

BIOCLIME - ENERGIEEFFIZIENZ FÜR SONDERGEBÄUDE - TAGESLICHTSIMULATION ALS OPTIMIERUNGSTRUMENT

Prof. K. Biek^{1,2,3}, Dipl. Ing.-Arch. H. Broad¹ und N. Exner, M.Sc.¹

¹ Beuth Hochschule für Technik, Berlin, Germany

KURZFASSUNG

Die energetische Sanierung von Bestandsbauten unterliegt ebenso wie Neubauten den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung. Dies sind neben Arbeits- und Lebensräumen Sondergebäude, mit zwei oder mehr Behaglichkeitszonen. Dazu zählen Shoppingmalls mit einer Unterteilung in Hauptverkehrszone und Geschäftszone oder auch Tier- und Freizeitanlagen, die fremde Lebensräume für Besucher natürlich realistisch nachbilden und erfahrbar machen, und somit unterteilt sind in eine Gehegezone (fremdes Klima, z.B. tropisch) und eine Besucherzone (Aufenthaltsbereich der Besucher). Die Nachbildung der verschiedenen Klimaten im Gebäude stellt hohe Anforderungen an die Gebäudehülle und Technik. Die Herausforderung, dies unter energieeffizienten Aspekten zu sanieren, zu betreiben und ggf. neu zu errichten, bedarf Kenntnis der Bedürfnisse und Behaglichkeitsanforderungen der Gebäudenutzer und deren Betreiber. Bei der Sanierung von Bestandsbauten besteht bedingt Möglichkeit die Technik mit dem Gebäude integral zu verknüpfen. Architektonische Aspekte sind den Nutzer-, Betreiber- und Technikaspekten gleichgestellt. Weiterhin werden lichttechnische Untersuchungen als Werkzeug für energieeffiziente Systeme immer wichtiger. Fremdwärme beeinflusst nicht nur die Behaglichkeit der Nutzer und Betreiber, sondern wirkt sich auch auf die Energie- und Wartungskosten aus.

ABSTRACT

The energetic refurbishment of specialized building types is just as much a part of the energy policy goals of the German Federal Government as the requirements for new building construction. Aside from conventional housing and office buildings, this also applies to event buildings that try to provide a natural realistic reproduction of a foreign habitat. This category includes zoo buildings, amusement parks, shopping malls and large event halls with two thermal comfort zones. Simulating different climate zones within the same space places high demands on the building shell and technology. The renovation, operation and potentially even rebuilding of this type of climate shell energy efficiently demands an exact understanding of the thermal comfort requirements of

each building occupant and operator. The refurbishment of existing buildings provides an opportunity to integrate the building technology with the building structure. The same emphasis is thereby placed on the architectural aspects as on the operative, technical and comfort requirements of the building. Under these considerations, light measurement becomes an increasingly important tool for the planning and evaluation of energy efficient building systems. External thermal gains not only influence the comfort of the users and operators, but also affect the energy and maintenance costs of the building.

EINLEITUNG

Die Bereitstellung eines behaglichen Gebäudeklimas ist für Sondergebäude unabdingbar. Gleichzeitig muss ein nachhaltiger und effizienter Betrieb gewährleistet werden. Bei diesem Typus von Gebäuden kann das u.a. durch Nutzung passiver Effekte, wie Tageslicht, erfolgen. Der Einsatz von Tageslicht hat zusätzlich eine positive und leistungssteigernde Wirkung auf die Gebäudenutzer. Gemäß DIN EN 12464 gibt es Empfehlungswerte für den Menschen. Diese sind z.B. für Museen und Ausstellungsräume 300 lux. Des Weiteren ist die spektrale Zusammensetzung des Lichts sowie direkte oder indirekte Sonneneinstrahlung von Bedeutung für die Behaglichkeit der Nutzer. Für die Fauna- und Florazonen sind diese Werte nicht geregelt. Erste Ansätze können über die Längen- und Breitengrade der jeweiligen nachgebildeten Klimazone erfolgen. Die extraterrestrische Sonneneinstrahlung, die das strahlungsphysikalische Äquivalent zur Beleuchtungsstärke ist, zeigt die einfallende Bestrahlungsstärke über das Jahr betrachtet in Abhängigkeit vom Breitengrad des Standortes. Die Unterschiede zwischen äquatorialen (tropischen) Gebieten (von -20° südlicher Breite bis +20° nördlicher Breite) und der nördlich warm-gemäßigten Klimazone (von 40° bis 60° nördlicher Breite) wird im Wert der einfallenden Solarstrahlung und der jahreszeitlich bedingten Schwankungsbreite deutlich. Für die reale Umsetzung bzw. Anwendung der Forderungen bedarf es baulicher, technischer und bauphysikalischer Kenntnis der Gebäudehülle besonders wenn es sich um ein Bestandsgebäude

