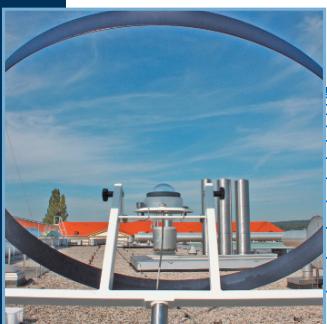
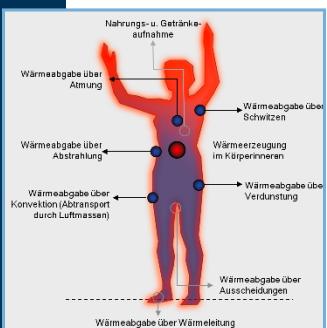


Peggy Freudenberg

Entwicklung und Kalibrierung einer Planungsmethode für Nichtwohngebäude mit besonderen raumklimatischen Anforderungen



Fraunhofer IRB ■ Verlag

Peggy Freudenberg

Entwicklung und Kalibrierung einer Planungsmethode für Nichtwohngebäude mit besonderen raumklimatischen Anforderungen

Fraunhofer IRB ■ Verlag

Herausgeber:
Technische Universität Dresden
Zentrum für Bauforschung – Institut für Bauklimatik
01062 Dresden
Telefon +49 351 463 35259
Telefax +49 351 463 32627
URL http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_architektur/ibk

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2365-9084
ISBN (Print): 978-3-8167-9594-0
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9595-7

DE 2239
Zugl.: Dresden, TU, Diss., 2015

Herstellung: Gabriele Wicker
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Druck und Bindung: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit
dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6,
10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Ver-
wertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne
schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt
insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Spei-
cherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berech-
tigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und
Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann
benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien
(z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag
keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt
sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richt-
linien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2016
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de
URL www.baufachinformation.de

Technische Universität Dresden

Dissertation

Entwicklung und Kalibrierung einer Planungsmethode für Nichtwohngebäude mit besonderen raumklimatischen Anforderungen

Abhandlung zur Erlangung der Würde eines Doktor- Ingenieurs (Dr.- Ing.)

Fakultät Architektur

Peggy Freudenberg, geboren am 29.04.1982 in Eisenhüttenstadt

25. November 2015

Gutachter

1. Gutachter
2. Gutachter

Prof. Dr.- Ing. John Grunewald, TU Dresden
Prof. Dr. techn. Ardesir Mahdavi, TU Wien

Diese Dissertation wurde durch den Europäischen Sozialfonds und den Freistaat Sachsen mit einem Promotionsstipendium gefördert.

Europa fördert Sachsen.



Until electricity comes from renewable sources of energy, air-conditioning should be reserved for special needs or extreme environments, rather than used to ameliorate the effects of poor climatic design of ordinary buildings.

(M. A. Humphreys, J.F. Nicol)

Vorwort

Den Anlass für die in der vorliegenden Arbeit behandelte Problematik bot die Kooperation des Instituts für Bauklimatik (IBK) mit dem Universitätsklinikum Dresden (UKD), Geschäftsbereich Bau und Technik. In den UKD- Gebäuden jüngeren Baujahres kommt es während der Sommermonate immer wieder zu Beschwerden der Patienten und Mitarbeiter über die unerträgliche Hitzeentwicklung in den Patientenzimmern. Diese sind auf Grund der Vorgaben des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements (SIB), welches für diese öffentlichen Bauvorhaben als Bauherr für den Freistaat Sachsen fungiert, als frei klimatisierte Bereiche, d.h. ohne Kühlung, ausgeführt. Diese Vorgabe ist angesichts der aktuellen Klimapolitik von Bund und Ländern berechtigt. Sie kann jedoch nur vor dem Hintergrund allgemeingültiger und sicherer Anforderungen an den baulichen Sommerlichen Wärmeschutz umgesetzt werden. Eben daran mangelt es. Der für die erwähnten Gebäude erbrachte und obligatorische DIN- Nachweis konnte die Überhitzung dieser Räume nicht prognostizieren. Alternative Verfahren existieren zwar, doch ist auch deren Aussagekraft nicht belegt. Die vorliegende Arbeit befasst sich einerseits mit der Bewertung dieser Verfahren und andererseits mit der Erstellung einer allgemeingültigen Methodik für die Bemessung dieser Gebäude mittels Simulationsrechnungen. Darüber hinaus werden den Planern von Klinikbauten Entwurfshinweise für die bauliche Ausbildung der Patientenzimmer zur Hand gegeben.

