ³
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m.K)
C _p	Spezifische Wärmekapazität	kJ/(kg.K)
S	Speicherzahl	kJ/(m ² .K)
ρ	Rohdichte	kg/m ³
R	Wärmedurchlasswiderstand	(m ² .K)/W
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² .K)

Lebenslauf

2014	Forschungsaufenthalt an der <i>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</i> (UTFPR) in Curitiba, Brasilien; unter Betreuung von Prof. Dr. Eduardo L. Krüger.
2010	Promotionsstipendium am Fachbereich Architektur, Fachgebiet Hauskybernetik an der TU Kaiserslautern; unter Betreuung von Jun.Prof. Dr.-Ing. Angèle Tersluisen.
2010	Diplomabschluss Dipl.-Ing. Architektur an der Technischen Universität Kaiserslautern.
2008	Auslandssemester an der <i>Universidad Politécnica de Valencia</i> , Spanien.
2002/2003	Architekturstudium an der Technischen Universität Kaiserslautern.
2002	Abitur an der Deutschen Schule <i>Visconde de Porto Seguro</i> , São Paulo, Brasilien.
1984	geboren in Sao Paulo, Brasilien.

Anlagenverzeichnis

Teil	Beschreibung	Seite
A	Referenzstädte nach der Norm ABNT NBR 15220-3	190
B	Klimaauswertung 8 Klimazonen Brasiliens	192
C1	Numerische Auswertung des Programms AnalysisBio 2.2 – Thermische Behaglichkeit der Klimazonen Brasiliens	199
C2	Numerische Auswertung des Programms AnalysisBio 2.2 – Thermische Behaglichkeit der <i>Casa Térrea vs. Casa Popular</i>	203
D	Auswertungen Simulationender Strategien für die vier auserwählten Klimazonen	206
E	<i>Psychrometric Chart</i> Klima, Raumklima <i>Casa Popular</i> und Raumklima Strategie für die vier auserwählten Klimazonen	212
F	Tabellarische Auswertungen der Strategien für die vier auserwählten Klimazonen	217
G	Katalog Passiver Strategien	219

A

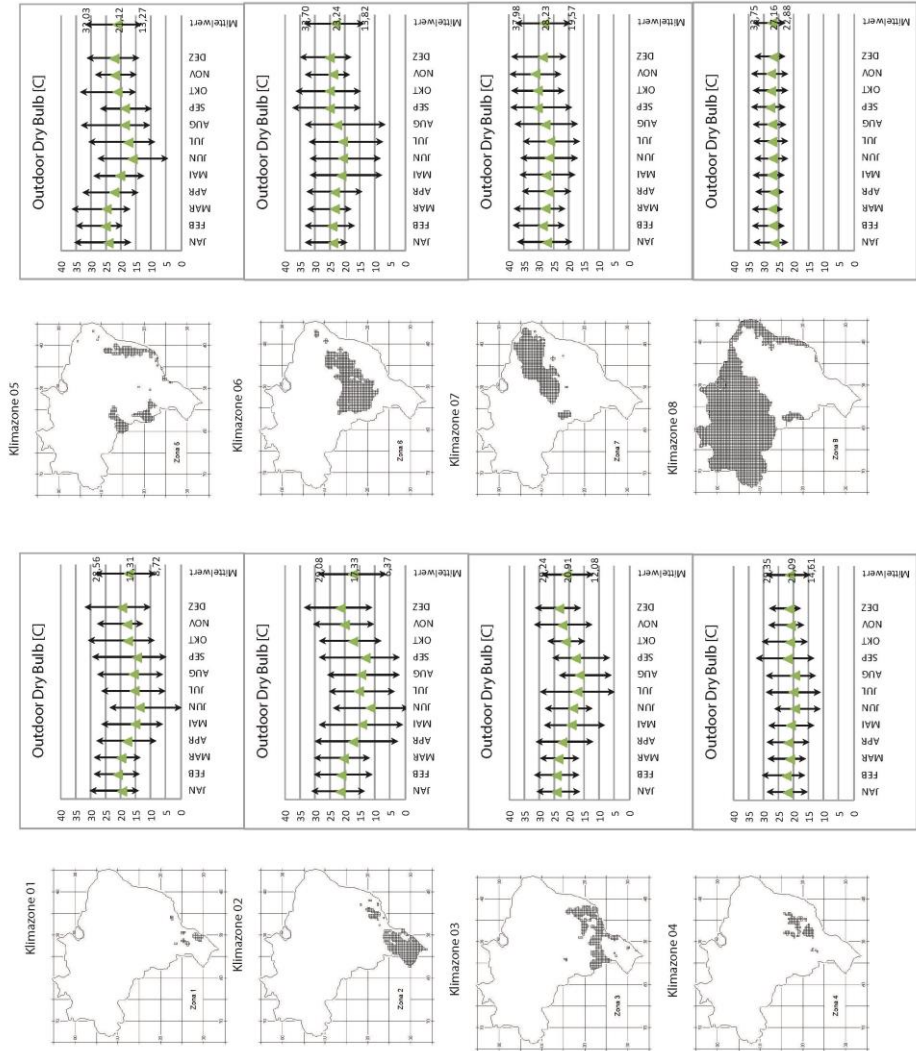
Referenzstädte nach der Norm
ABNT NBR 15220-3

Region I Bundesländer I Bioklimatische Zone nach ABNT NBR 15220-3										
KLIMAZONE	01	02	03	04	05	06	07	08	Summe	
AC - Acre								3	3	Norden
AP - Amapá								1	1	
AM - Amazonas								11	11	
PA - Pará								17	17	
RO - Rondônia								1	1	
RR - Roraima										
TO - Tocantins						1	3		4	
AL - Alagoas					1			7	8	Nordosten
BA - Bahia					3	10	5	14	32	
CE - Ceará					1		9	3	13	
MA - Maranhão							5	5	10	
PB - Paraíba						1	1	6	8	
PE - Pernambuco					1	1	4	10	16	
PI - Piauí							5	1	6	
RN - Rio Grande do Norte							3	6	9	Zentrum
SE - Sergipe								3	3	
DF - Distrito Federal				1					1	
GO - Goiás				2		7	1		10	
MT - Mato Grosso			1		1	1	2	1	6	
MS - Mato Grosso do Sul			2		2	4		1	9	
ES - Espírito Santo								5	5	
MG - Minas Gerais	1	8	22	5	8	7	1		52	Südosten
RJ - Rio de Janeiro		2	6		8			4	20	
SP - São Paulo	1	3	17	9	4	6			40	
PR - Paraná	5	4	6						15	Süden
RS - Rio Grande do Sul	3	10	4						17	
SC - Santa Catarina	2	6	4		1				13	
Gesamt	12	33	62	17	30	38	39	99	330	
%	0,08	6,40	6,50	2,00	5,60	12,6	12,6	53,7	100	

