

Zumtobel Research

Studie über den Einfluss eines Lichtsteuerungs- und
Sonnenschutz-Systems auf den Energieverbrauch
eines Bürogebäudes.

AJ INGENIERÍA José Luis Hernández, Barcelona | ES

CREVER Forschungsgruppe für angewandte Wärmetechnik, Barcelona | ES

URV Universität Rovira i Virgili in Tarragona, Tarragona | ES

Januar 2012

ISBN 978-3-902940-00-1

Zumtobel Research

Studie über den Einfluss eines Lichtsteuerungs- und Sonnenschutz-Systems auf den Energieverbrauch eines Bürogebäudes.

Vorgeschichte			5
1 Zielsetzung der Studie			6
2 Verfasser der Studie			7
3 Arbeitsmethode	3.1	Verwendete EDV-Tools	8
	3.2	Simulationsmodelle	10
4 Beschreibung des Gebäudes	4.1	Beschreibung des Gebäudes VOR der Renovierung	12
	4.1.1	Beschreibung des Gebäudes	12
	4.1.2	Bausysteme	12
	4.1.3	Anlagen	13
	4.2	Beschreibung des Gebäudes NACH der Renovierung	14
	4.2.1	Beschreibung des Gebäudes	14
	4.2.2	Bausysteme	14
	4.2.3	Anlagen	17
5 Eingangsdaten	5.1	Klimatische Daten	26
	5.2	Geometrische Konfiguration und Zoneneinteilung	27
	5.3	Lichtundurchlässige Umschließungen	28
	5.4	Verglasungen	29
	5.5	Beschattungsvorrichtungen	30
	5.6	Interne Gewinne durch Personen	31
	5.7	Interne Gewinne durch Geräte und Anlagen	32
	5.8	Interne Gewinne durch Beleuchtung	33
	5.9	HVAC-System	34
6 Ergebnisse	6.1	Allgemeine Energieverbrauchswerte	35
	6.2	Wärmebilanzen des Gebäudes	36
	6.3	Wärmebilanzen einer repräsentativen ZONE mit beweglichem Lamellensystem	40
	6.4	Vergleich von gemessenen und simulierten Energieverbrauchswerten durch Beleuchtung	42
7 Schlussfolgerungen	7.1	Szenarios des GEBÄUDES	45
	7.1.1	Analyse Szenario 03 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, ohne Steuerung) - GEBÄUDE-EBENE	46
	7.1.2	Analyse Szenario 04 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, mit Steuerung) - GEBÄUDE-EBENE	48
	7.1.3	Analyse Szenario 05 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, mit Steuerung) - GEBÄUDE-EBENE	49
	7.2	Szenarios einer ZONE	50
	7.2.1	Analyse Szenario 03 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, ohne Steuerung) - ZONEN-EBENE	51
	7.2.2	Analyse Szenario 04 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, mit Steuerung) - ZONEN-EBENE	51
	7.2.3	Analyse Szenario 05 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, mit Steuerung) - ZONEN-EBENE	52
	7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	52



Bilder des Gebäudes. Oben das Gebäude im ursprünglichen Zustand. Unten das Gebäude nach der Renovierung.

AJ Ingeniería, S.L.P. wird von dem Unternehmen LUXMATE mit der Realisierung einer Studie über den Einfluss der am Stammgebäude der „Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya“ in Barcelona eingebauten Lichtsteuerungs- und Sonnenschutzsysteme beauftragt.

Das genannte Gebäude wurde kürzlich renoviert und verfügt über ein LUXMATE-System, mit dem das Kunstlicht je nach dem durch die Fenster einfallenden Tageslicht gesteuert wird.

Darüber hinaus ist das Gebäude an zwei Fassaden mit motorbetriebenen beweglichen Lamellen ausgerüstet, die sich je nach Sonnenstand öffnen oder schließen, um sowohl vor Blendung als auch Überhitzung infolge der einfallenden Sonnenstrahlung zu schützen.

Gebäudedaten

- Standort: C/ Carrera Nr. 12-24 , 08004 - Barcelona
- Nutzung: Sitz der „Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya“. Behördliche Nutzung. Bereich für Publikumsverkehr.
- Bebaute Fläche: 6 800 m²
- Projekt zur umfassenden Renovierung und Fassade: AJ INGENIERIA, S.L.P.
- Architektur: Joan Francesc Serra Andreu, Architekt
- Einrichtungen bzw. Anlagen: Juan Hernandez Mayor, Dr. Ing. Ind.
- Kosten der Gesamtrenovierung: 6 570 000 €
- Abschluss der Bauarbeiten: 2009

1 Zielsetzung der Studie

Ziel der Studie ist die Bestimmung der Auswirkung eines Lichtsteuerungs- und Sonnenschutzsystems verglaster Fassaden auf den Energieverbrauch eines Gebäudes.

Hierzu werden Energiesimulationen des Gebäudes durch die Implementierung der installierten Steuerungssysteme durchgeführt, um deren Auswirkung auf den Energieverbrauch des Gebäudes in Bezug auf Beleuchtung und Klimatisierung sowohl separat als auch kombiniert auswerten zu können.

Hauptziel dieser Studie ist die Ermittlung von Synergien zwischen der Energieeinsparung durch diese Systeme – nicht nur beim Lichtverbrauch, sondern auch bei anderen Energieverbrauchssystemen wie etwa der Klimatisierung.

Bei der Simulation eines realen Gebäudes mit einem LUXMATE-Lichtsteuerungssystem steht ein Register des beleuchtungsbedingten Stromverbrauchs für ein ganzes Jahr bei betriebener Anlage zur Verfügung (Mai 2010 bis Mai 2011), das mit den bei der Simulation gewonnenen Daten verglichen werden kann. Später wird die Annäherung der beiden Ergebnisse überprüft, was es ermöglicht, bei den übrigen, durch die Simulationen erhaltenen und analysierten Ergebnisse in Bezug auf die Energieverbrauchswerte äußerst verlässliche Werte zu erzielen.

Die vorliegende Studie wurde realisiert von AJ INGENIERÍA S.L.P. in Zusammenarbeit mit der Gruppe für angewandte Wärmetechnik CREVER der URV (Universitat Rovira i Virgili) Tarragona (Spanien).

CREVER ist für die Simulation des Gebäudes mit Design Builder und Energy Plus zuständig, unter der Aufsicht des Büros AJ INGENIERÍA S.L.P., das auch die Daten zur Verfügung stellt.

Die Auswertung der mit Hilfe der von CREVER durchgeführten Energiesimulation erhaltenen Ergebnisse erfolgte ebenfalls durch AJ INGENIERÍA S.L.P.

Infolgedessen wurden Graphiken und Tabellen aus der Simulation von CREVER verwendet.

Ingenieurbüro für Anlagen und Energie, 1979 von Ángel González Toro und Juan Hernández Mayor in Barcelona (Spanien) gegründet.

Erstellt seit über 30 Jahren Ausführungsprojekte für elektrische und mechanische Anlagen, Sonderanlagen sowie Brandschutzeinrichtungen für den Wohn-, Tertiär- und Industriesektor.

Verfasser der Studie: José Luis Hernández Yuste, Wirtschaftsingenieur.

Aufsicht und Leitung: Juan Hernández Mayor, Dr.- Ing.

Die Forschungsgruppe für angewandte Wärmetechnik ist eine fachübergreifende Forschungsgruppe der Universität Rovira i Virgili Tarragona, die sich mit der Erforschung und Entwicklung neuer Technologien für erneuerbare Energien und der Verbesserung der Energieeffizienz beschäftigt.

Verfasser der Studie: Arturo Ordóñez García, Architekt.

Aufsicht und Leitung: Alberto Coronas Salcedo, Leiter von CREVER und Professor an der URV.



3 Arbeitsmethode

3.1 Verwendete EDV-Tools

Zur Erreichung des gesteckten Ziels wurde ein Analyseverfahren auf der Basis dynamischer Energiesimulationen durchgeführt. Dazu wurde das Programm DesignBuilder mit der eingebauten Rechenmaschine EnergyPlus verwendet.

DesignBuilder

DesignBuilder ist ein Programm, das vor knapp sieben Jahren von dem Unternehmen gleichen Namens in Gloucestershire (England) entwickelt wurde. Von Anfang an bestand eines der wesentlichen Ziele der Entwickler darin, eine benutzerfreundliche Oberfläche für EnergyPlus zu schaffen, ein Programm, das vollkommen in seiner Plattform integriert ist. Allerdings werden auch unabhängige Module wie das Zertifizierungsmodul SBEM und das Modul CFD in das Programm eingebunden.

Weitere Informationen unter:

www.designbuilder.co.uk und www.sol-arq.com

EnergyPlus

EnergyPlus ist ein Programm, das vom Energieministerium der Vereinigten Staaten über das staatliche Labor Orlando Lawrence Berkeley entwickelt wurde. Es besteht aus mehreren Modulen, die gemeinsam die Energie berechnen, die zum Kühlen oder Heizen eines Gebäudes erforderlich ist. Dabei wird unter Heranziehung einer Vielfalt von Ressourcen und Energiesystemen die Herstellung eines optimalen Komfortpegels angestrebt. Kernstück des Programms ist ein Gebäudemodell, das auf den Grundprinzipien der Energiebilanz basiert.

Das Programm bietet eine integrale Simulation. Das bedeutet, dass die drei Hauptteile der Simulation, also Gebäudebereiche, Luftmanagementsystem und Klimatisierungsanlagen, gleichzeitig berechnet werden (im Unterschied zu den Vorgängerprogrammen DOE-2 und BLAST, bei denen die drei Teile nacheinander und ohne jedes Feedback berechnet wurden).

Zur Berechnung der Wärmeströme durch die Baukomponenten verwendet EnergyPlus ein Wärmeübertragungsfunktionssystem, das auf einer Methode basiert, die als „state space“ bekannt ist und es ermöglicht, die beteiligten dynamischen Prozesse einschließlich der thermisch wirksamen Masse zu berücksichtigen.

Es handelt sich darüber hinaus um ein äußerst leistungsfähiges Tool zur Evaluation des thermischen Wirkungsgrads von Passivgebäuden (ohne mechanische Klimatisierungssysteme), da es neben der nahezu präzisen Einschätzung der Wirkung der Sonneneinstrahlung mit dem Modul AIRNET die Außenluftströme berechnet. Durch die Berücksichtigung von Aspekten wie Winddrücken und Kamineffekt ist es möglich, die Vorteile der natürlichen Belüftung einzuschätzen, einschließlich ihrer Kombination mit Bausystemen mit einer hohen thermisch wirksamen Masse.