handelt. In Neubauten werden diese Ergebnisse sowohl in die konzeptionelle Projektentwicklung einbezogen als auch in der Ausführungsphase; baulich, technisch und bauphysikalisch berücksichtigt.

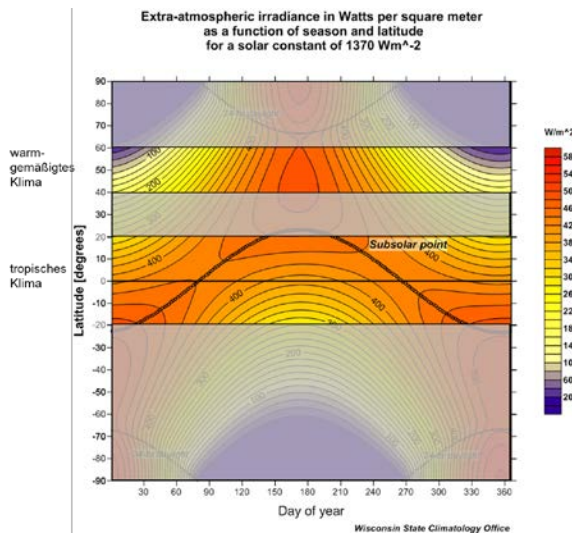


Abbildung 1: Extraterrestrische Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von Jahreszeit und Breitengrad
Quelle: Wisconsin State Climatology Office

Ein Vergleich der Lichtverhältnisse im Herkunftsgebiet tropischer Tiere und Pflanzen mit den Lichtverhältnisse in der nördlich gemäßigten Klimazone belegt die Wichtigkeit der maximalen Tageslichtnutzung für Gebäude mit tropischem Tier- und Pflanzenbesatz. Die Optimierung zwischen Tageslichtnutzung, die mit dem Einsatz transparenter Flächen verbunden ist, und Wärmeschutz, der am besten durch opake Fläche zu realisieren ist, stellt eine prinzipielle Herausforderung bei der Gebäudeplanung und -sanierung dar. Bei Neubauten werden die aktuellen Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik berücksichtigt. Eine energetische Optimierung von Bestandsgebäuden bedarf gebäudebezogener Ansätze.

Hintergrundinformationen / Ausgangssituation

In realen Sondergebäuden, die den Lebensraum „Tropen“ nachbilden werden Vergleichsmessungen durchgeführt. Das umfasst geometrische Aufmaße, 3D-Modellierungen, bauphysikalische Untersuchungen, Messungen verschiedener Klimaparameter wie Temperatur, Feuchte und Luftgeschwindigkeit über das Gebäudeprofil. Ergebnis ist, dass oftmals Anforderungen der Bewohner und Nutzer durch die Gebäudehülle 'gestört' werden. Hauptursachen sind die Alterung der Baumaterialien und technischen Installationen, die nicht mehr den aktuellen Nutzungsanforderungen entsprechen. Während Gebäude für eine Lebensdauer von oftmals > 50-100 Jahren errichtet werden, hat die Technik nach VDI 2067 einen durchschnittlichen

Lebenszyklus von ca. 15-35 Jahren, die Nutzeranforderungen und -entwicklungen ändern sich in Zeiträumen von 5-10 Jahren. Ideal wäre eine adaptive Gebäudehülle mit integrierter Gebäudetechnik.