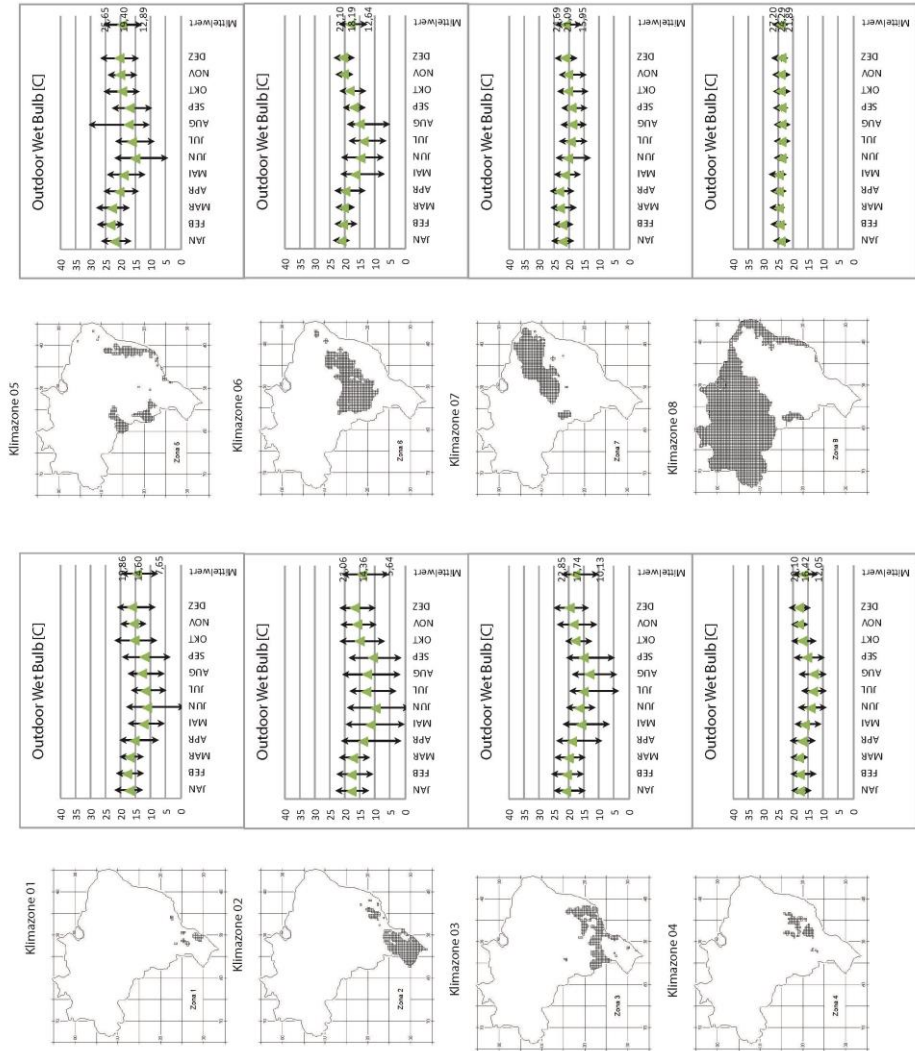
B

Klimaauswertung 8 Klimazonen Brasiliens

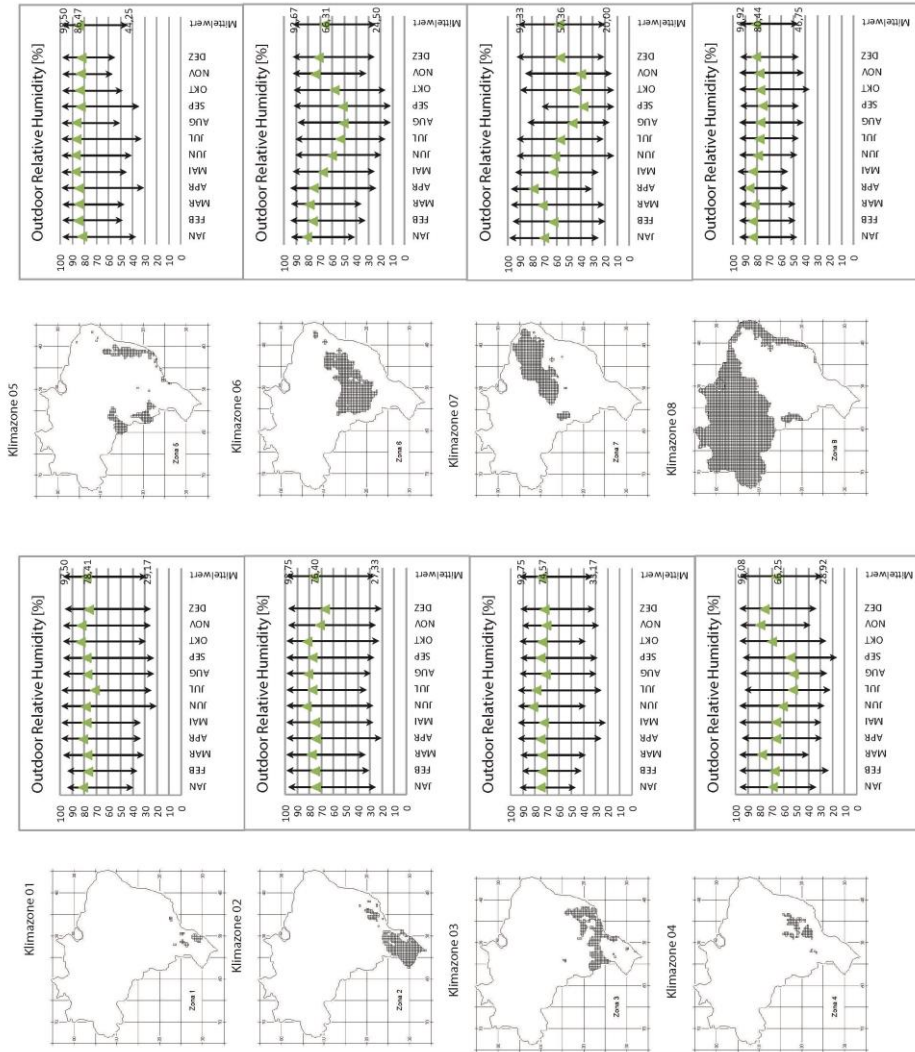
Outdoor Dry Bulb Temperature [°C]



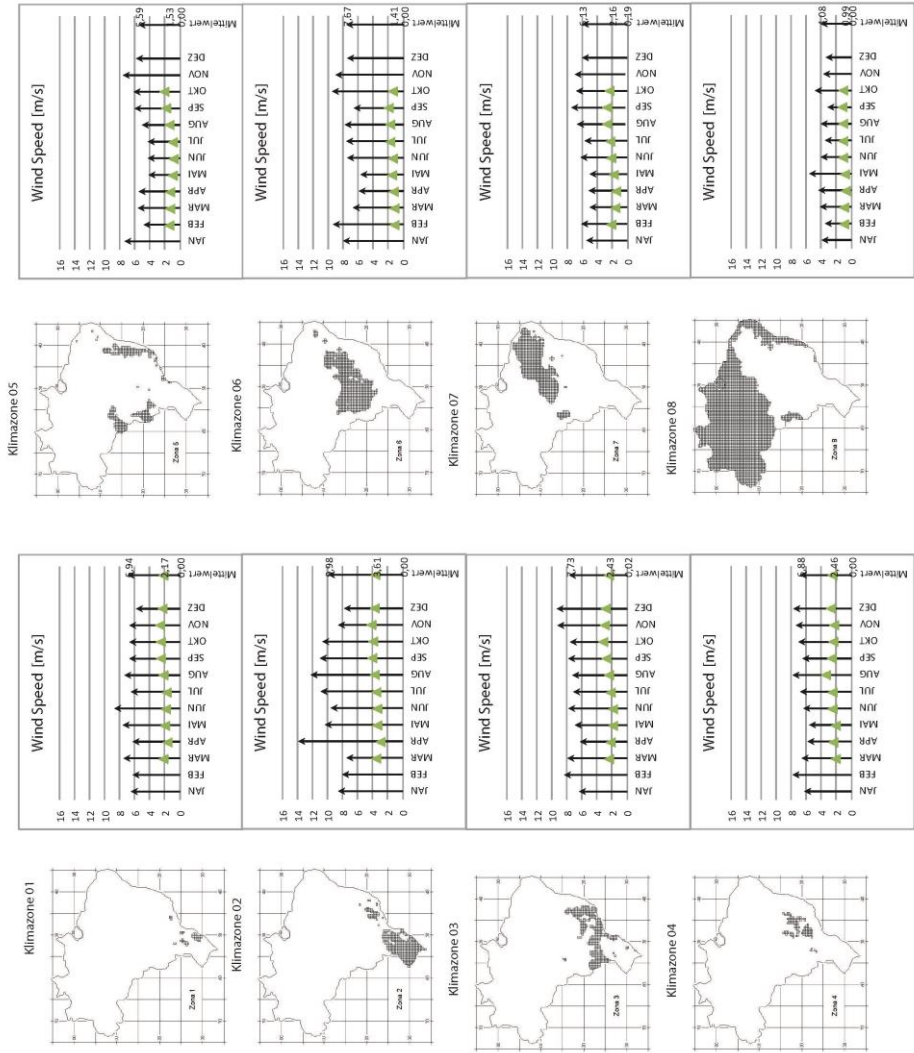
Outdoor Wet Bulb Temperature [°C]



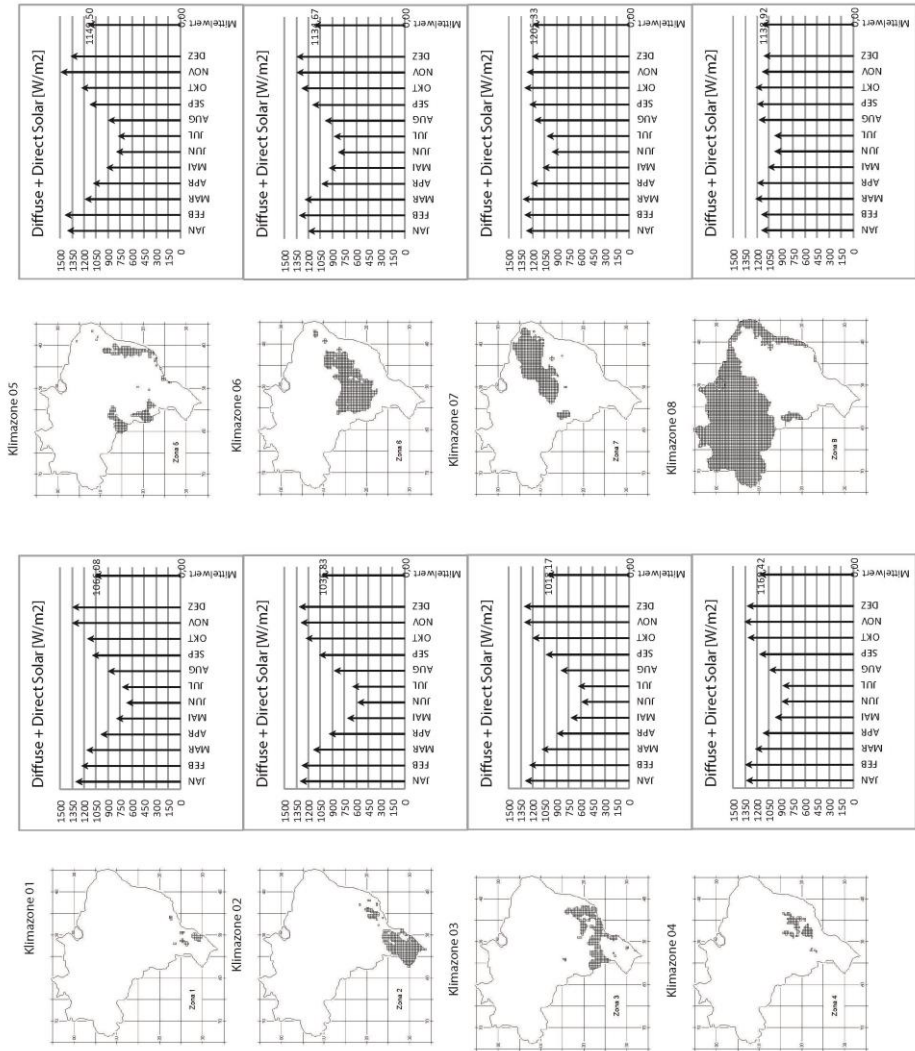
Outdoor Relative Humidity [%]