Die vorliegende Arbeit wurde über einen Zeitraum von etwa vier Jahren, 2009 bis 2013, erstellt. Sie wurde durch ein Promotionsstipendium des Europäischen Sozialfonds (ESF) von 2009 bis 2011 sowie Sachmittel und Hilfestellungen des Universitätsklinikums Dresden (Finanzierung und Errichtung der Klimamessstation Blasewitzer Straße sowie der Raummesstechnik) und des Labors am Institut für Bauklimatik (Aufbau, Testlauf und Wartung der Klimamessstation) sowie durch die Unterstützung des IBK selbst (Bereitstellung der Arbeitsmittel, inhaltliche Betreuung) ermöglicht.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.- Ing. John Grunewald (Leiter des IBK, Professur für Bauphysik, TUD), Herrn Prof.(em) Dr.- Ing. Jürgen Roloff (IBK), Herrn Dipl.- Ing. Frank Meissner (IBK, Labor) und Herrn Dipl.- Ing. Holger Langer (UKD). Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. techn. Ardeshir Mahdavi (Professur für Bauphysik und Bauökologie, Technische Universität Wien) herzlich für das Interesse an der Arbeit und die Bereitschaft zur Zweitbegutachtung der Arbeit danken.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meiner Familie und meinen Kollegen für ihre tatkräftige Unterstützung und ihre herzlichen und wohlwollenden Anregungen.

Notation

Symbol	Bedeutung	Einheit
A_{Body}	Hautoberfläche des menschlichen Körpers	m^2
A_{DuBois}	Effektive Abstrahlungsoberfläche des menschlichen Körpers	m^2
A_{Base}	Netto- Grundfläche eines Raumes	m^2
A_{Env}	An die Außenluft grenzende Netto- Hüllfläche eines Raumes	m^2
A_{NZ}	An eine anders temperierte Nachbarzone grenzende Netto- Hüllfläche eines Raumes	m^2
A_{Win}	Brutto- Fensterfläche eines Raumes (Rohbaufläche)	m^2
c_{Body}	Mittlere spezifische Wärmespeicherkapazität des menschlichen Körpers	$\frac{J}{kgK}$
c_{Blood}	Mittlere spezifische Wärmespeicherkapazität des menschlichen Körpers	$\frac{J}{kgK}$
c_{Air}	Mittlere spezifische Wärmespeicherkapazität der Raumluft	$\frac{J}{kgK}$
C_{Zone}	Wärmespeicherkapazität aller thermischen Speichermassen einer Zone	$\frac{J}{K}$
$DH_{\theta_{Max}}$	Summe aus dem Produkt von Stundenanzahl und Überschreitungsbetrag der Lufttemperatur oberhalb einer Grenztemperatur θ_{Max}	Kh
$DT_{ISO15251}$	Relative Unter- bzw. Überschreitungszeit der vereinfachten Komfortkriterien nach ISO 15251 für Gebäudekategorie I (relative Luftfeuchte 30 bis 50 %, Raumlufttemperatur 20 bis 26°C)	%
E_A	Beleuchtungsstärke im Außenraum	Lux
E_V	Beleuchtungsstärke im Innenraum	Lux
f_{Clo}	Anteil der bekleideten an der gesamten Körperoberfläche	[–]