ENERGETISCHER ANALYSEANSATZ

Am Beispiel eines Tropenhauses mit Tierbesatz aus den 70er Jahren wird die entwickelte Methodik aufgezeigt. Im Feld werden die Gebäudedaten erfasst und als 3D-Modell nachgebildet. Die Behaglichkeitszonen der Nutzer (Besucher und Tiere) werden ebenfalls berücksichtigt. Diese digitale Nachbildung der Gebäudegeometrie ist die Grundlage für alle Messungen, Analysen und energetisch optimierten Ansatzentwicklungen.

Wärmeenergie

Der Einfluss der Gebäudehülle auf das Raumklima ist besonders bei Gebäuden aus dieser Bauepoche groß. Es werden Raumtemperaturen von 30-40°C in dem Nutzerbereich "Tier" (>6m) und im Besucherbereich Temperaturen von über 30°C gemessen.

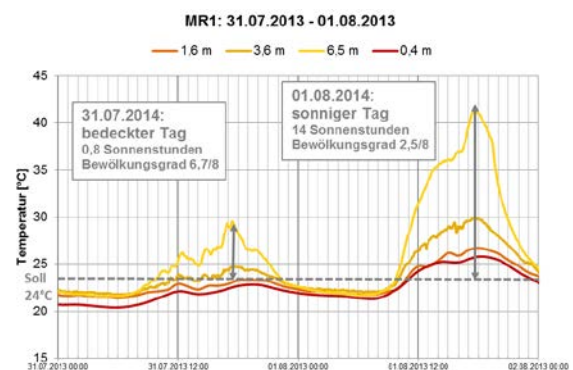


Abbildung 2: Messwerte der Raumtemperatur in einem Tropenhaus
Quelle: BioClima (2013)

Es werden weder die Behaglichkeitsanforderungen im Tierbereich noch im Besucherbereich eingehalten. Die graphische Darstellung der Raumtemperaturmesswerte zeigt den ermittelten Unterschied in der Temperaturschichtung über die Gebäudehöhe zwischen einem bedeckten und einem sonnigen Tagesverlauf.

Die solaren Gewinne über die transparenten Flächen (Glasdach) können anhand dieser Messreihen unter Berücksichtigung von licht- und strahlungstechnischen Wetterparametern abgeschätzt werden. Die hohen Wärmegewinne in den Sommermonaten haben ebenso hohe Wärmeverluste in den Wintermonaten (Heizperiode) zur Folge. Die Nachrechnung der Auslegungheizlast nach DIN EN 12831 ergibt einen Bedarf von rund 170 kW (Normheizlast). Die Rückrechnung der Verbrauchswerte gemäß VDI 3807 Anhang D ergibt eine tatsächliche (Norm)Heizlast von rund 215 kW.

Absolut werden rund 26% mehr Heizenergie benötigt.

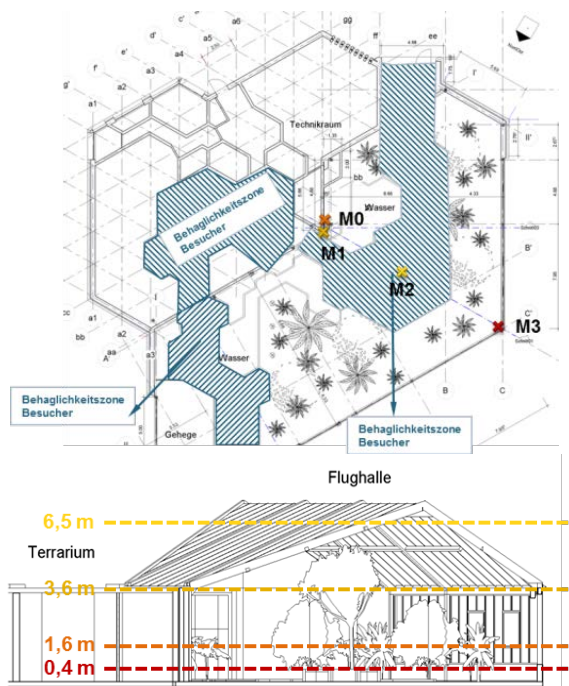


Abbildung 3: Grundriss- und Höhenprofilardarstellung zur Temperaturmessung
Quelle: BioClima (2013)

Lichttransmissionsgrade

Für die gebäudespezifisch optimierte energetische Sanierung werden der Einfluss der Materialeigenschaften und Alterung weiterführend mittels Messungen der Beleuchtungsstärke und deren Simulation mittels Autodesk 3ds-Max untersucht. Die Beleuchtungsstärke im Innenraum ist im Wesentlichen abhängig von der äußeren Verschattung, der Jahreszeit, dem Sonnenstand und den Wetterverhältnissen.