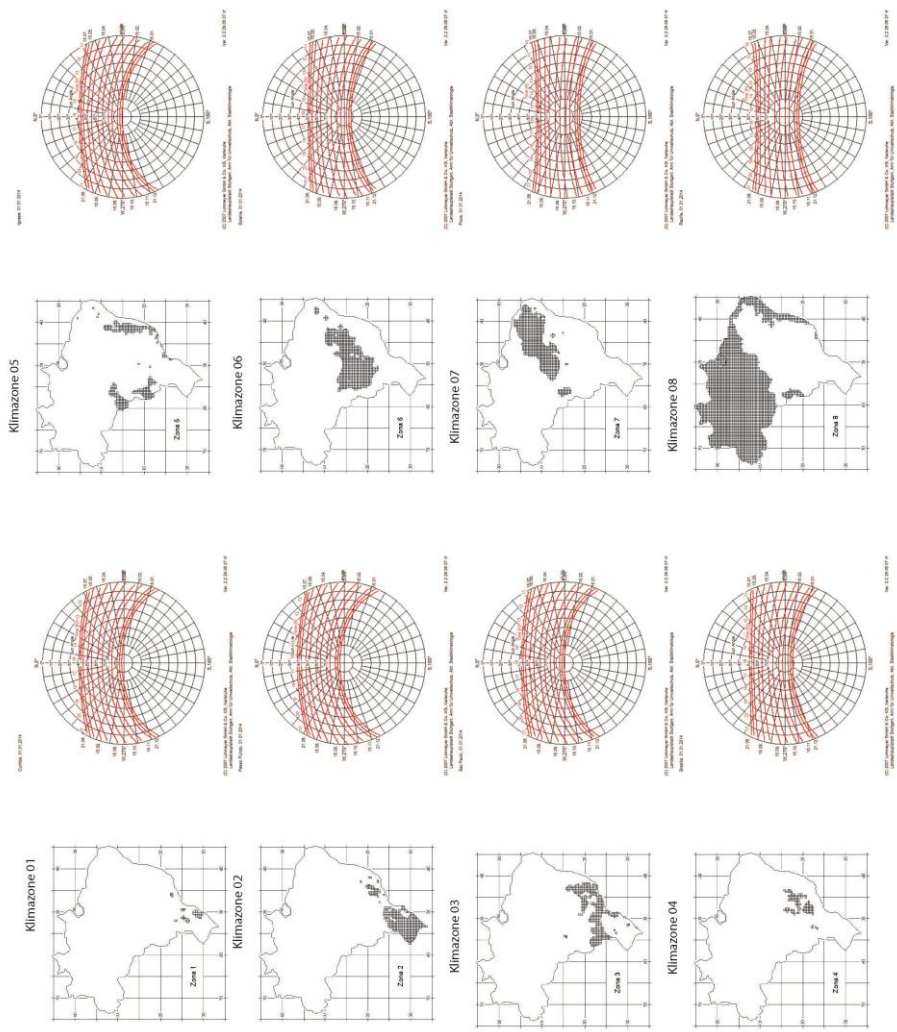
Wind Speed [m/s]



Diffuse + Direct Solar [W/m²]



Sun Rotation Diagram



C1

Numerische Auswertung des Programms

AnalysisBio 2.2 – Thermische Behaglichkeit der Klimazonen Brasiliens

Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	77,48	71,09	60,94	40,66	10,85	35,81	0,00	1,12	18,28	36,73	57,00	74,76	40,39
Unbehaglichkeit (%)	22,52	28,91	39,06	59,34	89,15	64,19	100,00	98,88	81,72	63,27	43,00	25,24	59,61
09. Künstlich Heizen						21,00	20,94	14,61	1,08				14,41
08. Passive Solare Wärme				15,39	40,97	43,19	40,69	39,33	37,64	22,46	3,00		30,33
07. Speichermasse/Solare Wärme	22,52	28,91	39,06	43,95	48,18		38,37	44,94	43,00	40,81	40,00	25,24	37,73
06. Befeuchtung													
02. Ventilation													
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung													
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	22,52	28,91	39,06	59,34	89,15	64,19	100,00	98,88	81,72	63,27	43,00	25,24	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	22,52	28,91	39,06	59,34	89,15	64,19	100,00	98,88	81,72	63,27	43,00	25,24	82,47
Thermisches Empfinden Warm (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Klimazone 01
Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	53,95	15,31	48,85	45,46	24,99	8,34	7,09	21,43	33,33	45,46	55,08	56,87	34,71
Unbehaglichkeit (%)	46,05	84,69	51,35	54,54	75,01	91,66	92,31	78,57	66,67	54,54	44,92	43,13	65,29
09. Künstlich Heizen					12,51	29,17	34,62	26,01	4,17			43,13	24,77
08. Passive Solare Wärme				18,19	29,16	29,16	26,92	25,00	29,17	18,18	8,34		23,02
07. Speichermasse/Solare Wärme	36,37	36,36	45,44	36,35	33,34	33,33	30,77	28,56	33,33	36,36	36,58		35,16
06. Befeuchtung													
02. Ventilation	9,68	48,33	5,91										21,31
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung													
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	46,05	84,69	51,35	54,54	75,01	91,66	92,31	78,57	66,67	54,54	44,92	43,13	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	36,37	36,36	45,44	54,54	75,01	91,66	92,31	78,57	66,67	54,54	44,92	43,13	82,95
Thermisches Empfinden Warm (%)	9,68	48,33	5,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,31

Klimazone 02
Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	43,28	28,92	45,81	51,35	56,86	38,66	33,80	40,29	52,46	55,39	58,24	86,14	49,27
Unbehaglichkeit (%)	56,72	71,08	54,19	48,65	43,14	61,34	66,20	59,71	47,54	44,61	41,76	13,86	50,73
09. Künstlich Heizen													
08. Passive Solare Wärme						8,00	9,66						8,93
07. Speichermasse/Solare Wärme				23,94	43,14	53,34	56,34	59,71	47,54	44,61	22,58		43,90
06. Befeuchtung													
02. Ventilation	44,37	68,45	50,31	24,71							19,18	13,87	36,82
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung	12,35	2,63	3,88										6,26
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	56,72	71,08	54,19	48,65	43,14	61,34	66,20	59,71	47,54	44,61	41,76	13,87	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	0,00	0,00	0,00	23,94	43,14	61,34	66,20	59,71	47,54	44,61	22,58	0,00	52,83
Thermisches Empfinden Warm (%)	56,72	71,08	54,19	24,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,18	13,87	43,10

Klimazone 03

Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	72,97	64,72	68,29	71,57	71,96	60,50	58,20	73,23	83,73	94,06	75,02	60,32	71,21
Unbehaglichkeit (%)	27,03	35,28	31,71	28,43	28,04	39,50	41,80	26,77	16,27	5,94	24,98	39,68	28,79
09. Künstlich Heizen													
08. Passive Solare Wärme						5,88	9,02						7,45
07. Speichermasse/Solare Wärme	27,03	27,95	26,05	28,43	28,04	33,62	32,78	26,77	16,27	5,94	24,98	28,74	25,55
06. Befeuchtung													
02. Ventilation		7,33	5,66									10,94	7,98
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung													
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	27,03	35,28	31,71	28,43	28,04	39,50	41,80	26,77	16,27	5,94	24,98	39,68	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	27,03	27,95	26,05	28,43	28,04	39,50	41,80	26,77	16,27	5,94	24,98	28,74	33,00
Thermisches Empfinden Warm (%)	0,00	7,33	5,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,94	7,98

Klimazone 04
Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	76,80	61,22	100,00	44,53	61,51	62,65	45,00	66,67	60,18	40,34	61,44	52,15	61,04
Unbehaglichkeit (%)	23,20	38,78	0,00	55,47	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	59,66	38,56	47,85	38,96
09. Künstlich Heizen													
08. Passive Solare Wärme							5,00						5,00
07. Speichermasse/Solare Wärme				9,73	38,49	37,35	50,00	33,33	39,82	27,57	1,71		29,75
06. Befeuchtung													
02. Ventilation	23,20	38,78		45,74						32,09	36,85	47,85	37,42
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung													
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	23,20	38,78	0,00	55,47	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	59,66	38,56	47,85	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	0,00	0,00	0,00	9,73	38,49	37,35	55,00	33,33	39,82	27,57	1,71	0,00	34,75
Thermisches Empfinden Warm (%)	23,20	38,78	0,00	45,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,09	36,85	47,85	37,42

Klimazone 05
Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	58,74	53,54	55,79	64,03	81,84	71,33	69,43	67,90	78,99	74,93	60,66	61,64	66,55
Unbehaglichkeit (%)	41,26	46,46	44,21	35,97	18,36	28,67	30,57	32,10	21,01	25,07	39,34	38,36	33,45
09. Künstlich Heizen													
08. Passive Solare Wärme													
07. Speichermasse/Solare Wärme	3,17	3,10	4,72	13,05	15,27	26,67	25,48	18,52			3,97	3,27	11,72
06. Befeuchtung													
02. Ventilation	19,25	22,21	15,27	4,25							14,04	18,87	15,65
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung	18,84	21,15	24,22	18,67	3,06	2,00	5,09	13,58	21,01	25,07	21,33	16,22	15,86
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen													
Gesamt (%)	41,26	46,46	44,21	35,97	18,36	28,67	30,57	32,10	21,01	25,07	39,34	38,36	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	3,17	3,10	4,72	13,05	15,27	26,67	25,48	18,52	0,00	0,00	3,97	3,27	11,72
Thermisches Empfinden Warm (%)	38,09	43,36	39,49	22,92	3,09	2,00	5,09	13,58	21,01	25,07	35,37	35,09	31,50

Klimazone 06

Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	48,92	49,00	0,00	24,39	51,15	70,00	70,83	61,75	48,92	46,55	46,97	41,74	46,67
Unbehaglichkeit (%)	51,08	51,00	100,00	75,61	48,85	30,00	29,37	38,25	51,08	53,45	53,03	58,28	53,33
09. Künstlich Heizen													89,61
08. Passive Solare Wärme													
07. Speichermasse/Solare Wärme													
06. Befeuchtung			89,61										89,61
02. Ventilation	5,51	6,03		58,98	10,22								20,19
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung	31,77	31,99		8,32	30,62	21,43	20,98	20,13	21,59	25,87	23,71	32,46	24,44
10. Ventilation/Speichermasse	5,43	4,87											5,15
04. Speichermasse zum Kühlen	7,82	8,11			2,37								7,30
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung					5,64	8,57	8,39	18,12	21,1	22,38	16,08	2,58	12,86
03. Verdunstungskühlung									8,39	5,2	13,24		8,94
05. Künstlich Kühlen	0,75		10,39	8,31									7,89
Gesamt (%)	51,08	51,00	100,00	75,61	48,85	30,00	29,37	38,25	51,08	53,45	53,03	58,28	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thermisches Empfinden Warm (%)	51,08	51,00	10,39	75,61	48,85	30,00	29,37	38,25	51,08	53,45	53,03	58,28	86,77