f_{Fra}	Durch Rahmen, Stock und Sprossen eingenommener Anteil der Brutto- Fensterfläche eines Raumes	[–]
f_{Sha}	Durch das Verschattungssystem verdeckter Anteil der Brutto- Fensterfläche eines Raumes	[–]
g_{Gla}	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, d.h. Anteil der über transparente Flächen über Transmission und langwellige Abstrahlung in den Raum gelangenden Solarstrahlung	[–]
h_{Conv}	Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient einer Oberfläche	$\frac{W}{m^2 K}$
h_{Rad}	Radiativer Wärmeübergangskoeffizient einer Oberfläche	$\frac{W}{m^2 K}$
H_{Tra}	Transmissions- Verlustkoeffizient eines Raumes	$\frac{W}{K}$
H_{Ven}	Lüftungs- Verlustkoeffizient eines Raumes	$\frac{W}{K}$
I_{clo}	Mittlerer Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung	$\frac{W}{m^2 K}$
KS	Kombinierter Wärmeübertragungskennwerte zwischen Körperkern und Körperhülle	$\frac{W}{K}$
L_{Body}	Ergebnis der stationären Wärmebilanz des menschlichen Körpers (Fanger)	W
L_{Core}	Ergebnis der instationären Wärmebilanz des menschlichen Körperkerns	W
L_{Skin}	Ergebnis der stationären Wärmebilanz der menschlichen Körperhülle	W
m_{Core}	Masse des Körperkerns	kg
m_{Skin}	Masse der Körperhülle	kg
m_{Sweat}	Schweißsekretionsrate	$\frac{g_{water}}{h}$
n_{Ven}	Luftwechselzahl, d.h. Anzahl der, innerhalb eines Zeitintervalls, durch Außenluft ausgetauschten Luftvolumeneinheiten einer Zone	\bar{h}
$OH_{\theta_{Max}}$	Anzahl der Stundenwerte der Lufttemperatur oberhalb einer Grenztemperatur θ_{Max}	h
$OT_{\theta_{Max}}$	Prozentualer Anteil der Stundenwerte der Lufttemperatur oberhalb einer Grenztemperatur θ_{Max}	h
P_{Sat}	Wasserdampfsättigungsdruck der Luft	Pa
P_{Par}	Wasserdampfpartialdruck der Luft	Pa
PPD	Vorhergesagter Anteil derer die das Raumklima als unbehaglich empfinden	[–]

PMV	Vorhergesagtes mittleres thermisches Bewertungsmaß nach Fanger	[–]
Q_{Conv}	Wärmestrom von der (Haut-) Oberfläche an die Umgebung über Konvektion	W
Q_{Diff}	Wärmestrom von der (Haut-) Oberfläche an die Raumluft über Wasserdampfemission	W
Q_{Ex}	Summe des über Blutfluss und Wärmeleitung vom Körperkern zur Körperhülle übertragenen Wärmestroms	W
$Q_{Ex,Blood}$	Wärmeübertragungsfaktor aus Blutfluss zwischen Körperkern- und Körperhülle	$\frac{W}{K}$
$Q_{Ex,Cond}$	Wärmeübertragungsfaktor aus Wärmeleitung zwischen Körperkern- und Körperhülle	$\frac{W}{K}$
Q_H	Über Oxidationsprozesse im Körperinneren erzeugte Gesamtenergie	W
Q_{Met}	Über Oxidationsprozesse im Körperinneren erzeugter metabolischer Wärmestrom	W
Q_{NZ}	Transmissions- Wärmestrom von der betreffenden Zone zu einer Nachbarzone	W
Q_{Rad}	Wärmestrom von einer (Haut-) Oberfläche an die Umgebung über Strahlungsaustausch	W
$Q_{Res,L}$	Wärmestrom aus der Lunge an die Umgebung über Wasserdampfemission	W
$Q_{Res,S}$	Wärmestrom aus der Lunge an die Umgebung über Erwärmung der Atemluft	W
Q_{Sol}	Solarstrahlungs- Wärmestrom (kurzwellig) durch ein transparentes Bauteil	W
$Q_{Sol,op}$	Solarstrahlungs- Wärmestrom (kurzwellig) durch ein nicht-transparentes Bauteil	W
Q_{Sweat}	Wärmestrom von der Hautoberfläche an die Raumluft über Schweißemission	W
Q_{Tra}	Wärmestrom zwischen Raumluft und Bauteiloberfläche aus dem kombinierten Wärmeübergang (Strahlung, Konvektion, (Leitung))	W
Q_{Ven}	Wärmestrom zwischen Raumluft und Außenluft über Luftmassenaustausch	W