Für die Nachbildung der Lichtverhältnisse des ursprünglich geplanten IST-Zustandes des Gebäudes werden die DIN Werte nach DIN EN 572-1 herangezogen. Demnach liegt ein Lichttransmissionsgrad von $\tau=0,64$ für ein doppelagiges Drahtornamentglas vor. Nach DIN V 18599 kann ein Verschmutzungsgrad von $F=0,9$ angesetzt werden. Die Darstellung des 3D Gebäudemodells mit Analyseraster stellt das ursprünglich geplante Gebäude dar; Simulation der Beleuchtungsstärke im Innenbereich.

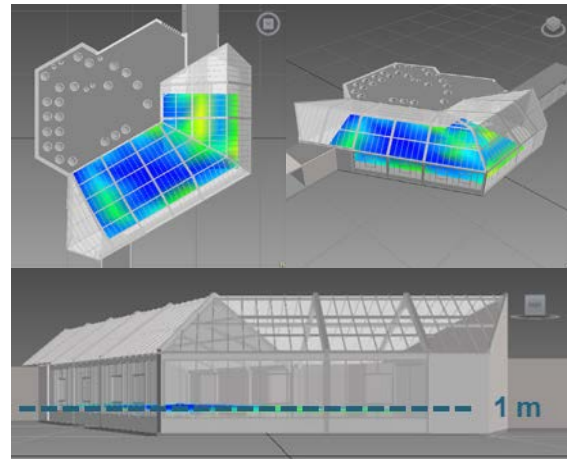


Abbildung 4: 3D Gebäudemodell mit Analyseraster für Lichtsimulation
Quelle: BioClima (2014)

Auf Basis der Messungen im realen baulichen Zustand des Gebäudes, wird festgestellt, dass die Beleuchtungsstärke gegenüber dem Grundmodell niedriger ist. Die simulierte Beleuchtungsstärke im Auslegungsfall liegt ca. zwischen 530-3640 lux. Die gemessenen Werte liegen ca. zwischen 180-1460 lux. Das entspricht einer Reduzierung der Beleuchtungsstärke von rund 65% durch Verschlechterung der transparenten Materialeigenschaften. Für diesen Vergleich zwischen Messung und Simulation wurden charakteristische Punkte in der Halle ausgewählt, die unter Berücksichtigung des Bewuchses und der Verschmutzung realistisch im digitalen Modell abgebildet werden konnten. Die Punkte 1,2 und 5 liegen im Besucherbereich (1 und 2 ohne Bewuchs; 5 in einem Bereich mit gleichmäßigem Bewuchs). Punkt 3 ist der fassadenseitige Punkt mit maximaler Beleuchtungsstärke (Gehegebereich) und Punkt 4 ist der wandnahe Punkt mit geringster Beleuchtungsstärke (Gehegebereich). Der Gehegebereich ist dicht mit Pflanzen und Bäumen bewachsen, dessen Anzahl, genaue Größe und Position sich nicht exakt in der Simulation abbilden lassen. Die Rastermessung der Beleuchtungsstärke im Gebäude (Abbildung 5 oben) zeigt, dass der Bewuchs im Gehegebereich gleichmäßig verschattet (dunkelblaue Bereiche). Für den Vergleich der Werte zwischen Messung und Simulation wurden eindeutige Positionen herangezogen (Punkt 1 bis 5). Die äußeren Randbedingungen sind wie folgt: zum Messzeitpunkt war der Himmel durchgehend bewölkt; Grundlage für die Simulation ist das CIE overcast sky model; definiertes Himmelsmodell der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE); Verschmutzungsfaktor und Transmissionsgrad Dachverglasung wie zuvor beschrieben.