EnergyPlus wurde von verschiedenen anerkannten Industriestandards wie ASHRAE Research Project 865, ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 und IEA BESTest (Building Energy Simulation Test) zugelassen.

Weitere Informationen unter:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

Slab

Das Programm Slab ist ein Hilfstool von EnergyPlus, das mit Hilfe einer dreidimensionalen Rechenmaschine zur Berechnung der Wärmeübertragung die Berechnung der monatlichen Durchschnittstemperaturen der den Boden berührenden Außenflächen (an Gebäuden) ermöglicht. Es verwendet dieselben Dateien mit klimatischen Zeitdaten wie EnergyPlus (im Format .epw).

Weitere Informationen im Dokument von EnergyPlus Auxiliary Programs, abrufbar unter:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.cfm>

Weather Tool

Weather Tool ist ein Programm, das von dem Unternehmen Square One in England entwickelt wurde. Es handelt sich im Wesentlichen um ein Tool zur Visualisierung und Analyse von klimatischen Informationen auf der Grundlage von Zeitdaten im Format .epw von EnergyPlus (wobei allerdings auch Daten in anderen Formaten importiert werden können). Es bietet eine breite Auswahl an Visualisierungsoptionen, einschließlich zwei- und dreidimensionaler Graphiken sowie Windgraphiken und Sonnenlaufdiagramme.

Weitere Informationen unter:

<http://ecotect.com/products/weathertool>

3.2 Simulationsmodelle

Zur Auswertung des Einflusses der Lichtsteuerungs- und Sonnenschutzstrategien auf den Energieverbrauch des Gebäudes sowohl einzeln als auch kombiniert, wurden 5 Szenarios für die Gestaltung des Gebäudes auf Grundlage der Aufteilung und der darin tatsächlich vorgesehenen Anlagen festgelegt:

- Szenario 01: Ursprüngliches Gebäude (vor der Renovierung), ohne bewegliche Lamellen und ohne Lichtsteuerung.
- Szenario 02: Jetziges renoviertes Gebäude, ohne bewegliche Lamellen und ohne Lichtsteuerung.
- Szenario 03: Jetziges renoviertes Gebäude, mit beweglichen Lamellen, ohne Lichtsteuerung
- Szenario 04: Jetziges renoviertes Gebäude, ohne bewegliche Lamellen, mit Lichtsteuerung.
- Szenario 05: Jetziges renoviertes Gebäude, mit beweglichen Lamellen und mit Lichtsteuerung.

Für jedes Szenario werden die Energieverbrauchswerte für Beleuchtung und Klimatisierung analysiert. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Analyse die Energieverbrauchswerte von Geräten (miscellaneous) und Aufzügen, da diese nicht Gegenstand der vorliegenden Studie sind.

Durch diese Szenarios soll die Auswirkung der wichtigsten Verbesserungsstrategien sowohl einzeln als auch kombiniert ausgewertet werden.

So ermöglicht Szenario 02 die Auswertung der Auswirkung der Änderungen bei der Zusammensetzung von Außenmauern und Verglasung nach deren Renovierung.

Szenario 04 definiert die Wirkung des Einsatzes eines Lichtsteuerungssystems ohne Verwendung von beweglichen Lamellen, um die Wirkung eines Lichtsteuerungssystems isoliert zu ermitteln.

Szenario 03 bewertet hingegen die Auswirkung des Systems aus beweglichen Lamellen ohne Lichtsteuerungssystem, um die Wirkung des Systems aus beweglichen Lamellen isoliert zu ermitteln.

Szenario 05 schließlich ermöglicht die Auswertung der kombinierten Wirkung des Systems aus beweglichen Lamellen und Lichtsteuerung.

Es sei darauf hingewiesen, dass bei den Szenarios 01, 02 und 04, bei denen das Gebäude ohne Sonnenschutzsysteme durch Außenlamellen simuliert wird, ein System mit durchscheinenden Innenvorhängen vom Typ Store verwendet wurde.

Im Hinblick auf die simulierten Lichtsysteme wurde bei allen Szenarios von einer Lichtlast (W/m^2) ausgegangen, die der tatsächlich im Gebäude implantierten Anlage entspricht. Selbst bei Szenario 01 (vor der Renovierung) wurde dieselbe Lichtlast angesetzt, so dass in diesem Fall die Verbesserung durch den höheren Energieeffizienzgrad der nach der Renovierung implementierten Leuchten und elektronischen Geräte nicht berücksichtigt wurde. Die herangezogene Zeitschiene für den Betrieb der Anlage entspricht den vom Nutzer des Gebäudes zur Verfügung gestellten Daten und wird in nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

Im Hinblick auf die Klimatisierungssysteme werden alle Simulationen mechanisch durchgeführt, das heißt unter Berücksichtigung der Verwendung von Heiz- und/oder Kühlsystemen, um während aller Belegungszeiten und das ganze Jahr über optimale Komfortbedingungen zu gewährleisten. In diesem Fall sind die wichtigsten Informationen für Auswertung und Vergleich des energetischen Wirkungsgrads der unterschiedlichen Szenarios die Energieverbrauchswerte in Verbindung mit den Klimatisierungssystemen.

Das Klimatisierungssystem ist bei jedem Szenario dasselbe, so dass die Verbesserung der Effizienz der Installation durch den höheren energetischen Wirkungsgrad der Geräte des implementierten HVAC-Systems nicht berücksichtigt wird. Infolgedessen kann der Einfluss jeder einzelnen Verbesserungsmaßnahme (Lichtsteuerung und/oder bewegliche Lamellen) auf ein in allen Fällen gleiches Referenz-Klimatisierungssystem exakt festgestellt werden.

4 Beschreibung des Gebäudes

4.1 Beschreibung des Gebäudes VOR der Renovierung

4.1.1 Beschreibung des Gebäudes



Das Gebäude besteht aus Erdgeschoss, Hochparterre, 4 Normgeschossen und zwei Untergeschossen. Der Bau ist um zwei vertikale Verbindungskerne herum angeordnet. Die beiden Untergeschosse werden als Tiefgarage mit insgesamt 120 Plätzen genutzt. Das die gesamte Tiefe des Grundstücks einnehmende Erdgeschoss und die Normgeschosse werden als Büros genutzt. Das Gebäude hat eine Fläche von ca. 6 000 m².

Das Gebäude ist um zwei vertikale Verbindungskerne herum angeordnet, von denen jeder über ein Treppenhaus, zwei Aufzüge pro Kern, sanitäre Anlagen und die für Anlagen vorgesehenen vertikalen Schächte verfügt.

4.1.2 Bausysteme

Struktur

Pfeiler und Tragbalken aus Stahlbeton.

Bindwerke

Stahlbeton in Netzstruktur mit Mörtelkassetten, die Zwischenachsen von 80 cm bilden. Das Bindwerk beträgt 22 cm + 4 cm Kompressionschicht.

Außenmauern

- Rückfassade: Mit 1/4 Mauer, mit 3 cm dicker EPS-Isolierung gefüllte Luftkammer und Außenwandfläche mit einseitig verputzten Hohlziegeln. Der Metallbau ist von außen aus angebracht.
- Hauptfassade: Bestehend aus 1/4 Mauer, mit 3 cm dicker EPS-Isolierung gefüllte Luftkammer, 14 cm starker Hohlziegelmauer und Außenverkleidung mit Natursandsteinplatten.

Trennwände

- Abtrennung von Büros: Mittels Zwischenwand aus Hohlziegelwerk 14 cm.
- Toiletten: 9 cm Hohlziegel.
- Treppenhäuser und Aufzug: Lochziegelwerk 14 cm.





Dach

Im Durchschnitt 12 cm starker Zellbeton mit Gefälle, Abdichtung mit Bitumen-Dachbahn, Wärmedämmung mit hochdichten, 30 mm starken XPS-Platten, durchschlagbeständige Drainagefolie und durchschnittlich 5 cm dicke Kiesschicht.

Außen-Metallbau und Verglasung

Außen-Metallbau aus Aluminium, ohne Wärmebrückenunterbrechung. Climalit 6-6-5 farblos bei Außen-Metallbau. Verbund-Sicherheitsglas 4-4 mit Zwischenfolie aus Butyral am Außen-Metallbau in Erdgeschoss, Hochparterre und Eingangstüren.

4.1.3 Anlagen

Beleuchtung

- Büros: In der Zwischendecke eingebaute, 120 x 60 cm große Leuchtschirme mit 4 Leuchtstoffröhren zu 36 W. Modell Novalux NLE 436/440. Mit Lamellendiffusor mit V-förmigen Brücken. Magnetische Reaktanz.
- Toiletten: Mittels Lichtanschlüssen zum Unterputzeinbau für Lampe E-14 40 W Typ Guzzini 8011.
- Foyers: Leuchten für Unterputzeinbau von Halogenlampe 50 W Typ Guzzini 8005.

Klimatisierung

Direktverdampfer-Spliteinheiten, Wärmepumpen. Außeneinheiten auf dem Dach und Inneneinheiten in den Zwischendecken von Gängen und Foyers. 7 Geräte pro Geschoss.

4.2 Beschreibung des Gebäudes NACH der Renovierung

4.2.1 Beschreibung des Gebäudes



Das Gebäude besteht aus Erdgeschoss, Hochparterre, 4 Normgeschossen und zwei Untergeschossen. Der Bau ist um zwei vertikale Verbindungskerne herum angeordnet. Die beiden Untergeschosse werden als Tiefgarage mit insgesamt 120 Plätzen genutzt. Das die gesamte Grundstückstiefe einnehmende Erdgeschoss und die Normgeschosse werden als Büros genutzt.

Das Flächenverhältnis über Grundstücksniveau ist:

Erdgeschoss	1 350 m ²
Hochparterre	700 m ²
Erstes Obergeschoss	950 m ²
Zweites Obergeschoss	940 m ²
Drittes Obergeschoss	950 m ²
Viertes Obergeschoss	950 m ²
Insgesamt	6 800 m²

4.2.2 Bausysteme

Struktur

Die Struktur (Pfeiler und Tragbalken aus Stahlbeton) bleibt von der Renovierung unberührt.

Bindwerke

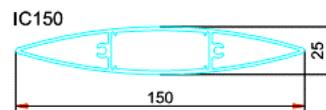
Die Bindwerke (Stahlbeton in Netzstruktur mit Mörtelkassetten, die Zwischenachsen von 80 cm bilden) bleiben von der Renovierung unberührt. (Das Bindwerk beträgt 22 cm + 4 cm Kompressionsschicht).