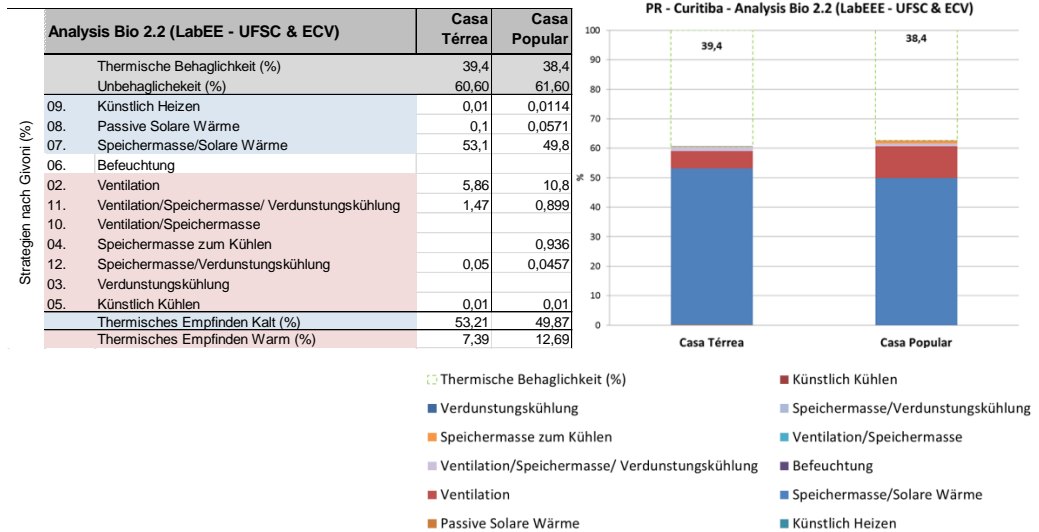
Klimazone 07
Analysis Bio 2.2 (LabEE - UFSC & ECV)

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Behaglichkeit (%)	16,58	26,46	27,80	1,50	34,00	37,90	40,00	39,95	39,85	39,79	39,84	25,48	42,80
Unbehaglichkeit (%)	83,42	73,54	72,20	98,50	65,40	62,10	60,00	60,05	60,15	60,21	60,16	74,54	57,20
09. Künstlich Heizen													
08. Passive Solare Wärme													
07. Speichermasse/Solare Wärme								0,05	0,15	0,21	0,16		0,14
06. Befeuchtung													
02. Ventilation	54,47	59,89	55,57	43,24	48,06	48,82	48,36	45,29	44,74	43,39	42,87	44,13	48,05
Ventilation/Speichermasse/													
11. Verdunstungskühlung	13,42	13,54	12,2	10,5	5,4	2,1						14,54	10,24
10. Ventilation/Speichermasse													
04. Speichermasse zum Kühlen													
12. Speichermasse/Verdunstungskühlung													
03. Verdunstungskühlung													
05. Künstlich Kühlen	15,53	0,31	4,43	44,78	11,94	13,18	11,84	14,71	15,26	16,61	17,13	15,87	15,11
Gesamt (%)	83,42	73,54	72,2	98,5	65,4	62,1	60	60,05	60,15	60,21	60,16	74,54	
Thermisches Empfinden Kalt (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,21	0,16	0,00	0,14
Thermisches Empfinden Warm (%)	83,42	73,54	72,20	98,50	65,40	62,10	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	74,54	73,41

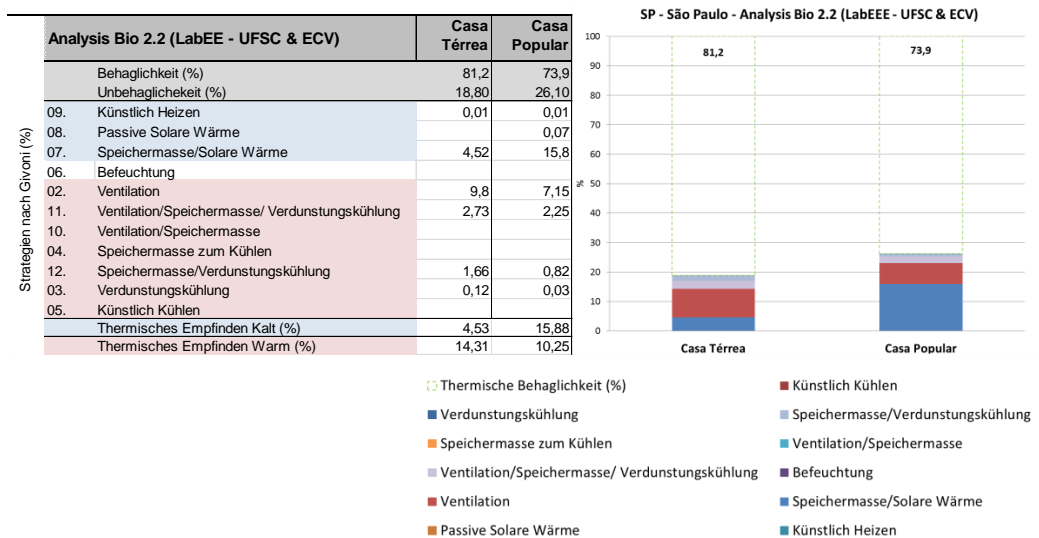
Klimazone 08

C2

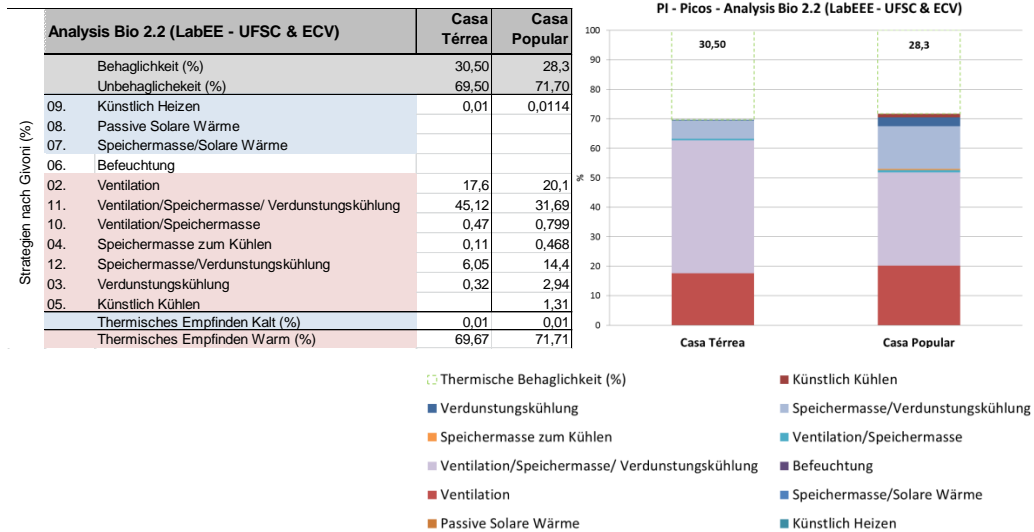
Numerische Auswertung des Programms
AnalysisBio 2.2 – Thermische Behaglichkeit der
Casa Térrea vs. Casa Popular



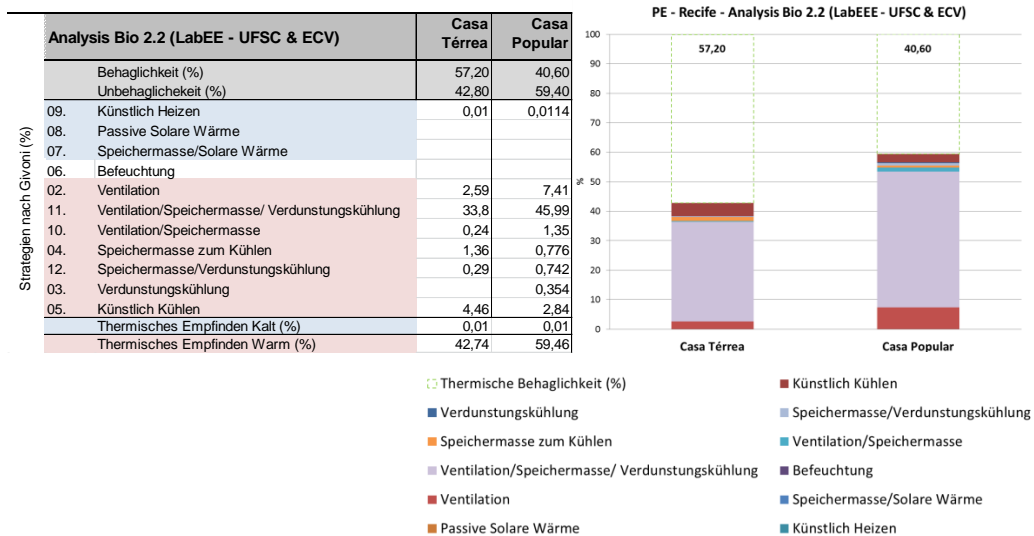
Klimazone 01 Casa Térrea vs. Casa Popular