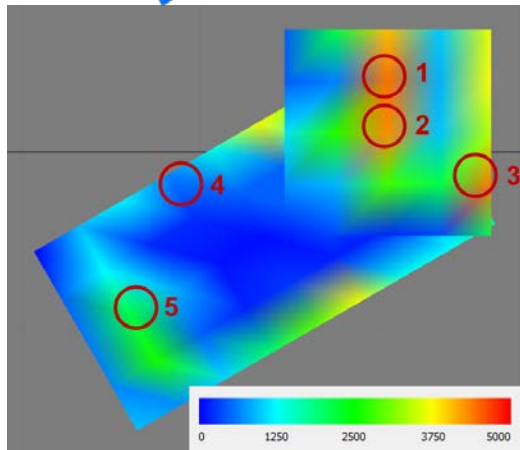
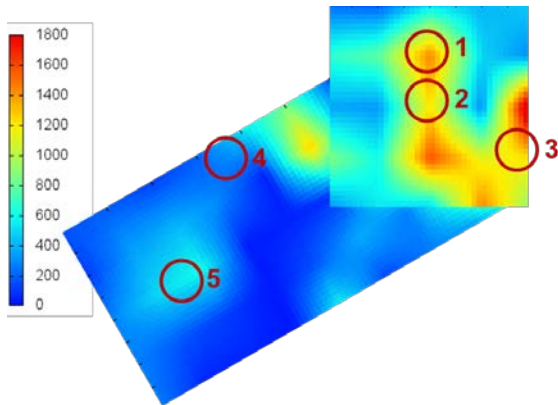


Abbildung 5: oben: Messwerte; unten: Simulationsergebnis IST-Zustand (F=0)
Quelle: BioClima (2014)

Quotient: Messung/Simulation = IST/SOLL

Tabelle 1:
Gegenüberstellung der Messwerte und Simulationsergebnisse für IST-Zustand
Quelle: BioClima (2014)

Punkt	Messung	Sim IST F=0	SIM IST F=0,9	Sim IST F=0,3
1	1464	4459	3639	1353
2	1222	4372	3562	1333
3	1214	4343	3549	1296
4	185	653	535	222
5	405	1310	1074	455

Der Abgleich der Messungen mit dem Idealmodell ohne Verschmutzung (F=1) ergibt einen vorliegenden Verschmutzungsfaktor von F=0,3. D.h., der rechnerische Durchschnittswert der ermittelten Minderung beträgt 70%. Eine Unterteilung des ermittelten Minderungsfaktors in altersbedingte Materialschwächung und verschmutzungsbedingte Verminderung der Lichttransmission ist auf Grundlage von Feldmessungen nicht möglich, da resultierende Effekte gemessen werden. Selektive Messungen sind im Feld unter gleichen Bedingungen nicht möglich.



Abbildung 6: sichtbare Alterung / Veralgung der Dachverglasung Tropenhaus
Quelle: BioClima (2014)

Die optische Einschätzung der innen- und außenseitigen Verschmutzung der Dachverglasung bestätigt die Größenordnung des ermittelten Minderungsfaktors.

Energetische Sanierungsvariante

Aus den Ergebnissen der wärmetechnischen und lichttechnischen Untersuchungen werden Ansätze für eine energetische Sanierung abgeleitet. Eine Variante ist der Tausch der transparenten Flächen in neue Gläser mit den wärmetechnischen Anforderungen der EnEV 2014; U-Wert 3,10 W/(m²*K) EnEV 2014. Für die Beleuchtungsstärkesimulation der Sanierungsvariante wird der Neu-Fall mit einem Verschmutzungsfaktor nach DIN von 0,9 angenommen.