Q_W	In Kraft umgewandelte Energie der im Körperinneren erzeugten Gesamtenergie	W
TSV	Vorhergesagte mittleres thermisches Bewertungsmaß nach Azer & Hsu	$[-]$
v_{Air}	Relative Luftgeschwindigkeit an einer Oberfläche	$\frac{m}{sec}$
\dot{V}_{Blood}	Blutaustauschmassenstrom je Kontaktflächeneinheit zwischen Körperkern und Körperhülle	$\frac{kg_{Blood}}{m^2 h}$
\dot{V}_{Resp}	Luftaustauschmassenstrom der Lunge	$\frac{kg_{air}}{h}$
\dot{V}_{Ven}	Luftvolumenstrom zwischen einer Zone und der Außenluft	$\frac{m^3_{air}}{h}$
λ_{Skin}	Wasserdampfdurchlässigkeit der Hautschicht	$\frac{g_{water}}{hPa}$
ΔQ_{Vap}	Verdampfungswärme von Wasser	$\frac{J}{g_{water}}$
ϵ_{Body}	Mittlerer Emissionsgrad des bekleideten menschlichen Körpers für langwellige Strahlung	$[-]$
ϵ_{Sweat}	Schweißbenetzungs faktor der Hautoberfläche als Kennwert Überhitzungsempfindung	$[-]$
ϵ_{Vasoc}	Gefäßverengungsfaktor der Hautoberfläche als Kennwert Unterkühlungsempfindung	$[-]$
η_{Gain}	Anteil der zur Reduktion des Heizwärmebedarfs verfügbaren Nutzungs- und Solarstrahlungs- Wärmegewinne eines Raumes	$[-]$
η_{Heat}	Anteil der als Wärme freigesetzten Energie von der metabolischen Gesamtenergie	$[-]$
η_{Work}	Anteil der in Kraft umgewandelten Energie von der metabolischen Gesamtenergie	$[-]$
γ_{Zone}	Verhältnis zwischen den Wärmegewinnen (Solarstrahlung, Nutzung) und Wärmeverlusten (Transmission, Luftwechsel) einer Zone	$[-]$
$\gamma_{\alpha,\beta}$	Sonneneinfallswinkel einer Fläche mit Standwinkel β und Flächenazimuth α	$^{\circ}$
$\phi_{E,air}$	Relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft	$\%$
$\phi_{I,air}$	Relative Luftfeuchtigkeit der Raumluft, Indizes: avg (Mittelwert), min (Minimum) und max (Maximum)	$\%$
θ_{Body}	Mittlere Temperatur des menschlichen Körpers	$^{\circ}C$

$\theta_{E,air}$	Außenlufttemperatur	$^{\circ}C$
θ_{ET}	Effektivtemperatur nach Gagge und Stollwijk	$^{\circ}C$
θ_{Clo}	Mittlere Oberflächentemperatur der Bekleidung eines menschlichen Körpers	$^{\circ}C$
θ_{Core}	Mittlere Kerntemperatur des menschlichen Körpers	$^{\circ}C$
$\theta_{I,air}$	Temperatur der Raumluft, Indizes: $_{avg}$ (Mittelwert), $_{min}$ (Minimum) und $_{max}$ (Maximum)	$^{\circ}C$
$\theta_{I,rad}$	Mittlere Strahlungstemperatur im Innenraum	$^{\circ}C$
θ_{Opt}	Neutral- bzw. Optimaltemperatur einer Umgebung	$^{\circ}C$
θ_{RM}	Gleitendes Mittel der Außenlufttemperatur	$^{\circ}C$
θ_{Skin}	Mittlere Temperatur der Hautschicht des menschlichen Körpers	$^{\circ}C$
θ_{SET}	Standardeffektivtemperatur nach Gagge und Stollwijk	$^{\circ}C$
θ_{wRM}	Gewichtetes gleitendes Mittel der Außenlufttemperatur	$^{\circ}C$
σ_{StBo}	Stefan- Boltzmann- Konstante	$\frac{W}{m^2 K^4}$