Klimazone 03 Casa Térrea vs. Casa Popular



Klimazone 07 Casa Térrea vs. Casa Popular



Klimazone 08 Casa Térrea vs. Casa Popular

D

Auswertungen Simulationender Strategien
für die vier auserwählten Klimazonen

Auswertungen Klimazone 01 Heizwärmebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN	MAX	Δ Strategie	
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimut 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,11	343,24	344,03	347,17	350,32	352,38	351,69	348,94	343,24	352,38	-2,59%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,54%	0,00%	-0,23%	-1,15%	-2,06%	-2,59%	-2,46%	-1,66%		-2,59%		
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,11	343,14	343,63	346,98	350,32	352,28	351,40	348,75	343,14	352,28	-2,59%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,03%	0,11%	0,06%	0,00%	0,03%	0,08%	0,06%		0,03%		
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	Fensterdrehung um 90°	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,90	344,72	345,11	347,37	349,63	351,20	350,42	348,35	344,72	351,20	-1,85%
					Differenz Ist-Zustand [%]	-0,23%	-0,43%	-0,31%	-0,06%	0,20%	-0,33%	0,36%	0,17%		-0,43%	
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	Fensterdrehung	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	346,68	344,03	343,34	345,50	348,94	352,09	352,38	350,32	343,34	352,38	-2,57%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,46%	-0,23%	0,20%	0,48%	0,39%	0,08%	-0,20%	-0,39%		-0,03%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	Fensterdrehung	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,80	344,62	345,50	347,86	349,63	350,91	350,42	348,65	344,62	350,91	-1,79%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,20%	-0,40%	-0,43%	-0,20%	0,20%	0,42%	0,36%	0,08%		-0,40%		
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	344,52	342,75	343,83	347,07	350,42	352,38	351,50	348,35	342,75	352,38	-2,73%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,14%	0,06%	0,03%	-0,03%	0,00%	0,06%	0,17%		0,00%		
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,70	343,93	345,31	348,65	351,99	353,76	352,78	349,43	343,93	353,76	-2,78%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,17%	-0,20%	-0,37%	-0,42%	-0,48%	-0,39%	-0,31%	-0,14%		-0,20%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	300,58	299,01	299,80	303,04	305,99	307,95	307,17	304,42	299,01	307,95	-2,90%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	12,90%	12,89%	12,86%	12,71%	12,65%	12,61%	12,66%	12,76%		12,89%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	270,21	268,83	269,62	272,86	275,62	277,58	276,60	273,94	268,83	277,58	-3,15%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	21,70%	21,68%	21,63%	21,40%	21,32%	21,23%	21,35%	21,49%		21,68%		
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	342,85	351,69	-2,52%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	0,17%	0,17%	0,20%	0,20%	0,22%	0,23%		0,11%		
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	342,85	351,69	-2,52%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	0,17%	0,17%	0,20%	0,20%	0,22%	0,23%		0,11%		
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	344,52	342,85	347,17	347,17	350,32	352,38	351,30	348,16	342,85	352,38	-2,71%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,17%	0,11%	-0,91%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,23%		0,11%			
M - Material	Außenwand	Lehputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	343,83	341,96	342,85	346,19	349,43	351,50	350,71	347,76	341,96	351,50	-2,71%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,37%	0,37%	0,34%	0,28%	0,25%	0,25%	0,28%	0,34%		0,37%		
	Außenwand	Lehputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	343,34	341,47	342,55	345,90	349,24	351,20	350,42	347,27	341,47	351,20	-2,77%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,51%	0,52%	0,43%	0,37%	0,31%	0,33%	0,36%	0,48%		0,52%		
	Außenwand	Absorptionsgrad 0.2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	344,81	343,04	343,73	346,88	350,02	352,19	351,50	348,65	343,04	352,19	-2,60%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,69%	0,08%	0,09%	0,08%	0,08%	0,06%	0,08%	0,08%		0,06%		
Außenwand	Absorptionsgrad 0.5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,01	343,14	343,93	347,07	350,22	352,38	351,69	348,84	343,14	352,38	-2,62%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,03%		0,03%			
Außenwand	Absorptionsgrad 0.8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	345,11	343,34	344,03	347,17	350,32	352,48	351,79	348,94	343,34	352,48	-2,59%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	-0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,03%	-0,03%	0,00%		-0,03%			

Auswertungen Klimazone 03 Heizwärmebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	Klimazone 03											MAX	Δ Strategie
					0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN				
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,93	78,54	78,83	80,11	80,90	81,68	81,29	80,31	78,54	81,68	-3,85%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,50%	0,00%	-0,38%	-2,00%	-2,92%	-3,85%	-3,50%	-2,25%	0,00%	-3,85%			
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	79,03	78,44	78,63	80,11	81,09	81,58	80,99	80,31	78,44	81,58	-3,86%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00	0,13%	0,25%	0,00%	-0,24%	0,12%	0,36%	0,00%	0,13%	0,12%			
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	79,13	79,03	79,22	80,21	80,80	81,29	80,80	80,11	80,11	79,03	81,29	-2,78%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,25%	-0,63%	-0,50%	-0,12%	0,12%	0,48%	0,60%	0,24%	0,00%	-0,63%	0,48%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	79,42	78,73	78,54	79,52	80,60	81,58	81,49	80,80	80,80	78,54	81,58	-3,73%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,62%	-0,25%	0,37%	0,74%	0,36%	0,12%	-0,24%	-0,61%	0,00%	0,12%	0,12%			
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	79,03	78,93	79,42	80,40	80,70	81,09	80,90	80,31	78,93	81,09	-2,67%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,12%	-0,50%	-0,75%	-0,37%	0,24%	0,72%	0,48%	0,00%	-0,50%	0,72%				
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	74,60	74,21	74,60	76,08	76,96	77,85	77,26	76,28	74,21	77,85	-4,67%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,48%	5,51%	5,36%	5,03%	4,86%	4,69%	4,96%	5,02%	5,51%	4,69%			
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	72,15	71,75	72,25	73,72	74,70	75,49	74,90	73,82	71,75	75,49	-4,95%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	8,59%	8,64%	8,35%	7,98%	7,65%	7,58%	7,86%	8,08%	8,64%	7,58%			
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	74,90	74,51	75,00	76,18	77,06	77,85	77,16	76,28	74,51	77,85	-4,05%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,11%	5,13%	4,86%	4,91%	4,74%	4,93%	5,08%	5,02%	5,13%	4,93%			
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	71,95	71,56	72,05	73,33	74,11	74,70	74,21	73,23	71,56	74,70	-4,21%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	8,84%	8,89%	8,60%	8,47%	8,38%	8,54%	8,71%	8,81%	8,89%	8,54%			
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,83	78,44	78,83	80,01	80,80	81,49	80,99	80,11	78,44	81,49	-3,74%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	0,00%	0,12%	0,12%	0,24%	0,36%	0,24%	0,13%	0,24%			
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,83	78,44	78,83	80,01	80,80	81,49	80,99	80,11	78,44	81,49	-3,74%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	0,00%	0,12%	0,12%	0,24%	0,36%	0,24%	0,13%	0,24%			
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,83	78,44	80,11	80,11	80,90	81,68	81,09	80,11	78,44	81,68	-3,97%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	0,13%	-1,62%	0,00%	0,00%	0,24%	0,24%	0,00%	0,13%	0,00%				
M - Material	Außenwand	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	76,47	76,08	76,37	77,85	78,63	79,42	79,03	78,05	76,08	79,42	-4,21%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	3,11%	3,13%	3,12%	2,82%	2,79%	2,77%	2,78%	2,82%	3,13%	2,77%			
	Außenwand	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	74,60	74,21	74,60	76,08	76,96	77,75	77,26	76,28	74,21	77,75	-4,55%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,48%	5,51%	5,36%	5,03%	4,86%	4,61%	4,96%	5,02%	5,51%	4,61%			
	Außenwand	Absorptionsgrad 0,2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,93	78,54	78,83	80,21	80,99	81,68	81,29	80,40	78,54	81,68	-3,85%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,12%	-0,12%	0,00%	0,00%	-0,12%	0,00%	0,00%			
Außenwand	Absorptionsgrad 0,5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,93	78,54	78,93	80,21	80,99	81,78	81,29	80,40	78,54	81,78	-3,97%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	0,00%	-0,12%	0,00%	-0,12%				
Außenwand	Absorptionsgrad 0,8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	78,93	78,54	78,83	80,31	81,19	81,88	81,49	80,50	78,54	81,88	-4,08%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,25%	-0,36%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	0,00%	-0,24%				

Auswertungen Klimazone 03 Kühlenergiebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	Kühlenergiebedarf											MAX	Δ Strategie
					0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN				
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimut 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,08	7,27	7,18	7,08	6,39	6,29	6,39	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-11,11%	-13,51%	-12,33%	-11,11%	-1,54%	0,00%	-1,54%	0,00%	-1,54%	-9,86%	-13,51%		
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,18	7,27	7,08	7,08	6,49	6,29	6,29	6,98	6,29	7,27	-13,51%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	0,00%	1,37%	0,00%	-1,54%	0,00%	1,54%	0,00%	0,00%	-13,51%			
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,18	7,18	6,98	6,98	6,49	6,39	6,39	6,39	6,98	6,98	7,18	-10,96%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	1,35%	2,74%	1,39%	-1,54%	-1,56%	0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	-10,96%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,18	7,27	7,08	7,08	6,59	6,29	6,29	6,29	6,88	6,29	7,27	-13,51%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	0,00%	1,37%	0,00%	-3,08%	0,00%	1,54%	1,41%	0,00%	0,00%	-13,51%			
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	6,98	7,18	7,18	7,08	6,39	6,39	6,49	7,08	7,08	6,98	7,18	-10,96%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	1,39%	1,35%	0,00%	0,00%	-1,56%	-1,54%	0,00%	-1,41%	0,00%	1,35%	-10,96%			
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	5,01	5,21	5,21	5,01	4,52	4,52	4,52	5,01	5,01	5,21	-13,21%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	29,17%	28,38%	27,40%	29,17%	29,23%	28,13%	29,23%	28,17%	28,38%	28,38%	-13,21%		
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	3,83	3,93	3,93	3,83	3,44	3,44	3,54	3,83	3,44	3,93	-12,50%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	45,83%	45,95%	45,21%	45,83%	46,15%	45,31%	44,62%	45,07%	45,95%	45,95%	-12,50%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	8,06	8,16	8,06	7,96	7,27	7,08	7,18	7,86	7,08	8,16	-13,25%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-13,89%	-12,18%	-12,33%	-12,50%	-13,85%	-12,50%	-12,31%	-12,68%	-12,50%	-12,18%	-13,25%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	8,75	8,94	8,75	8,65	7,77	7,77	7,77	8,55	7,77	8,94	-13,19%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-23,61%	-22,97%	-21,92%	-22,22%	-23,08%	-23,44%	-21,54%	-22,54%	-22,97%	-22,97%	-13,19%		
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,08	7,27	7,08	6,98	6,39	6,29	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-13,51%		
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,08	7,27	7,08	6,98	6,39	6,29	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-13,51%			
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,08	7,27	7,08	7,08	6,39	6,29	6,39	6,98	6,29	7,27	-13,51%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	1,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-13,51%			
M - Material	Außenwand Dicke 2cm	Lehputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	6,00	6,09	6,09	6,00	5,41	5,31	5,41	5,90	6,09	-12,90%			
				Differenz Ist-Zustand [%]	15,28%	16,22%	15,07%	15,28%	15,38%	15,63%	15,38%	15,49%	16,22%	16,22%	-12,90%		
	Außenwand Dicke 4cm	Lehputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	5,01	5,21	5,21	5,11	4,62	4,62	4,62	5,01	4,62	5,21	-11,32%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	29,17%	28,38%	27,40%	27,78%	27,69%	26,56%	27,69%	28,17%	28,38%	28,38%	-11,32%		
	Außenwand Absorptionsgrad 0.2	Absorptionsgrad 0.2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,37	7,57	7,47	7,37	6,78	6,59	6,59	7,27	6,59	7,57	-12,99%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-4,17%	-4,05%	-4,17%	-4,17%	-6,15%	-4,69%	-3,08%	-4,23%	-4,69%	-4,05%	-12,99%		
Außenwand Absorptionsgrad 0.5	Absorptionsgrad 0.5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,27	7,37	7,27	7,18	6,59	6,39	6,49	7,08	6,39	7,37	-13,33%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-2,78%	-1,35%	-1,37%	-1,39%	-3,08%	-1,56%	-1,54%	-1,41%	-1,56%	-1,35%	-13,33%			
Außenwand Absorptionsgrad 0.8	Absorptionsgrad 0.8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	7,18	7,27	7,18	7,08	6,49	6,39	6,39	7,08	6,39	7,27	-12,16%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-1,39%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,54%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,41%	0,00%	-12,16%			