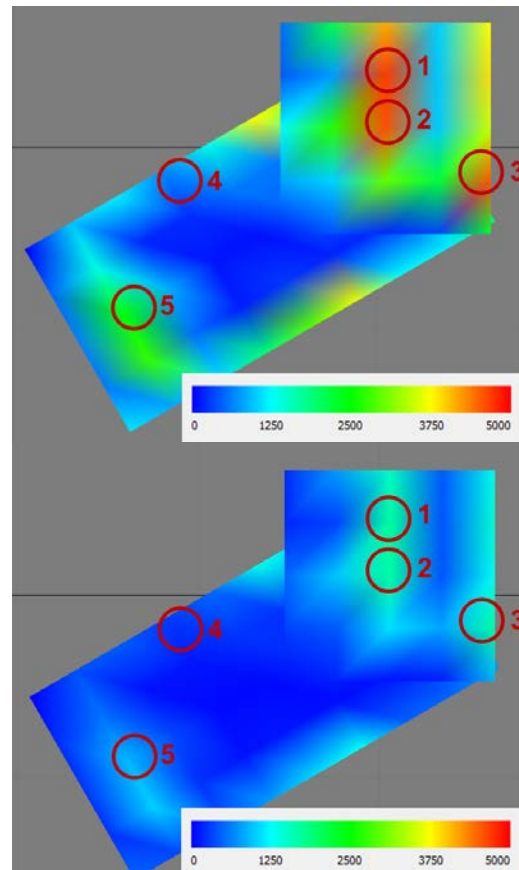


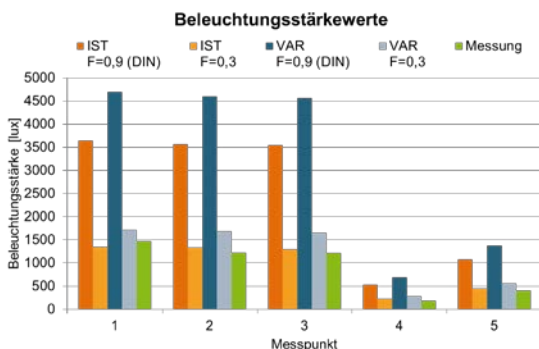
Abbildung 7: oben: Simulation Variante (F=0,9); unten: Simulation Variante (F=0,3)
Quelle: BioClima (2014)

Die Implementierung der Ergebnisse der Messreihen (Verschmutzungsfaktor $F=0,3$) in die Simulation in Abhängigkeit der realen "Standzeit", ermöglicht die Nachbildung der zu erwartenden Lichtverhältnisse im Innenraum für die Durchführung der Optimierungsvariante.

*Tabelle 2:
Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse
Optimierungsvariante mit verschiedenen
Minderungsfaktoren
Quelle: BioClima (2014)*

Punkt	Sim VAR F = 0,9 (DIN)	Sim VAR F = 0,3
1	4690	1713
2	4599	1688
3	4568	1646
4	686	274
5	1375	560

Durch den Austausch der Dachverglasung wird ein um ca. 25% erhöhtes Beleuchtungsstärkeniveau im Innenraum erreicht. Je nach Materialbeschaffenheit der Gläser kann dies auch mit erhöhten solaren Energieeinträgen einhergehen.



*Abbildung 8: Vergleich der gemessenen und simulierten Beleuchtungsstärken an den gewählten Messpunkten
Quelle: BioClima (2014)*

Der Vergleich der Simulationsfälle mit dem Minderungsfaktor für Glasflächen nach DIN $F=0,9$ und dem messtechnisch ermittelten Minderungsfaktor im betrachteten Gebäude zeigt, dass die spezielle Nutzung eines Gebäudes und die damit verbundenen Auswirkungen auf die transparenten Fassadenteile für licht- und auch wärmetechnische Berechnungen Berücksichtigung finden müssen. Andernfalls kann das Ergebnis eine falsche Größenordnung widerspiegeln. Der realistisch für dieses Gebäude zu erwartende Beleuchtungsstärkewert unter Berücksichtigung der speziellen Nutzung und Rangbedingungen beträgt bei ähnlichen Wetterbedingungen deutlich weniger als die Hälfte des nach DIN errechneten Wertes (simulierter

Beleuchtungsstärkewert im Durchschnitt 38% des nach DIN ermittelten Wertes).

Nutzungsprofile

Die Untersuchungen ermöglichen die Fortschreibung der Nutzungsprofile gemäß DIN V 18599 für Sondergebäude im Bereich der Beleuchtung.