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Ziel und Aufbau der Arbeit	19
1.1. Einleitung	19
1.2. Zielstellung und Lösungsansatz	22
1.3. Gliederung der Arbeit	24
2. Baulich- funktionelle und bauklimatische Besonderheiten von Krankenhausbauten	27
2.1. Besonderheiten von Krankenhausbauten	28
2.2. Funktionelle Anforderungen	29
2.2.1. Räumlich- funktionelle Anforderungen an den Pflegebereich .	30
2.2.2. Hygienische Anforderungen an den Pflegebereich	32
2.2.3. Beleuchtungsanforderungen an den Pflegebereich	32
2.2.4. Brandschutzanforderungen an den Pflegebereich	33
2.2.5. Schallschutzanforderungen an den Pflegebereich	34
2.2.6. Anforderungen an die Barrierefreiheit	34
2.2.7. Gestalterische Anforderungen an den Pflegebereich	35
2.2.8. Belichtungsanforderungen an den Pflegebereich	36
2.2.9. Anforderungen an die Beheizung und Raumlufttechnik	37
2.2.10. Anforderungen an das Raumklima im Pflegebereich	38
2.3. Zusammenfassung der planerischen Anforderungen an das Patientenzimmer	40
2.4. Gegenwärtige architektonische Gestaltung der Patientenzimmer . . .	43
3. Verfahren zur Bemessung des Sommerlichen Wärmeschutzes	47
3.1. Verfahrensüberblick	48
3.2. Handrechenverfahren	49
3.2.1. Verfahren nach Petzold	50
3.2.2. Verfahren nach Rouvel und Kolmetz	52

Inhaltsverzeichnis

3.2.3.	Verfahren nach Hauser und Otto	53
3.2.4.	Verfahren nach Hauser & Gertis	55
3.2.5.	Verfahren nach Häupl	56
3.2.6.	Verfahrensübersicht	58
3.3.	Simulationsverfahren	59
3.3.1.	Simulationsssoftware Energy Plus für die Sommerfallbewertung	59
3.3.2.	Anwendung von Simulationsrechnungen für die Sommerfallbewertung	61
4.	Kritische Bewertung der Handrechenverfahren und des Simulationsverfahrens	63
4.1.	Untersuchte Zonen des Universitätsklinikums Dresden	64
4.2.	Ergebnisse der Messreihe Juli bis Dezember 2010	65
4.3.	Bewertung der Zonen mittels vereinfachter Verfahren	68
4.3.1.	Vergleich der Verfahrensergebnisse mit den Messungen	72
4.3.2.	Verfahrenseinschätzung Hauser & Gertis	75
4.3.3.	Verfahrenseinschätzung Petzold	75
4.3.4.	Verfahrenseinschätzung Häupl	76
4.3.5.	Verfahrenseinschätzung Hauser & Otto	77
4.4.	Bewertung der Zonen mittels Simulationsverfahren	79
4.4.1.	Modellauswahl	79
4.4.2.	Nutzungsrandbedingungen	80
4.4.3.	Klimarandbedingungen	80
4.4.4.	Ergebnisse	80
4.5.	Zusammenfassung Verfahrensbewertung	84
5.	Entwicklung eines eigenen Kalibrierverfahrens	85
5.1.	Untersuchte Zonentypen der zweiten Messphase 2011	86
5.2.	Ergebnisse der Messreihe Juli - Dezember 2011	88
5.3.	Simulation einer Basisvariante	90
5.4.	Ermittlung der lokalen Außenklimabedingungen	93
5.5.	Ermittlung der Nutzungscharakteristik	95
5.5.1.	Aktivierung & Deaktivierung des Sonnenschutzes	95
5.5.2.	Fensteröffnung	99
5.5.3.	Interne Wärmelasten	103
5.6.	Bekannte Kalibrierverfahren	105