Außenmauern

- Rückfassade: Die Rückfassade (mit 1/4 Mauer, mit 3 cm dicker EPS-Isolierung gefüllte Luftkammer und einseitig verputzte Außenwandfläche mit Hohlziegeln) bleibt von der Renovierung unberührt.
- Hauptfassade: Brüstungsabdeckung in Modulbauweise zwischen den Fenstern an der Hauptfassade (Aufriss) auf der Basis von:
 1. Außenplatte aus Verbundplatte Alucobond Smoke Silver Metallic
 2. Wasserabweisendes Faserpaneel
 3. Dämmfüllung aus Gesteinswolle (100 kg/m³ - 100 mm)
 4. Zementgebundene Silikat-Brandschutzinnenplatte Promatect

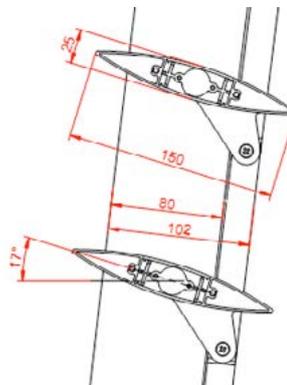


- Sonnenschutz an der Ost-, Süd- und Südostfassade (abgeschrägte Fassade): Mittels einer zweiten Haut aus motorbetriebenen, schwenkbaren Lamellen, die dem Gebäude zweifellos einen ästhetischen Mehrwert verleihen, eine äußerst bedeutende Energieeinsparung mit sich bringen und für eine höhere Lebensqualität der sich im Gebäude aufhaltenden Personen sorgen. Die Lamellen haben die folgende Form und Abmessungen:

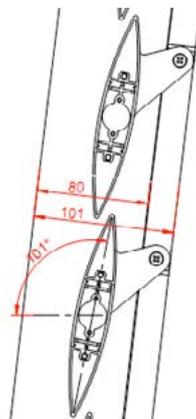


Die Lamellen sind motorbetrieben und ihre Bewegung wird von dem LUXMATE-System gesteuert, um die Fassade vor Sonneneinstrahlung und die sich im Gebäude aufhaltenden Personen vor Blendung zu schützen.

Wenn sie völlig geöffnet sind, ist die Position der Lamellen die folgende:



Wenn sie völlig geschlossen sind, ist die Position der Lamellen die folgende:



Trennwände

- Abtrennung von Büros: 80 mm starke Zwischenwände mit einer Innen- und Außenstruktur aus verzinktem Stahl. Pressspanplatten 13 cm. Innendämmung aus 50 mm starker Mineralwolle mit einer Dichte von 30/40 kg/m³.
- Toiletten: Mittels Hohlziegel 9 cm.
- Treppenhäuser und Aufzug: Von der Renovierung nicht betroffen (Lochziegelwerk 14 cm).

Dach

Im Durchschnitt 12 cm starker Zellbeton mit Gefälle, Abdichtung mit Bitumen-Dachbahn, Wärmedämmung mit hochdichten, 50 mm starken XPS-Platten, durchschlagbeständige Drainagefolie und durchschnittlich 5 cm dicke Kiesschicht.

Außen-Metallbau und Verglasung

Außen-Metallbau aus Aluminium mit Wärmebrückenunterbrechung, REYNAERS Modell CS68 RAL-lackiert 9007.

Verglasung Hochparterre sowie 1. bis 4. Obergeschoss:

- Float 6 mm transparent / Kammer 15 mm / lamellar 4+4 Butyral Silence transparent. Geringe Emissivität.

Verglasung Feuerwehrezugang im 1. bis 4. Obergeschoss:

- Float 6 mm transparent gehärtet / Kammer 15 mm / Float 8 mm transparent gehärtet.

Verglasung Erdgeschoss auf Hängewand:

- Lamellar außen 6+6 farblos / Kammer 16 mm / Lamellar innen 6+6 farblos mit Lärmschutz-Butyral. Geringe Emissivität.

Verglasung Erdgeschoss im Eingangsbereich an der abgeschrägten Fassade des Gebäudes:

- Lamellar 6+6 farblos, außen gehärtet.

4.2.3 Anlagen

Beleuchtung

- Büros und offene Bereiche: In der Zwischendecke eingebaute, 60 x 60 cm große Leuchtschirme für 3 Leuchtstoffröhren Typ T16, 24 W. Marke LLEDÓ Modell OD-3281 mit Doppel-Parabolreflektor Aluminium satiniert und regulierbarer digitaler Reaktanz Marke TRIDONIC Modell EXCELL ONE4ALL.
- Toiletten: Downlights Marke ZUMTOBEL Modell PANOS Q LM, 2 x 26 W und/oder 2 x 18 W, mit regulierbarer digitaler Reaktanz Marke TRIDONIC Modell EXCELL ONE4ALL.

LUXMATE-Lichtsteuerungssystem

STUERBUS

Es wird ein auf dem LUXMATE-Feldbus basierendes Steuerungssystem eingebaut, an das sämtliche Module der Anlage angeschlossen werden. Die Bustopologien sind absolut flexibel ausgelegt, um die Verkabelung und den Anschluss der Module zu vereinfachen. Jeder Topologietyp ist zulässig (Stern, Baum, Linie etc.), mit Ausnahme der Ringtopologie.

Der LUXMATE-Bus kann durch galvanische Trenner segmentiert werden. Jedes der Segmente wird über eine Stromquelle versorgt, die den Anschluss von bis zu 100 Modulen pro Segment ermöglicht. Bei Bedarf wird eine zweite Stromquelle an jedes Segment angeschlossen, die redundant funktioniert und den Bus automatisch mit Strom versorgt, falls an der ersten Quelle ein Problem auftreten sollte.

Die Segmentierung des LUXMATE-Busses wird genutzt, um eine funktional strukturierte Verkabelung entlang der gesamten Anlage durchzuführen. Auf diese Weise wird vermieden, dass Probleme mit dem Bus wie Kurzschlüsse, Unterbrechung der Busleitung oder Stromausfälle in einem Teil der Installation die übrige Anlage in Mitleidenschaft ziehen.

Die Freiheit bei der Bustypologie ermöglicht es, spätere Modifikationen oder Erweiterungen der Anlage einfach und kostengünstig durchzuführen.

Der LUXMATE-Bus ist unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen, ohne dass seine Kabelanschlüsse dafür mit geschirmten Leitern versehen werden müssen. Alle an den Bus angeschlossenen LUXMATE-Module werden mit einer Diodengleichrichterbrücke ausgerüstet, die den Anschluss ohne Berücksichtigung der Polarität ermöglicht. Darüber hinaus können alle Module „warm“ an den Bus angeschlossen oder von diesem getrennt werden, das heißt, vor dem Anschluss bzw. der Trennung muss die Stromversorgung des Bussegments nicht unterbrochen werden.

Für die Verlegung des Busses wird ein handelsübliches Standardkabel H 05 VV-U 2 x 0,75 oder H 05 VV-U 2 x 1,5, zweipolige Drahtlitzen, verwendet.

Der LUXMATE-Bus arbeitet mit einer Kommunikationsgeschwindigkeit von 4800 Bauds und variabler Bit-/Frame-Rate sowie einer 16-bit zyklischen Redundanzprüfung (CRC), welche die Nachricht im Fall eines Übertragungsfehlers automatisch wiederholt.

Die LUXMATE-Module können sowohl an ihren Ein- als auch Ausgängen über mehrere Kanäle verfügen. Jedem Kanal wird eine eindeutige Adresse zugewiesen, die ihn innerhalb eines jeden Busses identifiziert. Die Betriebsbefehle des LUXMATE-Systems können an einen einzigen Kanal, an alle Kanäle einer Gruppe, an alle Kanäle eines Raums oder an alle Kanäle der Anlage ausgegeben werden.

Das Adressierungsverfahren erfolgt einfach und intuitiv über ein an das System angeschlossenes LUXMATE-Bediengerät. Neben der Adressierung sämtlicher Systemmodule kann es bei Bedarf später als Bediengerät für die Installation verwendet werden. Die Verwendung komplexer Programmierungskonsolen, PCs oder spezifischer Software ist für die Durchführung der genannten Adressierung nicht erforderlich.

Das LUXMATE-System ermöglicht die Einrichtung und Veränderung von Stimmungen in jedem Raum. Diese Stimmungen bestehen aus konkreten Werten jedes der Ausgangskanäle innerhalb des Raums, die in den EPROM-Speichern jedes Moduls gespeichert werden. Je nach Modultyp können bis zu zwanzig verschiedene Stimmungen gespeichert werden, die dann über einen einfachen Tastendruck auf dem Bediengerät oder Systemeingang aufgerufen werden können.

Für den Wechsel von einer Stimmung zu einer anderen ermöglicht das Programm die Festlegung von Überblendzeiten, die vollständig vom Benutzer konfiguriert werden können. Wenn diese Zeiten aktiviert sind und ein Benutzer entscheidet, von einer Stimmung in einem Raum zu einer anderen zu wechseln, ändern die Ausgänge nach und nach den Wert, den sie in der ursprünglichen Stimmung hatten, bis sie den entsprechenden Wert der neu gewählten Stimmung erreichen. Dieser Vorgang nimmt die im System festgelegte Zeit in Anspruch. Die Definition dieser Zeiten kann für jede Zielsequenz unterschiedlich oder für alle im Raum definierten Sequenzen gleich sein.

LEUCHTENSTEUERUNG

Die Leuchtstoffleuchten der Installation werden über das Kommunikationssystem DALI gesteuert, das für jede Leuchte den geeigneten Wert liefert. Über dieses digitale Signal werden die Leuchten mit einem Mindesteinstellbereich von 1–3 % bis 100 reguliert.

Die Verwendung dieses digitalen Signals ermöglicht selbst bei geringer Helligkeit eine konstante Regulierung ohne Flackern der Leuchte und das EV kann Lampenstörungen an das System senden.

Alle LUXMATE-Module mit DALI-Ausgang zur Leuchtensteuerung enthalten einen Ausgangswächter. Sie sind dadurch in der Lage, bei Fehlfunktionen wie Kurzschlüssen in der DALI-Leitung, Öffnung der Leitung, von den digitalen EV für Fluoreszenzen gesandten Ausfällen der Lampe etc. Fehlercodes an das System zu senden.

Jede der an die DALI-Leitung angeschlossenen Leuchten kann in jeder Hinsicht separat reguliert werden. Dafür wird ein handelsübliches Standardkabel H 05 VV-U 2 x oder 0,75 oder H 05 VV-U 2 x 1,5 zweipolige Drahtlitzen verwendet.