Auswertungen Klimazone 07 Kühlenergiebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN	MAX	Δ Strategie	
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	162,09	162,28	159,92	161,79	160,51	161,40	161,59	162,48	159,92	162,48	-1,57%	
				Ist-Zustand [%]	-1,33%	-1,45%	0,00%	-0,37%	-0,91%	-1,03%	-1,57%					-1,57%
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	162,68	162,68	160,12	161,69	161,10	161,40	161,10	162,48	160,12	162,68	-0,12%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,36%	-0,24%	-0,12%	0,06%	-0,37%	0,00%	0,30%	0,00%	0,00%			-0,12%
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	Fensterdrehung um 90°	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	162,48	161,89	160,22	162,58	161,30	161,69	160,51	160,91	160,22	162,58	-0,18%
					Differenz Ist-Zustand [%]	-0,24%	0,24%	-0,18%	-0,49%	-0,49%	-0,18%	0,67%	0,97%	0,97%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	Fensterdrehung um 90°	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	162,77	162,18	160,22	161,89	161,00	161,00	160,81	162,09	160,22	162,77	-0,18%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,42%	0,06%	-0,18%	-0,06%	-0,31%	0,24%	0,48%	0,24%	0,24%			-0,18%
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	Fensterdrehung um 90°	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,30	162,28	161,50	161,59	160,12	161,59	162,97	162,58	160,12	162,97	-0,12%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,49%	0,00%	-0,98%	0,12%	0,24%	-0,12%	-0,85%	-0,06%	-0,06%			-0,12%
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	153,93	154,42	154,32	153,44	151,18	152,85	152,85	152,36	151,18	154,42	-2,10%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	5,03%	4,85%	3,50%	5,16%	5,82%	5,30%	5,41%	6,23%				4,96%
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	147,15	149,41	146,95	145,57	145,38	147,24	147,74	148,23	145,38	149,41	-2,70%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	9,22%	7,93%	8,11%	10,02%	9,43%	8,77%	8,58%	8,77%				8,05%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	165,33	165,43	163,17	164,74	163,56	164,45	163,56	165,62	163,17	165,62	-1,48%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-2,00%	-1,94%	-2,03%	-1,82%	-1,90%	-1,89%	-1,22%	-1,94%				-1,94%
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	167,59	167,79	167,30	167,00	165,72	166,61	165,72	167,89	165,72	167,89	-3,33%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	-3,40%	-3,39%	-4,61%	-3,22%	-3,25%	-3,23%	-2,55%	-2,55%				-3,33%
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,79	161,89	160,22	161,40	160,22	161,10	160,91	161,99	160,22	161,99	-1,09%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-0,18%	0,24%	0,18%	0,18%	0,43%	0,30%	0,30%			0,30%
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,79	161,89	160,22	161,40	160,22	161,10	160,91	161,99	160,22	161,99	-1,09%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-0,18%	0,24%	0,18%	0,43%	0,30%	0,30%	0,30%			0,30%
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,79	161,89	161,79	161,79	160,51	161,40	161,40	162,09	160,51	162,09	-0,37%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,18%	0,24%	-1,17%	0,00%	0,00%	0,30%	0,30%	0,24%	0,24%			0,24%	
M - Material	Außenwand Dicke 2cm	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	158,25	159,04	159,33	157,76	155,30	157,56	157,96	158,65	155,30	159,33	-2,53%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	2,37%	2,00%	0,37%	2,49%	3,25%	2,38%	2,25%	2,36%				1,94%
	Außenwand Dicke 4cm	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	155,11	155,50	155,50	154,52	153,34	154,03	154,91	154,71	153,34	155,50	-1,39%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	4,31%	4,18%	2,77%	4,50%	4,47%	4,57%	4,14%	4,78%				4,30%
	Außenwand Absorptionsgrad 0.2	Absorptionsgrad 0.2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,59	162,18	159,53	161,20	160,12	160,81	161,00	161,89	159,53	162,18	0,25%	
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,30%	0,06%	0,25%	0,36%	0,24%	0,37%	0,36%	0,36%	0,36%			0,18%
Außenwand Absorptionsgrad 0.5	Absorptionsgrad 0.5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	161,89	162,48	159,73	161,50	160,32	161,10	161,40	162,28	159,73	162,48	0,12%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,12%	-0,12%	0,12%	0,18%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%			0,00%	
Außenwand Absorptionsgrad 0.8	Absorptionsgrad 0.8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	162,09	162,58	159,92	161,79	160,51	161,30	161,59	162,48	159,92	162,58	0,00%		
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	-0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,06%	0,00%			-0,06%	

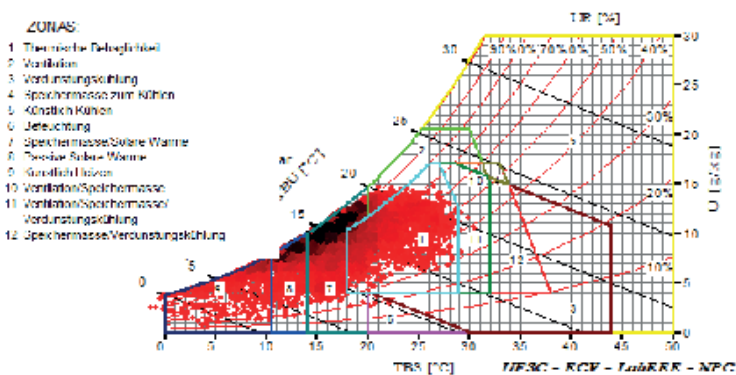
Auswertungen Klimazone 08 Kühlenergiebedarf

Strategie	Maßnahme	Beschreibung	Kennzeichen	Einheit	Kühlenergiebedarf												MAX	Δ Strategie
					0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	MIN					
G - Gebäude	Ausrichtung Gebäude	Drehung Azimuth 0° bis 315°	G_AG_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,14	102,13	101,64	101,05	99,47	99,87	100,16	101,64	101,64	99,47	102,13	-2,60%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-1,65%	-2,60%	-2,13%	-1,56%	0,00%	-0,20%	-0,68%	-2,13%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%		
	Ausrichtung Dach	Dachdrehung um 90°	G_AD_D90_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,83	102,13	100,95	101,05	100,16	99,67	99,47	101,73	101,73	99,47	102,13	-2,60%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,68%	0,00%	0,68%	0,00%	-0,69%	0,00%	0,69%	-0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%		
	Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 01	G_AF_Z01_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,34	101,83	100,85	101,54	100,65	100,06	99,37	101,05	101,05	99,37	101,83	-2,41%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,19%	0,29%	0,77%	-0,49%	-1,19%	-0,39%	0,77%	0,58%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,41%		
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 02	G_AF_Z02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,64	101,83	101,24	101,24	100,36	99,57	98,88	100,75	100,75	98,88	101,83	-2,90%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,49%	0,29%	0,39%	-0,19%	-0,89%	0,10%	-1,28%	0,87%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,90%			
Ausrichtung Fenster	Fensterdrehung Gebäudezone 03	G_AF_Z03_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	100,16	101,64	102,13	100,85	99,18	99,87	101,05	101,34	101,34	99,18	102,13	-2,89%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,97%	0,48%	-0,48%	0,19%	0,30%	-0,20%	-0,88%	0,29%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,89%			
K - Konstruktion	Bauteildicke	Außenwand Dicke 15cm	K_BD_AW_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	93,77	94,46	94,17	93,18	91,71	92,00	92,89	94,07	94,07	91,71	94,46	-2,91%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	7,29%	7,51%	7,35%	7,78%	7,81%	7,69%	7,26%	7,45%	7,81%	7,51%	7,51%	-2,91%		
	Bauteildicke	Außenwand Dicke 20cm	K_BD_AW_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	88,76	89,25	88,76	87,78	86,30	86,79	87,58	88,35	88,35	86,30	89,25	-3,41%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	12,24%	12,61%	12,67%	13,13%	13,24%	12,92%	12,56%	12,09%	12,24%	12,51%	12,51%	-3,41%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 15cm	K_BD_BP_15_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	108,42	109,50	108,91	108,12	106,35	106,34	107,43	109,01	109,01	106,35	109,50	-2,87%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-7,19%	-7,22%	-7,16%	-7,00%	-6,82%	-7,30%	-7,26%	-7,25%	-7,19%	-7,22%	-7,22%	-2,87%		
	Bauteildicke	Bodenplatte Dicke 20cm	K_BD_BP_20_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	114,32	115,10	114,61	113,43	111,37	112,35	113,14	114,51	114,51	111,37	115,10	-3,25%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-13,02%	-12,70%	-12,77%	-12,26%	-11,96%	-12,72%	-12,95%	-12,67%	-12,70%	-12,70%	-11,96%	-12,70%	-3,25%	
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 25cm	K_BT_VF_25_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	100,85	101,83	101,24	100,65	99,28	99,57	99,96	101,24	101,24	99,28	101,83	-2,51%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,39%	0,39%	0,20%	0,10%	0,20%	0,39%	0,29%	0,29%	0,29%	-2,51%		
	Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 50cm	K_BT_VF_50_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	100,85	101,83	101,24	100,65	99,28	99,57	99,96	101,24	101,24	99,28	101,83	-2,51%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,39%	0,39%	0,20%	0,10%	0,20%	0,39%	0,29%	0,29%	0,29%	-2,51%		
Bauteil	Verschattung Fenster Vordach 100cm	K_BT_VF_100_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	100,85	101,83	101,14	101,14	99,47	99,67	100,06	101,24	101,24	99,47	101,83	-2,32%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,29%	0,29%	0,48%	-0,10%	0,00%	0,10%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,29%	-2,32%			
M - Material	Außenwand Dicke 2cm	Lehmputz Dicke 2cm	M_AW_LP_2_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	97,70	98,29	98,39	97,02	95,74	96,23	96,82	98,00	98,00	95,74	98,39	-2,70%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	3,40%	3,75%	3,19%	3,99%	3,75%	3,45%	3,34%	3,58%	3,75%	3,66%	3,66%	-2,70%		
	Außenwand Dicke 4cm	Lehmputz Dicke 4cm	M_AW_LP_4_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	94,76	95,44	95,15	94,17	92,69	92,99	93,87	95,05	95,05	92,69	95,44	-2,88%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	6,32%	6,54%	6,38%	6,61%	6,82%	6,71%	6,28%	6,48%	6,82%	6,54%	6,54%	-2,88%		
	Außenwand Absorptionsgrad 0.2	Absorptionsgrad 0.2	M_AW_AG_02_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,24	101,54	101,64	101,14	99,57	99,87	99,96	101,64	101,64	99,57	101,64	-2,03%		
				Differenz Ist-Zustand [%]	-0,10%	0,58%	0,00%	-0,10%	-0,10%	-0,20%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,48%	-2,03%		
Außenwand Absorptionsgrad 0.5	Absorptionsgrad 0.5	M_AW_AG_05_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,24	102,13	101,64	101,14	99,47	99,67	100,06	101,64	101,64	99,47	102,13	-2,60%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	-0,10%	0,00%	0,00%	-0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%			
Außenwand Absorptionsgrad 0.8	Absorptionsgrad 0.8	M_AW_AG_08_AZ	Energieverbrauch [kWh/(m²·a)]	101,14	102,13	101,64	101,14	99,47	99,67	100,16	101,64	101,64	99,47	102,13	-2,60%			
			Differenz Ist-Zustand [%]	0,00%	0,00%	0,00%	-0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,60%			