5.7. Eigener Kalibrieransatz zur Ermittlung von Nutzungsprofilen	107
5.8. Verfahrensprozedur	111
5.8.1. Aufstellung der Varianten für die unbekannten Profile	115
5.8.2. Sensitivitätsstudie Nutzungsprofile	120
5.8.3. Simulationsstudien zur Ermittlung der realistischsten Nutzerprofile	122
5.8.4. Ergebnis	126
5.9. Zusammenfassung	129
6. Nutzeranforderungen und Bewertungsmodelle	131
6.1. Anforderungen und Besonderheiten der Krankenhausnutzer allgemein	132
6.2. Anforderungen und Besonderheiten spezieller Nutzergruppen	135
6.2.1. Neugeborene, Säuglinge und Kleinkinder	135
6.2.2. Senioren	136
6.2.3. Personen unter Medikamenteneinfluss	138
6.2.4. Personen mit Krankheiten und Behinderungen	138
6.2.5. Zusammenfassung der thermoregulatorischen Besonderheiten unterschiedlicher Nutzertypen	140
6.2.6. Ergebnisse praktischer Studien zum Raumklimaoptimum	143
6.2.7. Ergebnisse praktischer Studien zum erträglichen Raumklima .	145
6.2.8. Zusammenfassung der Besonderheiten spezieller Nutzertypen	146
6.3. Nutzerbezogene Bewertungsmodelle	148
6.3.1. Auswertungsansatz	148
6.3.2. Physiologische Wärmebilanz	150
6.3.3. Statisches, stationäres PMV- Modell nach Fanger	154
6.3.4. Statisches, instationäres Modell nach Gagge & Stollwijk . . .	157
6.3.5. Statisches, instationäres TSV - Modell nach Azer & Hsu . . .	160
6.3.6. Adaptive Modelle	163
6.3.7. Bewertung der Behaglichkeitsmodelle	167
6.3.8. Schlussfolgerungen zur Raumklimaauslegung in Krankenhäusern	178
7. Analyse der Raumtypen und Ableitung von baulichen Optimierungsansätzen	181
7.1. Analyseansatz	182
7.1.1. Auswahl der Berechnungsmodule	182
7.1.2. Auswahl der Außenklimabedingungen	184

Inhaltsverzeichnis

7.1.3. Definition der Nutzungseigenschaften	184
7.1.4. Definition der Raumgeometrie und Konstruktionseigenschaften	185
7.2. Wärmebilanzen der einzelnen Raumtypen	187
7.3. Speicherwirksamkeit der Bauteile	188
7.4. Strahlungsdurchgang durch die Verglasung	190
7.5. Luftwechsel aus natürlicher Belüftung und mechanischer Entlüftung .	191
7.6. Tageslichtversorgung	192
7.7. Raumklimabewertung	194
7.8. Optimierungsansätze	196
8. Zusammenfassung und Ausblick	197
Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	XI
Literaturverzeichnis	XV
A. Anhang	XXIII
A.1. Beschreibung der Außenklimamessstation Dresden- Johannstadt . . .	XXIII
A.2. Auswertung Stadtklimamessungen der DREWAG	XXV
A.3. Raumübersicht (Kennwerte) und Verfahrensvergleich der Messphase I (2010)	XXX
A.4. Übersichten Gebäudesimulation, Behaglichkeitsmodelle	XXXIV
A.5. Raumübersicht (Kennwerte) der Messphase II (2011)	XXXVI
A.6. Kalibrierverfahren nach Reddy und Sun	XXXVII