STEUERUNG VON JALOUSIENPOSITION UND LAMELLENWINKEL

Die spezifischen Niederspannungs-Gleichstrommodule sind mit mehreren voneinander unabhängigen Ausgängen ausgerüstet, von denen jedem eine LUXMATE-Adresse zugewiesen wird.

Jeder Kanal ist in der Lage, mit einem einzigen Ausgang sowohl die vertikale Jalousienposition als auch die Ausrichtung der Lamellen zu steuern. Die Regelung der Jalousien kann entweder über das System oder über direkt an das Modul angeschlossene Taster erfolgen.

RADIOFREQUENZTASTER

Das LUXMATE-System ist mit LM-RFR-Radiofrequenzempfänger-Tastern für die drahtlose Verbindung von EnOcean-Tastern ausgerüstet (batterielose RFR-Taster-Technologie).

Auf diese Weise wird maximale Verlässlichkeit bei der Planung erzielt und die Einbauzeiten verkürzt.

Über die Knöpfe können voreingestellte Stimmungen auf einfachste Weise aktiviert werden. Über den Kippschalter T+ (auf) und T- (ab) kann die Beleuchtung eingeschaltet und die Beleuchtungsstärke geregelt werden.

STEUERUNGSELEMENTE

Das LUXMATE-System verfügt über eine breite Auswahl an Steuerungselementen für die Wandmontage mit unterschiedlichen Funktionen wie Ein- und Ausschaltung, Dimmen oder Aufrufen von voreingestellten Stimmungen.

AUSSENLICHTSENSOR

Das LUXMATE-System ist mit einem allgemeinen Sensor für die gesamte Installation ausgerüstet, der sich an der höchsten Stelle des Gebäudes befindet. Dieser Sensor besteht aus insgesamt acht lichtelektrischen Zellen und einem Infrarotsensor. Der Sensor sammelt ständig Daten bezüglich des direkten und diffusen vertikalen und horizontalen Lichteinfalls aus jeder Himmelsrichtung sowie des allgemeinen Himmelszustands über den Infrarotsensor.

Alle vom Sensor erfassten Daten werden über den LUXMATE-Bus zur Weiterverarbeitung und Nutzung an die restliche Anlage gesandt.

TAGESLICHTRECHNER

Die zentralisierte Verarbeitung der LUXMATE-Anlage erfolgt über so viele Rechner wie erforderlich sind. Davon besitzt jeder die Fähigkeit, drei voneinander vollkommen unabhängige Feldbusse mit einem Maximum von jeweils 500 Systemausgängen, also insgesamt 1500 Ausgänge, zu steuern.

Die Verbindung zwischen dem Rechner und den Feldbussen erfolgt über die zu diesem Zweck im Rechner vorgesehenen Kommunikationsports RS 232. An jeden Port wird eine Kommunikationsschnittstelle angeschlossen, die es ermöglicht, die Verbindung zwischen dem Rechner und den Feldelementen herzustellen.

Der Rechner verfügt über ein Modem mit Telefonzugang, um an der Anlage fernbetreute Arbeiten vorzunehmen.

Folgende Funktionen werden vom Tageslichtrechner übernommen:

Tageslichtabhängige Regelung

In jenen Bereichen, in denen das einfallende Tageslicht ausreicht, erfolgt eine tageslichtabhängige Leuchtenregelung, die sich im Benutzerkomfort und einer beträchtlichen Energieeinsparung niederschlägt.

Der Lichtrechner übernimmt die Einstellung der Beleuchtungswerte aller Systemausgänge auf die von dem auf dem Dach des Gebäudes angebrachten Sensor erfassten Tageslichtschwankungen.

Das LUXMATE-Steuerungssystem ermöglicht das Anlegen einer charakteristischen Steuerungskurve für jeden regelbaren Ausgang. Diese wird verwendet, um jederzeit den für die Aufrechterhaltung konstanter Beleuchtungspegel im Gebäude trotz der normalen Tageslichtschwankungen im Freien erforderlichen Ausgangswert zu berechnen.

Für jede Leuchte können unterschiedliche Steuerungskurven in jeder der im LUXMATE-System möglichen Stimmungen aufgenommen werden, so dass das System bei der Auswahl einer dieser Stimmungen in einem Raum mit der dieser Stimmung entsprechenden Steuerungskurve automatisch die Ausgangswerte berechnet.

Obwohl die Leuchtenwerte automatisch vom System gesteuert werden, können diese vom Benutzer jederzeit verändert werden. Es ist die Zeit festgelegt, nach der die Anlage im Anschluss an ein manuelles Eingreifen in den Automatikbetrieb zurückkehrt.

In jedem für tageslichtabhängige Regelung in Frage kommenden Raum wird ein Innenlichtsensor eingebaut, der das einfallende Tageslicht in Abhängigkeit der abschirmenden Elemente wie Jalousien, Stores etc. erfasst.

Die Verwendung dieses internen Sensors impliziert die Definition eines dritten Punkts in der Steuerungskurve, um die mit dem Tageslichteinfall verbundene Verzerrung zu berücksichtigen.

Lamellenautomatisierung

Das LUXMATE-Steuerungssystem ermöglicht über den Tageslichtrechner eine vollständige Automatisierung aller Lamellenausgänge der Anlage. Es können für jeden einzelnen Ausgang oder für Ausgangsgruppen in jedem Raum separate Automatisierungsaufgaben vorgenommen werden.

Für jeden Jalousienverband wird dessen Ausrichtung in Bezug auf den Nordpunkt sowie die horizontalen und vertikalen Sonnenstandswinkel definiert, bei denen direkte Sonneneinstrahlung auf das Fenster trifft. Darüber hinaus wird auch der Außenlichtwert definiert, ab dem die Lamelle betätigt werden soll.

Wenn die Sonne standbedingt direkt auf das Fenster trifft und die Daten des Außensensors den definierten Lichtschwellenwert überschreiten, werden die Lamellen vom System durch die Einstellung des Lamellenwinkels auf die Sonnenbewegung automatisch quer zur Sonneneinstrahlung positioniert.

Das System berücksichtigt sowohl die Geometrie des Gebäudes als auch andere angrenzende Gebäude oder Elemente, die ihren Schatten auf die zu steuernden Lamellen werfen könnten.

Da der Sonnenstand am Morgen als äußerst störend empfunden wird, auch wenn der Lichtschwellenwert nicht überschritten wird, lässt das System einen Korrekturfaktor zu, um diese Situation auszugleichen und die Jalousien herunterzufahren.

Das System ermöglicht darüber hinaus die Programmierung voreingestellter Schließzeiten nach Arbeitszeiten, Feiertagen und Urlaubszeiten. Es kann definiert werden, ob der Benutzer in diesen Zeiten manuell in die Anlage eingreifen kann.

Zeitmanagement

Der Tageslichtrechner ermöglicht die Programmierung von sogenannten Events nach Arbeitszeiten sowie Feiertagen oder Urlaubszeiten. Diese Events wirken auf jeden beliebigen Teil der Anlage, mehrere Zimmer, ein einziges Zimmer, Gruppen- oder Einzelausgänge ein. Es kann sogar ausgewählt werden, welchen Ausgangstyp das Event ansprechen soll.

Verbrauchsmanagement

In das System eingegeben werden die Daten zur Anzahl der Leuchten und der Leistung jeder einzelnen Leuchte, die an jeden Ausgang des LUXMATE-Systems angeschlossen ist. Mit diesen Daten werden Histories hinsichtlich Betriebszeiten, Leistung und verbrauchter Energie angelegt.

Diese Anwendung stellt dem Wartungspersonal verlässliche Informationen über die Alterung der Anlagenelemente sowie detaillierte Angaben über die Verbrauchswerte an jedem einzelnen Punkt der Anlage zur Verfügung.

Benutzermanagement

Der Tageslichtrechner übernimmt die Aufgaben von Verwaltung und Steuerung durch die Benutzer. Definiert werden können Namen der Benutzer, Passwörter, Arbeitsplätze der Benutzer sowie Zugangsrechte zu den einzelnen LUXMATE-Steuerungsprogrammen und den Aktionen, die sie an der Anlage vornehmen können.

Kommunikationen mit externen Systemen

Der Tageslichtrechner übernimmt die Kommunikation mit anderen Systemen mithilfe des Kommunikationsstandards BMS über das Protokoll TCP/IP oder einen Serienschlüssel RS232.

Über diese Kommunikation kann jedes beliebige externe System auf das LUXMATE-Steuerungssystem einwirken. Es kann jede beliebige Leuchte des Systems eingeschaltet, ausgeschaltet und geregelt sowie der Zustand der Leuchten oder eines Teils der Anlage abgerufen werden.

GRAPHIKOBERFLÄCHE

Das LUXMATE-Steuerungssystem verfügt über eine Software zur Visualisierung der Anlage, um den Zustand sämtlicher Ausgänge der Anlage zu überprüfen.

Das LUXMATE-Anzeigesystem enthält eine History mit den an der Anlage aufgetretenen Störungen. In dieser History können je nach den Benutzerrechten Alarmmeldungen als bereits dem Wartungsmitarbeiter bekannt markiert und ausgedruckt werden.

Das System gibt nicht nur einen allgemeinen Alarmcode aus, sondern spezifiziert, ob es sich um ein allgemeines Problem des Moduls, einen Kommunikationsfehler, einen Fehler in dem vom Modul gesteuerten Element etc. handelt.

GESTEUERTE BEREICHE

Nachfolgend werden die gesteuerten Bereiche sowie die Definition ihrer Funktionen je nach ihrer Verwendung und den geforderten Leistungsmerkmalen aufgeführt.

Das Steuerungssystem verfügt über ein Terminal zur graphischen Überwachung der Anlage, mit dem der Status der Systemausgänge in Echtzeit angezeigt wird. Zusätzlich können Betriebsbefehle an die Systemausgänge gesendet und Alarmmeldungen über Störungen in Modulen und Lampen angezeigt sowie ausgedruckt werden.

Gänge und Gemeinschaftsbereiche

Es erfolgt eine allgemeine Steuerung der Ein- und Ausschaltvorgänge in Abhängigkeit von dem für das Gebäude festgelegten Zeitrahmen.

In Bereichen mit Tageslichteinfall erfolgt eine kontinuierliche Regelung der Leuchten, die sich in einem ca. 5 m breiten Streifen befinden.