Nutzung: Tropenhalle - Gehegezone			
Nutzungszeiten		von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr	0	24
Jährliche Nutzungstage	d/a	365	
Jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit	h/a	4407	
Jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit	h/a	4353	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	-	-
Jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung	d/a	365	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	0	24

Beleuchtung		
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	lx	1500
Höhe der Nutzebene	m	-
Minderungsfaktor	-	-
relative Abwesenheit	-	0
Raumindex	-	-
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit	-	-

*Abbildung 9: Formblatt Nutzungsrandbedingungen nach DIN V 18599-10 für Tropenhalle
Quellen: DIN V 18599; BioClima (2014)*

Der nutzungsspezifische Beleuchtungsstärkewert im Formblatt der Nutzungsrandbedingungen nach DIN V 18599-10 beruht auf der Tageslichtsimulation der Optimierungsvariante mit Verglasung nach EnEV 2014 und einem Verschmutzungsfaktor von $F=0,9$ nach DIN V 18599. Für den Empfehlungswert wurde der Durchschnitt der Simulationsergebnisse im Gehegebereich ermittelt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse aus lichttechnischen Simulationen ergeben Ansätze für die Einsparung von Heizenergie. Der Abgleich der Wärmegewinne durch Licht, gerade in den Übergangszeiten, und der tatsächlichen gemessenen Verbräuche geben Aufschluss über Einsparpotentiale. Erste Hochrechnungen ergeben eine mögliche Reduzierung der Heizenergie für diesen Gebäudetyp von 40% durch Austausch der transparenten Fassadenteile.

Weiterführende Untersuchungspunkte werden die Speicherfähigkeit der Materialien sein. Dazu zählen neben der Gebäudehülle auch die Einbauten und Oberflächenbeschaffenheit. Für die Nachbildung der tropischen Klimaten kommen eine Vielzahl von Naturmaterialien, wie Erde, Wasser und Pflanzen zum Einsatz. Diese können für Verschattungen, Feuchtigkeitsregulierungen und für Luftqualitätsoptimierungen fungieren. So ergeben sich Synergien für vergleichbare Areale für Nutzung und Betrieb von Sondergebäuden.

*Kooperationspartner:
Allwetterzoo Münster*

LITERATUR

- DIN V 18599, 2011-12, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Beuth Verlag Berlin
- DIN EN 12464, 2011, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Beuth Verlag Berlin
- DIN EN 12831, 2003, Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Beuth Verlag Berlin
- DIN EN 572-1, 2012, Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas – Teil 1: Definition und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften, Beuth Verlag Berlin
- VDI 2067, 2012, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnungen, VDI Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
- VDI 3807-1, 2013, Verbrauchskennwerte für Gebäude – Grundlagen, VDI Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
- Biek, K. Prof. Dipl.-Ing., Exner, Nora M.Sc., Broad, Helena Dipl.-Ing. Arch., 2014, BioClime, Veröffentlichung im Jahrbuch Energieeffizienz in Gebäuden 2014, VME Verlag, Herausgeber Jürgen Poeschk, ISBN: 978-3-936062-10-6
- Biek, K. Prof. Dipl.-Ing., Exner, Nora M.Sc., Broad, Helena Dipl.-Ing. Arch., 2012, “BioClime - Effiziente Ressourcennutzung mittels Datenerhebung als Basis für eines Energie-Benchmarks für Sonderbauten“, Veröffentlichung im Buch Angewandte Forschung zur Stadt der Zukunft 2012 der Beuth Hochschule für Technik Berlin, Herausgeberin Prof. Dr. rer. nat. Monika Groß, Prof. Dr. rer. nat. Sebastian von Klinski, ISBN: 978-3-8325-3352-6
- Biek, K. Prof. Dipl.-Ing., 2012, Innovative Methoden und Verfahren für den Bau und Betrieb von Sonderanlagen, Paper BauSim 2012
- Biek, K. Prof. Dipl.-Ing., 2011, Klimaschutz hautnah angewandt – Wassermanagement in Tier- und Freizeitanlagen, Beuth Hochschule für Technik Berlin, ISBN: 978-3-86573-650-5
- Biek, K. Prof. Dipl.-Ing., 2007, Forschungsbericht 2007, Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Thümer, Reinhard, Prof. Dr. Görlitz, Gudrun, Verlag für Marketing und Kommunikation GmbH & Co. KG, ISBN 978-3-938576-01-3