E

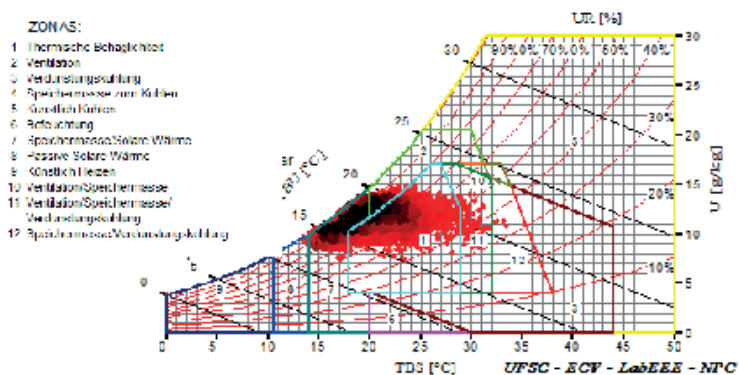
Psychrometric Chart Klima, Raumklima *Casa Popular* und
Raumklima Strategie für die vier auserwählten Klimazonen

Psychrometric Chart
KZ 01 - CURITIBA (PARANÁ)
KLIMA EPW-Wetterdatei



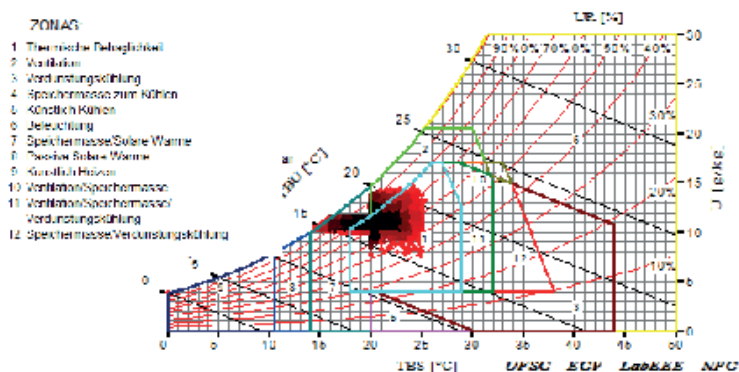
Außenklima Klimazone 01
Behaglichkeit: 22,3 %
Unbehaglichkeit: 77,7 %
Kälteempfinden: 75,18 %
Wärmeempfinden: 2,48 %

Psychrometric Chart
KZ 01 - CURITIBA (PARANÁ)
CASA POPULAR Ausgangsmodell G_AG_AZ



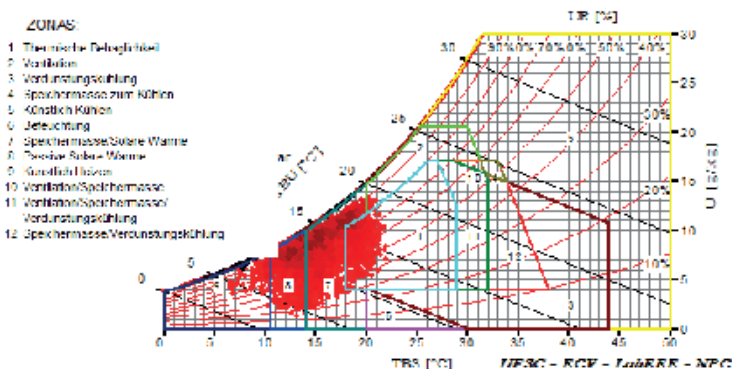
Raumklima Casa Popular
Behaglichkeit: 38,4 %
Unbehaglichkeit: 61,6 %
Kälteempfinden: 49,9 %
Wärmeempfinden: 11,7 %

Psychrometric Chart
KZ 01 - CURITIBA (PARANÁ)
CASA POPULAR Ausgangsmodell Strategie K_BD_BP_15_AZ



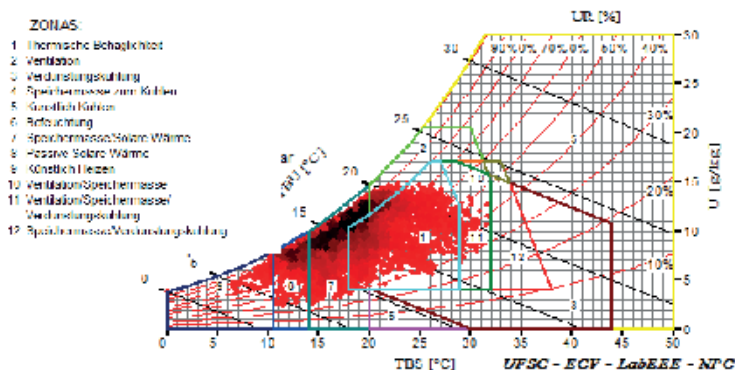
Raumklima K_BD_BP_15_AZ
Behaglichkeit: 71,2 %
Unbehaglichkeit: 28,8 %
Kälteempfinden: 17,7 %
Wärmeempfinden: 11,1 %

Psychrometric Chart
 KZ 03 - SAO PAULO (SAO PAULO)
 KLIMA EPW-Wetterdatei



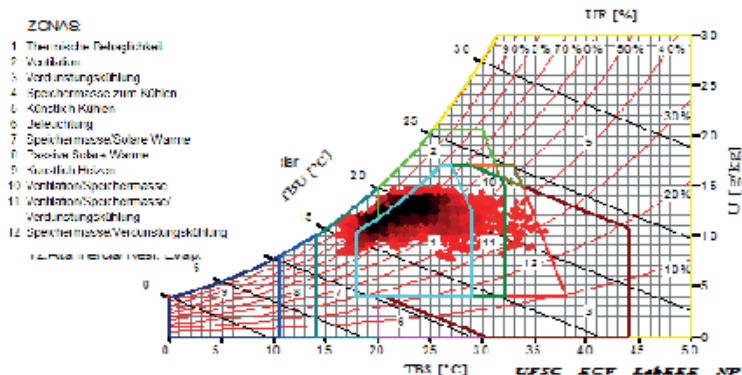
Außenklima Klimazone 03
Behaglichkeit: 34,8 %
Unbehaglichkeit: 65,2 %
Kälteempfinden: 59,5 %
Wärmeempfinden: 5,71 %

Psychrometric Chart
 KZ 03 - SAO PAULO (SAO PAULO)
 CASA POPULAR Ausgangsmodell G_AG_AZ



Raumklima Casa Popular
Behaglichkeit: 73,9 %
Unbehaglichkeit: 26,1 %
Kälteempfinden: 15,8 %
Wärmeempfinden: 10,2 %

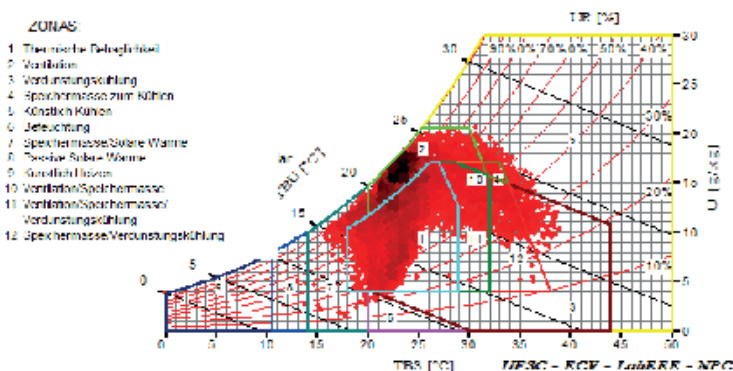
Psychrometric Chart
 KZ 03 - SAO PAULO (SAO PAULO)
 CASA POPULAR Ausgangsmodell Strategie M_AW_LP_2_AZ



Raumklima M_AW_LP_2_AZ
Behaglichkeit: 82,2 %
Unbehaglichkeit: 17,8 %
Kälteempfinden: 7,6 %
Wärmeempfinden: 10,2 %