Außerhalb der normalen Nutzungszeiten des Gebäudes bleibt mindestens ein Drittel der Leuchten des Bereichs zur Sicherheit und Überwachung eingeschaltet.

Rezeption

In diesem Bereich wird ein Touchpanel in die Wand eingebaut, über das dieser vollständig gesteuert wird. Es wird eine Übersichtsdarstellung der zu steuernden Elemente mit ihrer Verteilung im Gebäude angezeigt.

In Bereichen mit Tageslichteinfall erfolgt eine kontinuierliche Regelung der Leuchten, die sich in einem ca. 5 m breiten Streifen befinden.

Es erfolgt eine allgemeine Steuerung der Ein- und Ausschaltvorgänge in Abhängigkeit von dem für das Gebäude festgelegten Zeitrahmen.

Toiletten und Umkleieräume

In diesem Bereich wird die Beleuchtung über Bewegungsmelder ein- und ausgeschaltet.

In den Toilettenkabinen wird die Beleuchtung über herkömmliche Wandschalter ein- und ausgeschaltet.

Büros, Arbeitsräume und Sitzungsräume

In diesem Bereich wird die Beleuchtung über in der Wand eingebaute Radiofrequenztafter ein- und ausgeschaltet sowie gedimmt.

In Bereichen mit Tageslichteinfall erfolgt eine kontinuierliche Regelung innerhalb eines ca. 5 m breiten Streifens.

Die Lamellen werden automatisch so gesteuert, dass der Lamellenwinkel bei direktem Sonnenlichteinfall auf das Fenster nach dem jeweiligen Sonnenstand eingestellt wird. Auf diese Weise wird direkter Lichteinfall vermieden, diffuser Lichteinfall jedoch zugelassen. Das System berechnet den Regelwert der Leuchten für jede Jalousienposition, um so den dem Gebäude zugewiesenen Beleuchtungsstärkewert aufrecht zu erhalten.

Es erfolgt eine allgemeine Steuerung der Ein- und Ausschaltvorgänge nach dem festgesetzten Zeitrahmen.

Pressesaal

In diesem Bereich wird ein Steuergerät in die Wand eingebaut, mit dem Ausgänge aktiviert, deaktiviert und geregelt werden können. Darüber hinaus kann die aktuelle Konfiguration für fünf unterschiedliche Stimmungen gespeichert und später aufgerufen werden.

Die manuelle Steuerung von Lamellen und Leinwänden erfolgt je nach gewählter Stimmung über das Wandgerät oder das Touchpanel.

Die Steuerung des Bereichs erfolgt über die Steuerungselemente, die für die Bedienung der audiovisuellen Anlagen vorgesehen sind, weshalb das System für seine Einbindung über ein Element zum Anschluss an externe Systeme verfügen muss.

Klimatisierungsanlage

Das Klimatisierungssystem nutzt Wasser als Wärmeträger mit vier Rohrleitungen, weil Gebäudegeometrie und Lage bedingen, dass verschiedene Bereiche des Gebäudes unterschiedliche Ausrichtungen haben und die Anforderungen bei gleichzeitiger spontaner Wärmeumkehr erfüllt werden sollen.

Die Kaltwasserbereitung erfolgt über einen luftgekühlten Kondensator auf dem Dach und die Warmwasserbereitung über einen Gaskessel. Die Verteilung des Wassers erfolgt mittels Pumpen über ein isoliertes Leitungsnetz bis zu den Endgeräten.

Bei den Endgeräten handelt es sich um Fancoils in 4-Wege-Ausführung mit Kälte- und Wärmegruppe für die meisten Büroräume.

Die Außenluftaufnahme erfolgt über Klimageräte zur Filterung und Aufbereitung der Luft und anschließender Weiterleitung an die Fancoils mit einer Temperatur, die der Komfortinnenraumtemperatur nahe kommt.

Alle Bereiche verfügen über die vorgeschriebene Lüfterneuerung nach den geltenden Vorschriften für Thermieanlagen in Gebäuden. Dabei geben Klimageräte und Rotationsenthalpietauscher die aus der aufbereiteten Luft entzogene Energie weiter und an den Außenlufteinlass ab.

5 Eingangsdaten

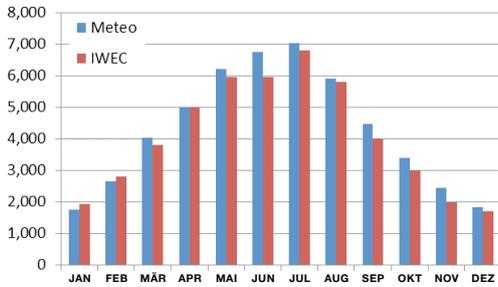


Abbildung 1: Sonnenstrahlung global horizontal (Wh/m²).

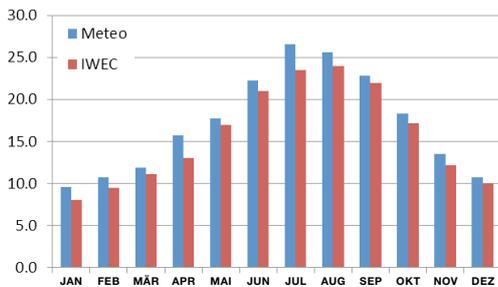


Abbildung 2: Monatliche Durchschnittstemperatur (Wh/m²).

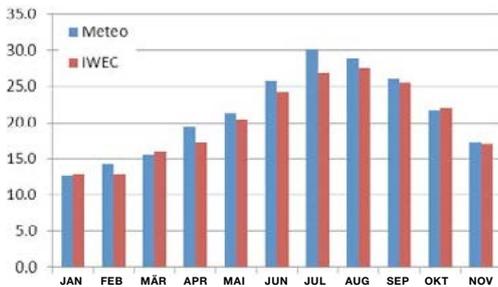


Abbildung 3: Monatliche Höchsttemperatur (Wh/m²).

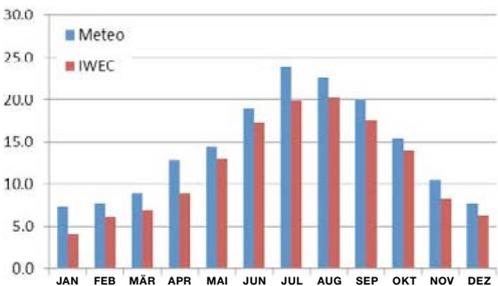


Abbildung 4: Monatliche Tiefsttemperatur (Wh/m²).

5.1 Klimatische Daten

Das Gebäude befindet sich in Barcelona, Spanien (Breite 41.28°, Länge 2.07, Höhe 6.0 ü.d.M.).

Bei den Simulationen wurde eine Datei mit klimatischen Daten für diese Stadt verwendet. Die Quelle dieser Datei ist International Weather for Energy Calculations (IWEC) von ASHRAE. Die Datei enthält stündliche Informationen für ein ganzes Jahr über Parameter wie Trockentemperatur, Tautemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Sonnenstrahlung (global horizontal, direkt normal und diffus horizontal) und Wind (Richtung und Geschwindigkeit).

In Anhang 1 finden sich graphische Darstellungen von jährlich-stündlichen Daten der wichtigsten in der genannten Datei enthaltenen Parameter.

Zur Überprüfung der Verlässlichkeit der Datei mit klimatischen Daten wurden die durchschnittlichen Sonnenstrahlungs- und Temperaturwerte mit klimatischen Daten verglichen, die an einer Klimastation in der Nähe des Gebäudes gemessen wurden.

Die folgenden Graphiken ermöglichen den Vergleich der Durchschnittswerte (Quelle: METEOCAT) mit den entsprechenden Werten der Datei mit klimatischen Daten (IWEC). Es wird festgestellt, dass eine adäquate Entsprechung zwischen den gemessenen Daten und den Daten der Datei gegeben ist. Dies gilt vor allem für die Sonnenstrahlung.

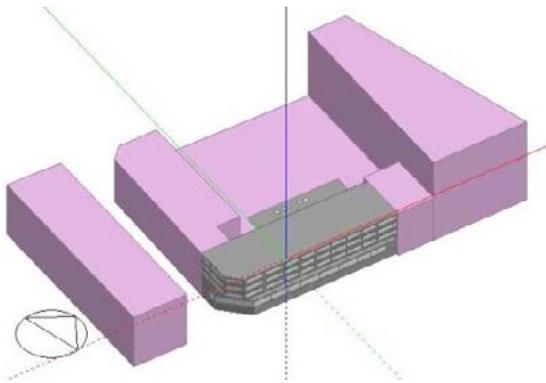


Abbildung 5: 3D-Modell, ganzes Gebäude.

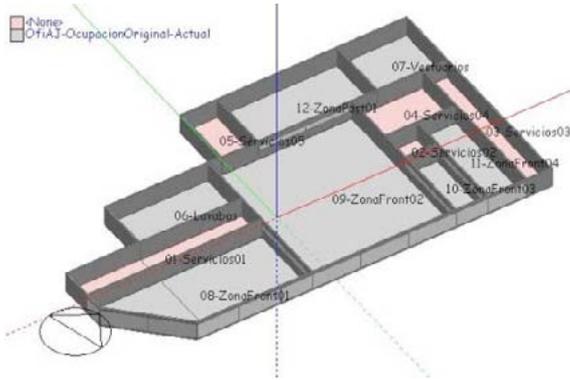


Abbildung 6: 3D-Modell, Erdgeschoss.

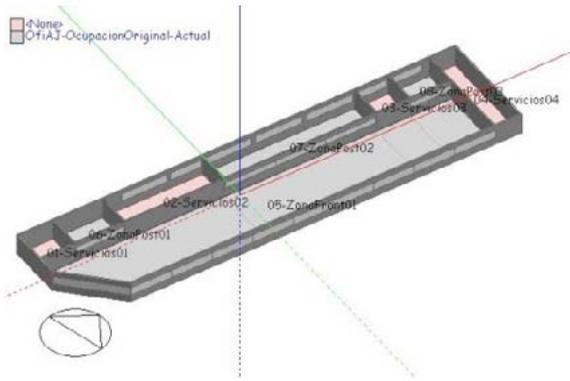


Abbildung 7: 3D-Modell, Hochparterre.

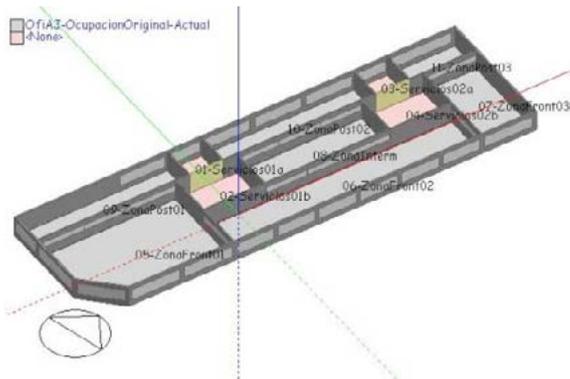


Abbildung 8: 3D-Modell, erstes bis viertes Obergeschoss.

5.2 Geometrische Konfiguration und Zoneneinteilung

Das Gebäude besteht aus 8 Ebenen: Zwei im Wesentlichen als Tiefgarage genutzte unterirdische Ebenen, ein Erdgeschoss, ein Hochparterre und vier Obergeschosse. Untergeschosse und Erdgeschoss nehmen das gesamte Grundstück ein. Hochparterre und Obergeschosse bilden ein lang gestrecktes Volumen, dessen Längsachse von Norden nach Süden verläuft (weshalb die breiteren Fassaden nach Osten und Westen zeigen).

Bei der Entwicklung des Simulationsmodells wurde versucht, die geometrische Konfiguration des realen Gebäudes so weit wie möglich zu berücksichtigen. Allerdings wurden einige Angleichungen vorgenommen, um die Analyseprozesse zu optimieren. Bei diesen Angleichungen handelt es sich unter anderem um die folgenden:

- Das zweite und dritte Obergeschoss wurden durch die Verwendung eines Zonenmultiplikators gleich 2 als ein einziges Standardgeschoss gestaltet, um Ergebnisse für beide Geschosse zu erhalten.
- Es wurde eine vereinfachte interne Zoneneinteilung definiert, indem versucht wurde, die Arbeitsbereiche von den Servicebereichen sowie die mit der Lage dieser Bereiche verbundenen unterschiedlichen thermischen Konditionen zu differenzieren.
- Die Konfiguration des Modells wurde so entwickelt, dass alle Bereiche konvex sind. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für die Verwendung der Option vollständige interne und externe Sonnenverteilung von DesignBuilder. Diese Option ermöglicht eine detailliertere Gestaltung der Verteilung der in die Räume einfallenden Sonnenstrahlung, ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf die Zielsetzungen der vorliegenden Studie.

Darüber hinaus wurden zusätzliche Blöcke in das Modell integriert, die Nachbargebäude repräsentieren, um die Schatten zu berücksichtigen, die von diesen auf das analysierte Gebäude geworfen werden.

Die Abbildungen 5 bis 8 zeigen Bilder der bei den Simulationen verwendeten 3D-Modelle, einschließlich des ganzen Gebäudes, des Erdgeschosses, des Hochparterres und des ersten bis vierten Obergeschosses.

5.3 Lichtundurchlässige Umschließungen

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die dem Modell des ursprünglichen Gebäudes und dem Modell des derzeitigen Gebäudes zugewiesenen Umschließungen, einschließlich Wärmedurchlasswerten und Wärmekapazität. In Anhang 2 werden Eigenschaften der einzelnen Umschließungen detailliert angegeben.

	Originalgebäude	Jetziges Gebäude
Ost- und Südfassade	Mauer 01 U (W/m ² -K) = 0,675 k-m (KJ/m ² -K) = 57,4	Mauer 04 U (W/m ² -K) = 0,272 k-m (KJ/m ² -K) = 14,2
Südostfassade (abgeschrägte Fassade)	Mauer 01 U (W/m ² -K) = 0,675 k-m (KJ/m ² -K) = 57,4	Mauer 05 U (W/m ² -K) = 0,201 k-m (KJ/m ² -K) = 57,4
Westfassade	Mauer 02 U (W/m ² -K) = 0,682 k-m (KJ/m ² -K) = 57,4	Mauer 02 U (W/m ² -K) = 0,682 k-m (KJ/m ² -K) = 57,4
Nordfassade (Zwischenmauer)	Mauer 03 U (W/m ² -K) = 1,167 k-m (KJ/m ² -K) = 56,5	Mauer 03 U (W/m ² -K) = 1,167 k-m (KJ/m ² -K) = 56,5
Unterteilungen (Innenmauern)	Unterteilung 01 U (W/m ² -K) = 1,730 k-m (KJ/m ² -K) = 104,6	Unterteilung 01 U (W/m ² -K) = 1,730 k-m (KJ/m ² -K) = 104,6
Obere Überdachung (viertes Obergeschoss)	Überdachung 01 U (W/m ² -K) = 0,547 k-m (KJ/m ² -K) = 158,0	Überdachung 02 U (W/m ² -K) = 0,530 k-m (KJ/m ² -K) = 158,0
Untere Überdachung (Erdgeschoss)	Überdachung 03 U (W/m ² -K) = 0,545 k-m (KJ/m ² -K) = 158,0	Überdachung 03 U (W/m ² -K) = 0,545 k-m (KJ/m ² -K) = 158,0
Innenböden	k-m (KJ/m ² -K) = 180,4	k-m (KJ/m ² -K) = 0,0

U = Gesamtwärmedurchlasswert
k-m = innere Wärmekapazität

Abbildung 9: Tabelle der berücksichtigten Umschließungen.

5.4 Verglasungen

In den folgenden Tabellen werden die detaillierten und die allgemeinen Eigenschaften dieser Verglasungen vor und nach der Renovierung dargestellt:

Schicht, Glas/Gas	Stärke (m)	Leitfähigkeit (W/m-K)	Quelle
1 (Außen) Helles Glas	0,006	0,900	Datenbank EnergyPlus
2 Luftkammer	0,006		BS EN 673 / EnergyPlus
3 (Innen) Helles Glas	0,006	0,900	Datenbank EnergyPlus
3,094 W/m ² -K Gesamtdurchlasswert (U)			
0,700 Gesamtdurchlassung Sonnenlicht (SGHC)			
0,604 Durchlassung direktes Sonnenlicht			
0,781 Lichtdurchlassung			

Abbildung 10: Tabelle der Eigenschaften der Verglasung im Originalgebäude.

Schicht, Glas/Gas	Stärke (m)	Leitfähigkeit (W/m-K)	Quelle
1 (Außen) Generisches reflektierendes Glas	0,006	0,900	Datenbank EnergyPlus
2 Luftkammer	0,013		BS EN 673 / EnergyPlus
3 (Innen) Generisches helles Glas	0,010	0,900	Datenbank EnergyPlus
2,639 W/m ² -K Gesamtdurchlasswert (U)			
0,691 Gesamtdurchlassung Sonnenlicht (SGHC)			
0,577 Durchlassung direktes Sonnenlicht			
0,763 Lichtdurchlassung			

Abbildung 11: Tabelle der Eigenschaften der Verglasung im jetzigen Gebäude.

5.5 Beschattungsvorrichtungen



Abbildung 12: Bilder zu Marketingzwecken des beweglichen Lamellensystems in geschlossener und geöffneter Position.

Bei den Simulationsmodellen wurden zwei Arten von Beschattungsvorrichtungen herangezogen. Die erste besteht aus einem System von automatisierten beweglichen Lamellen an der Außenseite der Verglasung. Die Position der Lamellen verändert sich automatisch zwischen einem Mindestöffnungswinkel und einem Höchstöffnungswinkel, um den Einfall von direktem Sonnenlicht auf die Verglasung zu verhindern. Zur Gestaltung dieser Steuerung wurde das Objekt WindowProperty: ShadingControl > BlockBeamSolar von EnergyPlus verwendet.

Abbildung 12 zeigt Bilder zu Marketingzwecken des beweglichen Lamellensystems. In Abbildung 13 sind die bei den Simulationsmodellen herangezogenen geometrischen Parameter dargestellt. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass mit DesignBuilder-EnergyPlus nur flache Lamellen gestaltet werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die Lamellen eine Leitfähigkeit von $0,1 \text{ W/m-K}$ haben und darum sowohl die Vorder- als auch die Rückseite eine Solarreflexion und sichtbare Lichtreflexion von $0,6$ sowie eine Emissivität von $0,4$ aufweisen.

Das bewegliche Lamellensystem wurde bei den Modellen für die Simulationsszenarios 03 und 05 verwendet. Allerdings wurde es im Einklang mit den Merkmalen des jetzigen Gebäudes lediglich den Fenstern vom ersten bis zum vierten Obergeschoss an der Ost-, Südost- (abgeschrägte Fassade) und Südfassade zugewiesen. An der Südfassade werden nur die unmittelbar neben der Südostfassade gelegenen Fenster berücksichtigt.

Die zweite Beschattungsvorrichtung besteht aus einem durchscheinenden inneren Fensterschirm mit einem Durchlasswert und einer Solarreflexion von $0,2$. Als Steuerungskriterium gilt, dass diese Vorrichtung aktiv ist, wenn der Sonnenlichteinfall auf das jeweilige Fenster 75 W/m^2 oder mehr beträgt (bei einem Sonnenlichteinfall von weniger als 75 W/m^2 gilt, dass der Fensterschirm eingefahren ist). Die inneren Fensterschirme sind jenen Fenstern zugewiesen worden, die in den Szenarios 03 und 05 nicht mit beweglichen Lamellen ausgestattet sind sowie sämtlichen Fenstern der Modelle in den Szenarios 01, 02 und 04.

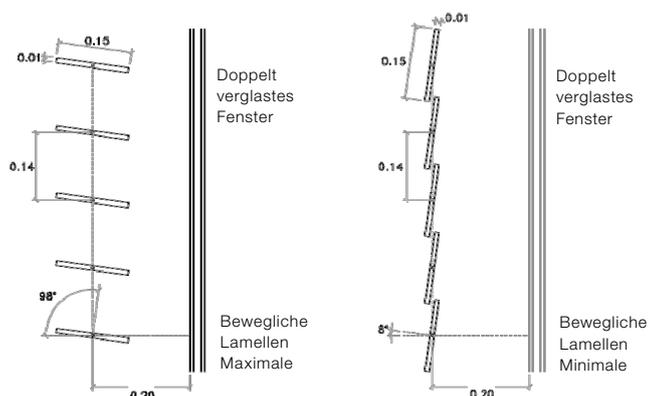


Abbildung 13: Geometrische Parameter des beweglichen Lamellensystems bei den Simulationsmodellen.