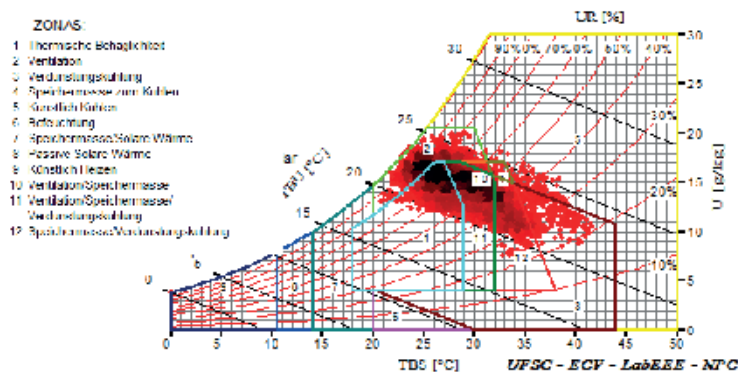
Klimazone 03

Psychrometric Chart
KZ 07- PICOS (PIAUI)
KLIMA EPW-Wetterdatei



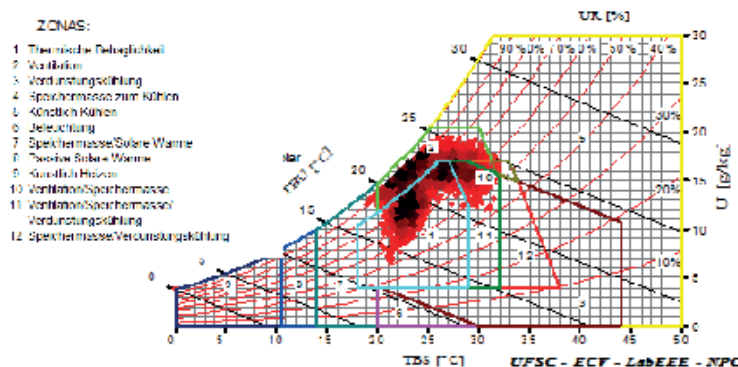
Außenklima Klimazone 07
Behaglichkeit: 43,3 %
Unbehaglichkeit: 56,7 %
Kälteempfinden: 4,41 %
Wärmeempfinden: 52,3 %

Psychrometric Chart
KZ 07 - PICOS (PIAUI)
CASA POPULAR Ausgangsmodell G_AG_AZ



Raumklima Casa Popular
Behaglichkeit: 28,3 %
Unbehaglichkeit: 71,7 %
Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 71,6 %

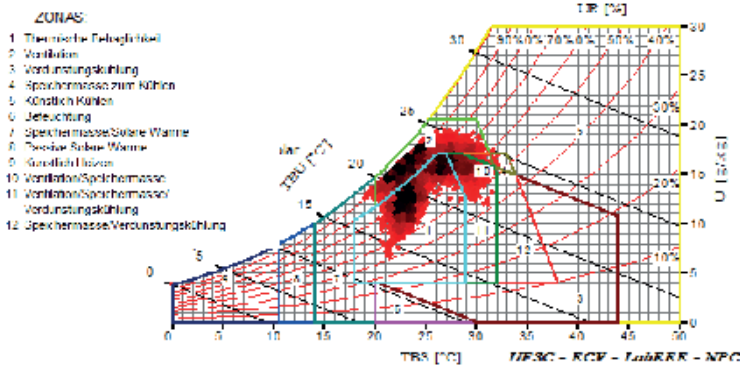
Psychrometric Chart
KZ 07 - PICOS (PIAUI)
CASA POPULAR Strategie K_BD_AW_20_AZ



Raumklima K BD AW 20 AZ
Behaglichkeit: 40,8 %
Unbehaglichkeit: 59,2 %
Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 57,2 %

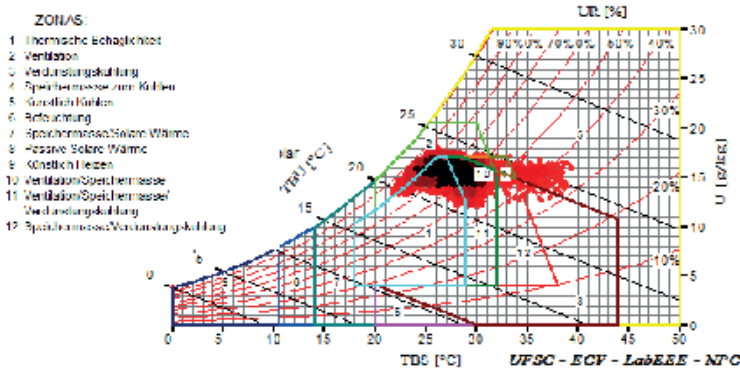
Klimazone 07

Psychrometric Chart
 KZ 08 - RECIFE (PERNAMBUCO)
 KLIMA EPW-Wetterdatei



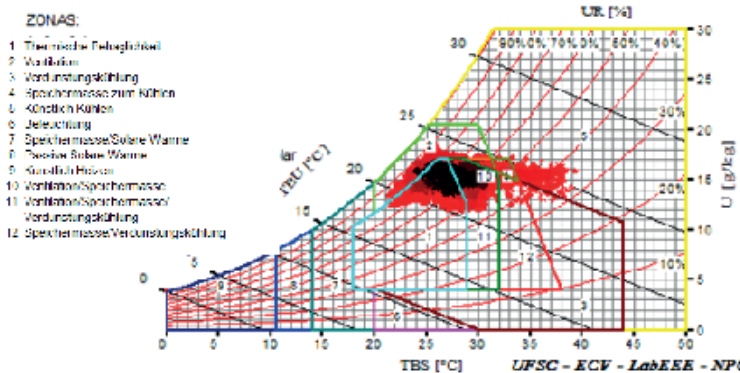
Außenklima Klimazone 08
Behaglichkeit: 42,8 %
Unbehaglichkeit: 57,2 %
Kälteempfinden: 0,23 %
Wärmeempfinden: 57,0 %

Psychrometric Chart
 KZ 08 - RECIFE (PERNAMBUCO)
 CASA POPULAR Ausgangsmodell G_AG_AZ



Raumklima Casa Popular
Behaglichkeit: 40,6 %
Unbehaglichkeit: 59,4 %
Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 59,4 %

Psychrometric Chart
 KZ 08 - RECIFE (PERNAMBUCO)
 CASA POPULAR Ausgangsmodell Strategie M_AW_LP_4_AZ



Raumklima M_AW_LP_4_AZ
Behaglichkeit: 48,51 %
Unbehaglichkeit: 51,49 %
Kälteempfinden: 0,01 %
Wärmeempfinden: 50,89 %

Klimazone 08

F

Tabellarische Auswertungen der Strategien
für die vier auserwählten Klimazonen

Strategie	Kennzeichen		Klimazone 01 HWB					Klimazone 03 HWB					Klimazone 03 KEB					Klimazone 07 KEB					Klimazone 08 KEB												
	G_AG_AZ	G_AD_D90_AZ	G_AF_Z01_AZ	G_AF_Z02_AZ	G_AF_Z03_AZ	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°						
G - Gebäude																																			
K - Konstruktion																																			
M - Material																																			

■ Potenzial der Energieeinsparung und Potenzial einer Verbesserung der Thermischen Behaglichkeit

■ Defizit eines Energiemehrvbrauchs und Defizit einer Verschlechterung der Thermischen Behaglichkeit

Tabellarische Auswertungen der Strategien für die vier auserwählten Klimazonen

G

Katalog Passiver Strategien

		Heizen		Kühlen		Entfeuchten		Befeuchten	
ORT Kap. 1.5.3.1	Energiequellen	Sonne Wind Erde Wasser Vegetation	A C B B/C B/C	Sonne Wind Erde Wasser Vegetation	B/C A B A A	Sonne Wind Erde Wasser Vegetation	A/B A A/B C B	Sonne Wind Erde Wasser Vegetation	B A B/C A A
	GEBÄUDE Kap. 1.5.3.2 Kap. 3.1.1.1	Ausrichtung	Nordausrichtung		Südausrichtung		Hauptwindrichtung		
	A/V Verhältnis	gering		hoch					
	Raumbildung	Temperatur- und Nutzungsabhängige Zonierung		Querlüftung und Thermischer Auftrieb		Querlüftung und Thermischer Auftrieb			
	Ventilation/Lüftung	minimal		maximal		maximal		adiabat	
	Innere Lasten	Wärmequellen maximieren		Wärmequellen minimieren					
								
	Maßnahme	Heizen		Kühlen		Entfeuchten		Befeuchten	
KONSTRUKTION Kap. 1.5.3.3 Kap. 3.1.1.2	Solare Wärme	Wärmegewinne maximieren Transparente Bauteile Vertikal Richtung Norden Opake Bauteile Vertikal Richtung Norden Opake Bauteile Geneigt Richtung Norden		Wärmegewinne minimieren flexible Verschattungselemente Richtung Norden feste Verschattungselemente Richtung Norden innenliegend (Vorhang) zwischen Glasscheiben außenliegend (Jalousien, Vordach, Rolladen)					
	Bauart	schwer - mittel Schwere Bauteile Vertikal und Horizontal (cm) Mittlere Bauteile Geneigt (cm)		schwer - mittel - leicht Schwere Bauteile Vertikal und Horizontal (cm) bei große Temperatur Amplitude Leichte Bauteile Vertikal und Horizontal (cm) bei kleine Temperatur Amplitude Mittlere Bauteile Geneigt (cm)		mittel - leicht Leichte Bauteile Vertikal und Horizontal (cm) bei kleine Temperatur Amplitude Mittlere Bauteile Geneigt (cm)			
	Öffnungen	Nordausrichtung groß Art der Verglasung (1-fach, 2-fach, ...) Flexible Bauteile montierbar (Kastenfenster-Prinzip)		Südausrichtung groß Hauptwindrichtung groß Art der Verglasung (1-fach, 2-fach, Beschichtung, ...) Flexible Bauteile montierbar (Sonnenschutz) kleinen Flächenanteil Richtung Norden		Hauptwindrichtung groß			
								
	Maßnahme	Heizen		Kühlen		Entfeuchten		Befeuchten	
MATERIAL Kap. 1.5.3.4 Kap. 3.1.1.3	Opake Bauteile	geringe Wärmeleitfähigkeit λ (W/(m*K)) geringe Rohdichte ρ (kg/m ³) geringe Spezifische Wärmekapazität C_p (J/kg*K) niedrigen U-Wert (W/m ² K) hohen Wärmespeichervermögen		hohe Wärmeleitfähigkeit λ (W/(m*K)) hohe Rohdichte ρ (kg/m ³) hohe Spezifische Wärmekapazität C_p (J/kg*K) hohen U-Wert (W/m ² K) Verzögerung des Wärmedurchgangs (Phasenverschiebung)		hygroskopisch diffusionsoffen		luftfeuchte abgebend	
	Transparente Bauteile	hohen Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert niedrigen U-Wert (W/m ² K)		niedrigen Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert niedrigen U-Wert (W/m ² K)					
	Gebäudehülle	geringe Reflexion (ρ) hohe Absorption (α) (dunkle Farbe) hohe Transmission (τ)		hohe Reflexion (ρ) geringe Absorption (α) (helle Farbe) geringe Transmission (τ)					
								