5.6 Interne Gewinne durch Personen

Abbildung 14 zeigt die Eingangsdaten bezüglich der Belegung des Gebäudes, während Abbildung 15 die mit dieser in Verbindung stehenden Programmierungswerte zeigt. Diese Parameter werden verwendet, um die internen Wärmegewinne durch Personen nach der folgenden Formel zu berechnen:

$$\text{Gewinne durch Personen (W)} = \text{Bodenfläche} \times \text{Belegungsdichte} \times \text{Stoffwechselrate} \times \text{Stoffwechselfaktor} \times \text{Programmierungswert.}$$

Die Dichtewerte wurden auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen über die Nutzung des Gebäudes festgelegt und standardisiert. Die Stoffwechselrate ist von der Art der Tätigkeit abhängig (je intensiver diese ist, desto höher ist die Stoffwechselrate), während es der Stoffwechselfaktor ermöglicht, die körperliche Konstitution der sich im Gebäude aufhaltenden Personen einzuschätzen: Mann = 1,00, Frau = 0,85, Kind = 0,75.

Raumtyp	Dichte (Pers/m ²)	SWR (W/Pers)	SWF	Gewinn (W/m ²)	Programmierung
Arbeitsbereiche	0,150	120	0,90	16,2	Belegung
Servicebereiche	0,030	120	0,90	3,2	Belegung

Abbildung 14: Tabelle der Eingangsdaten bezüglich der Belegung.

Wie in der Formel zum Ausdruck kommt, ermöglicht die Belegungsprogrammierung die Definition der Zeiträume, in denen die Räume belegt sind (wenn der Wert von Null abweicht) sowie die zeitabhängige Modifizierung der damit verbundenen Wärmegewinne, indem ein bestimmtes Nutzungsmuster des Gebäudes angesetzt wird. So wird zum Beispiel in den Zeiträumen, in denen der Programmierungswert 0,80 beträgt, die Wärmegewinnrate durch Personen auf 80 % reduziert.

Mo bis Do	Fr	Sa und So
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,05		

Abbildung 15: Belegungsprogrammierung: 1. Januar bis 31. Dezember.

5.7 Interne Gewinne durch Geräte und Anlagen

Abbildung 16 zeigt die Eingangsdaten bezüglich der Benutzung von Geräten und Anlagen, während Abbildung 17 die mit diesen in Verbindung stehenden Programmierungswerte zeigt. Mit Hilfe dieser Daten werden die Energieverbrauchswerte und die entsprechenden Wärmegewinne nach der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Verbrauchswerte/Gewinne durch Geräte (W)} = \text{Bodenfläche} \times \text{Gewinnrate} \times \text{Programmierungswerte.}$$

Raumtyp	Gewinn (W/m ²)	Konzept	VA.	LA.	RA.	FA.	Programmierung
Arbeitsbereiche	12,0	Geräte (Elek.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Anlagen
Servicebereiche	3,0	Geräte (Elek.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Anlagen

VA. = Verlustanteil (nach außen abgegebene Wärme)

LA. = Latenter Anteil; RA. = Radiativer Anteil; FA. = Fühlbarer Anteil

Abbildung 16: Tabelle der Eingangsdaten bezüglich der Geräte und Anlagen.

Anmerkung: Wenn wie in diesem Fall der Verlustanteil gleich Null ist, wird davon ausgegangen, dass die verbrauchte Energie der im Raum gewonnenen Wärme entspricht. Die gewonnene Wärme verteilt sich auf ihre latenten, radiativen und konvektiven Anteile in Übereinstimmung mit den entsprechenden Werten.

Wie in der Formel zum Ausdruck kommt, ermöglicht die Anlagenprogrammierung die Definition der Betriebszeiten von Geräten und Anlagen (sofern der Wert von Null abweicht) sowie die zeitabhängige Modifizierung der damit verbundenen Wärmegewinne und Energieverbrauchswerte, indem ein bestimmtes Nutzungsmuster des Gebäudes angesetzt wird. So wird zum Beispiel in den Zeiträumen, in denen der Programmierungswert 0,80 beträgt, die Energieverbrauchs-/Wärmegewinnrate durch Geräte und Anlagen auf 80 % reduziert.

Mo bis Do	Fr	Sa und So
00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 24:00 = 0.05
08:00 - 09:00 = 0.80	08:00 - 09:00 = 0.80	
09:00 - 13:00 = 1.00	09:00 - 13:00 = 1.00	
13:00 - 14:00 = 0.80	13:00 - 14:00 = 0.80	
14:00 - 16:00 = 1.00	14:00 - 16:00 = 1.00	
16:00 - 20:00 = 0.20	16:00 - 24:00 = 0.05	
20:00 - 24:00 = 0.05		

Abbildung 17: Programmierung von Geräten und Anlagen: 1. Januar bis 31. Dezember.

5.8 Interne Gewinne durch Beleuchtung

Abbildung 18 zeigt die Eingangsdaten bezüglich der Benutzung der künstlichen Beleuchtung, während Abbildung 19 die mit dieser in Verbindung stehenden Programmierungswerte zeigt. Mit Hilfe dieser Daten werden die Energieverbrauchswerte und die entsprechenden Wärmegewinne nach der folgenden Formel berechnet:

Verbrauchswerte/Gewinne durch Beleuchtung (W) = Bodenfläche x (Mindestbeleuchtungsstärke / 100) x Beleuchtungsenergie (W/m²-100 lux) x Programmierungswert.

Raumtyp	Mind. Bel. (lux)	Bel. energ. (W/m ² -100 lux)	Gewinn (W/m ²)	RS	Rad A.	SA.	KA.	Programmierung
Arbeitsbereiche	500	4,20	21,00	0,00	0,37	0,18	0,45	Beleuchtung
Servicebereiche	200	4,20	8,40	0,00	0,37	0,18	0,45	Beleuchtung

Abbildung 18: Tabelle der Daten bezüglich der künstlichen Beleuchtung.

Mo bis Do	Fr	Sa und So
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 24:00 = 0,05
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,05	
20:00 - 24:00 = 0,05		

Abbildung 19: Beleuchtungsprogrammierung: 1. Januar bis 31. Dezember.

Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass neben diesen Parametern in jedem Arbeitsbereich der Szenarios 03 und 05 ein Lichtsensor gestaltet wurde, der die schrittweise Erhöhung bzw. Verringerung der Lichtstärke je nach der Verfügbarkeit von Tageslicht ermöglicht. Es wird berücksichtigt, dass die Leuchten bis zu 3 % ihrer Gesamtleistung abgeschwächt werden können und bei Erreichen dieses Werts ganz abschalten.

Da das Steuerungssystem in Szenario 05 zusammen mit dem automatisierten beweglichen Lamellensystem arbeitet, soll das Lichtsteuerungssystem unter Berücksichtigung der Grenzen der verwendeten Simulationsprogramme das Sonnenlichtsteuerungssystem des realen Gebäudes so realistisch wie möglich repräsentieren.

5.9 HVAC-System

Die Klimatisierungssysteme sind mit der DesignBuilder-Option HVAC Compact gestaltet worden, wodurch mittels Template-Objekten von EnergyPlus die Einbindung generischer Systeme ermöglicht wird, deren Sonderelemente automatisch dimensioniert werden.

In diesem Fall wurde ein Vier-Wege-Fancoil-System definiert, mit einem über einen Gas-Kessel mit einer Nennleistung von 0,89 gespeisten Warmwasserkreis sowie einem Kaltwasserkreis, der über einen Kühler mit einem Referenz-COP gleich 3,67 gespeist wird. Beide Kreise gelten während des Belegungszeitraums des Gebäudes und das ganze Jahr über als gleichzeitig verfügbar, in Übereinstimmung mit der in Abbildung 20 dargestellten Programmierung. Die Solltemperatur im Kühlmodus beträgt 25 °C, während die Solltemperatur im Wärmmodus 21 °C beträgt.

Mo bis Do	Fr	Sa und So
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 20:00 = 1,00	08:00 - 16:00 = 1,00	
20:00 - 24:00 = 0,00	16:00 - 24:00 = 0,00	

Abbildung 20: Heizungs- und Kühlungsprogrammierung: 1. Januar bis 31. Dezember.

Die mit dem Klimatisierungssystem verbundene mechanische Lüftung wurde auf die Nutzung von Rückluft ausgelegt. Dabei wird jedoch stets ein Mindestanteil von Frischluft gewährleistet, der in diesem Fall 12,5 l/s-Person beträgt. Dem mechanischen Lüftungssystem wurde die in Abbildung 21 angegebene Programmierung zugewiesen, so dass der Anteil an zuströmender Frischluft je nach Belegungsstärke schwankt (der Wert 1 steht für den Höchstanteil an Frischluft, während die Bruchwerte Teillüftungswerte repräsentieren).

Mo bis Do	Fr	Sa und So
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,00		

Abbildung 21: Programmierung der mechanischen Lüftung: 1. Januar bis 31. Dezember.

In diesem Abschnitt werden die bei den Simulationen gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst. Für jedes der vorgeschlagenen Szenarios wurde unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt angegebenen Eingangsdaten eine Jahressimulation durchgeführt.

6.1 Allgemeine Energieverbrauchswerte

Zuerst wird eine Vergleichstabelle der Energieverbrauchswerte in kWh/m² gezeigt (Abbildung 22). Berücksichtigt wird der Verbrauch durch Beleuchtung, Heizung (Kessel), mechanische Lüftung, Pumpen des Klimatisierungssystems und Kühlung (Kühler). Darüber hinaus wird in der Tabelle das Verbesserungsniveau der Szenarios 02 bis 05 gegenüber Szenario 01 gezeigt, durch den in Prozentsätzen angegebenen, reduzierten allgemeinen Energieverbrauch. Abbildung 23 zeigt die Werte dieser Tabelle in graphischer Form.

	Bel.	Heiz.	Lüft.	Pumpen	Kühl.	Gesamt	Verbes.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	Ref.
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	-1,7 %
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	6,0 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	22,2 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	26,0 %

Abbildung 22: Vergleichstabelle der Energieverbrauchswerte bezüglich der Klimatisierung und Beleuchtung des Gebäudes (kWh/m²).

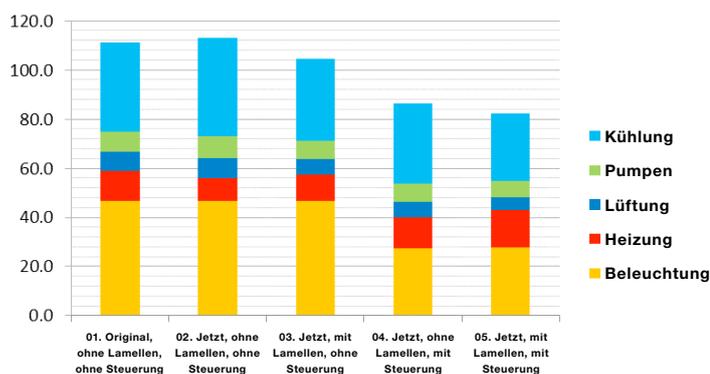


Abbildung 23: Vergleichsgraphik der Energieverbrauchswerte bezüglich der Klimatisierung und Beleuchtung des Gebäudes (kWh/m²).

Es lässt sich feststellen, dass der Gesamtenergieverbrauch von Szenario 02 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen und ohne Steuerung) um 1,7 % höher ist als der von Szenario 01 (Originalgebäude vor der Renovierung). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Umschließungen der Hauptfassade durch besser isolierte Umschließungen (geringerer Übertragungskoeffizient) obgleich geringerer thermischer Masse ersetzt wurden.

Da sich das Gebäude in Barcelona befindet und angesichts seiner Nutzung und internen Lasten (durch Belegung, Beleuchtung und Anlagen), ist der Verbrauch durch Kühlung wesentlich höher als der durch Heizung. Weil die alte Umschließung der Hauptfassade eine höhere thermisch wirksame Masse hat als die neu installierte Umschließung, ist der allgemeine Verbrauch des renovierten Gebäudes ein wenig höher als der des Originalgebäudes. Es kann festgestellt werden, dass das renovierte Gebäude einen geringeren Heizungsverbrauch hat als das Originalgebäude, da die Umschließung der Hauptfassade einen geringeren Übertragungskoeffizienten aufweist (bessere Isolierung). Allerdings ist der Kühlungsverbrauch beim renovierten Gebäude höher als beim Originalgebäude, da die ursprüngliche Umschließung der Hauptfassade mehr thermisch wirksame Masse hatte. Da die Energiesimulation des Gebäudes dynamisch ist, wirkt sich der Wert der thermisch wirksamen Masse wesentlich auf die erhaltenen Ergebnisse aus.

Wird als Referenz Szenario 02 herangezogen (jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung) werden die durch Lamellen und Lichtsteuerung erzielten Verbesserungen deutlich. Auf diese Weise werden die Verbesserungen ersichtlich, die ausschließlich von den Systemen hervorgehoben werden.

	Bel.	Heiz.	Lüft.	Pumpen	Kühl.	Gesamt	Gesamtverb.	Gesamtverb.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	1,9	1,68 %
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	Ref.	Ref.
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	8,5	7,52 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	26,6	23,52 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	30,8	27,23 %

Abbildung 24: Vergleichstabelle Energieverbrauchswerte (kWh/m²).

6.2 Wärmebilanzen des Gebäudes

Zur besseren Veranschlagung dieses Postens wurde eine Wärmebilanz des Gebäudes erstellt. Berücksichtigt wurden dabei die Gewinne durch Umschließungen (die Verluste und Gewinne durch Mauern, Böden und Überdachungen beinhalten), durch interne Quellen (Personen und Geräte), durch Infiltration, durch Verglasung (die Gewinne durch Sonnenlicht und Leitung durch die Fenster beinhalten), durch Beleuchtung, durch Heizung und durch Kühlung, mit den folgenden Erwägungen:

1. Die Werte repräsentieren die Summe aus Wärmegewinnen und -verlusten während des ganzen Jahres. Einige Werte implizieren ausschließlich Gewinne, wie im Fall der Beleuchtung, andere wiederum ausschließlich Verluste, wie im Fall der Kühlung. Im Fall der Umschließungen sind jedoch sowohl Verluste als auch Gewinne impliziert. Das bedeutet, dass es, auch wenn bei Berücksichtigung des ganzen Jahres im Ergebnis Verluste durch die Umschließungen gegeben sind, Zeiträume gibt, in denen diese Gewinne aufweisen.

2. Die Gewinne durch Kühlung und Heizung repräsentieren die Energie, die vom Klimatisierungssystem jeweils entnommen und in den Raum eingebracht wird, um die Komfortbedingungen aufrecht zu erhalten. Die wesentlichen Unterschiede bei den entsprechenden Energieverbrauchswerten gehen darauf zurück, dass in diesem Fall weder die Effizienz der Anlagen noch die mit der Aufbereitung der Lüftungsaußenluft verbundenen Lasten berücksichtigt werden.

3. In einer perfekten Wärmebilanz müssten die Gesamtwerte in der rechten Spalte gegen Null gehen. Da es sich jedoch um dynamische Berechnungen handelt und Aspekte wie der Wärmeleitwiderstand einfließen, gibt es in diesem Fall immer Restwerte.

	Umschl.	Gew. Int.	Infilt.	Vergl.	Bel.	Heiz.	Kühl.	Gesamt
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-38,5	52,1	-9,4	25,5	46,7	1,9	-75,4	3,0
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-31,3	52,2	-9,5	25,0	46,7	1,3	-81,5	2,9
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-29,5	52,2	-9,2	12,4	46,7	1,5	-71,6	2,6
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-28,0	52,4	-9,2	26,0	27,4	1,9	-68,0	2,3
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-27,0	52,3	-8,9	13,1	27,7	2,2	-57,5	1,9

Abbildung 25: Vergleichstabelle der allgemeinen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

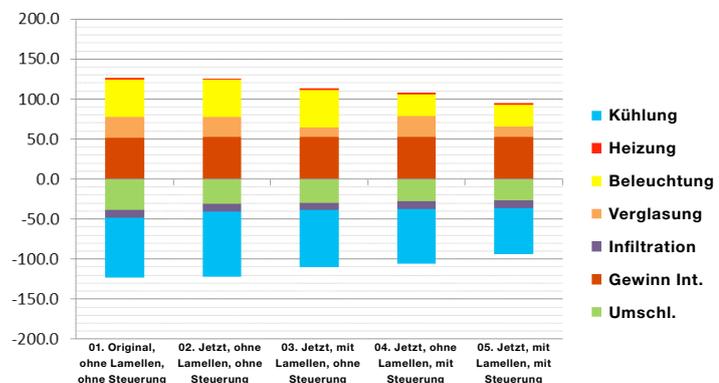


Abbildung 26: Vergleichsgraphik der allgemeinen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

In den Abbildungen 27 und 28 werden die Daten zu Wärmeverlusten und -gewinnen durch Kühlung, Heizung und Beleuchtung separat dargestellt. Dies ermöglicht es uns, eine deutlichere Beziehung zwischen den Wärmebilanzen und den damit verbundenen Energieverbrauchswerten aufzustellen, vor allem in Bezug auf die Verbesserungsprozentsätze.

Anmerkung: Zur Berechnung der Gesamtwerte der Tabelle in Abbildung 27 wurden die negativen Werte bezüglich der Kühlung (Wärmeverluste) umgekehrt.

	Kühl.	Heiz.	Bel.	Gesamt	Gesamtverb.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-75,4	1,9	46,7	124,1	4,17 %
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-81,5	1,3	46,7	129,5	Ref.
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-71,6	1,5	46,7	119,8	7,49 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-68,0	1,9	27,4	97,3	24,86 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-57,5	2,2	27,7	87,4	32,51 %

Abbildung 27: Vergleichstabelle der partiellen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

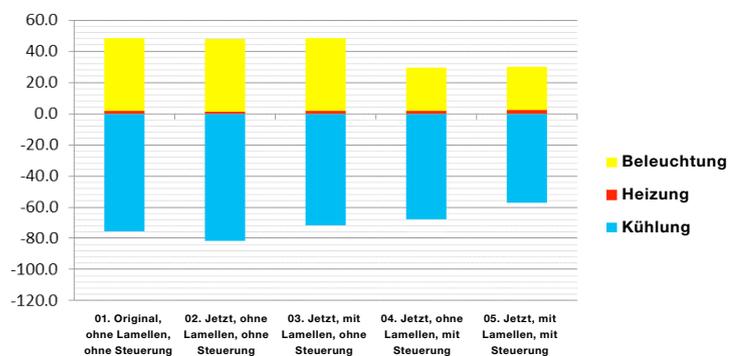


Abbildung 28: Vergleichsgraphik der partiellen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

Analyse der Ergebnisse Szenario 02

Es kann festgestellt werden, dass der Verbrauch durch Kühlung bei Szenario 02 (renoviertes Gebäude, ohne Lamellen und ohne Lichtsteuerung) höher ist als bei Szenario 01 (Gebäude vor der Renovierung), d.h. von 75,4 auf 81,5 kWh/m² ansteigt. Allerdings sinkt der Verbrauch durch Heizung von 1,9 auf 1,3 kWh/m².

Analyse der Ergebnisse Szenario 03

Bei den Ergebnissen von Szenario 03 (renoviertes Gebäude mit Lamellen und ohne Lichtsteuerung) lässt sich feststellen, dass der Verbrauch durch Kühlung gegenüber Szenario 02 beträchtlich zurückgeht und infolge der Implementierung von beweglichen Sonnenschutzlamellen von 81,5 auf 71,6 kWh/m² sinkt. Allerdings steigt der Verbrauch durch Heizung leicht von 1,3 auf 1,5 kWh/m² an. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die beweglichen Lamellen zwar den Einfall von diffuser Sonnenstrahlung zulassen, aber den Einfall von direktem Sonnenlicht verhindern (als Blendschutz) und darum im Winter weniger kostenfreie Wärmegewinne gegeben sind, wodurch der Heizungsbedarf gegenüber Szenario 02 deutlich ansteigt. Darüber hinaus lässt sich beobachten, dass der Verbrauch durch Beleuchtung sowohl bei Szenario 01 als auch bei Szenario 02 und Szenario 03 konstant bleibt, weil das simulierte Beleuchtungssystem über keine Lichtsteuerung verfügt, so dass die Leuchten unabhängig vom Tageslichteinfall im Gebäude während der gesamten Belegungs- und Nutzungszeit des Gebäudes eingeschaltet bleiben.

Die Verbesserung beim Energieverbrauch des Gebäudes beträgt 3,5 % im Vergleich zum Originalgebäude und 7,5 % im Vergleich zum renovierten Gebäude ohne Lamellen und Lichtsteuerungssystem.

Analyse der Ergebnisse Szenario 04

Im Hinblick auf die bei Szenario 04 (renoviertes Gebäude ohne Lamellen, aber mit Lichtsteuerung) erhaltenen Ergebnisse lässt sich durch den Vergleich mit dem Ergebnis von Szenario 02 beobachten, dass die Verbesserung bei den allgemeinen Energieverbrauchswerten beträchtlich ist. Dies geht vor allem auf die Verringerung des Verbrauchs durch Beleuchtung zurück, der von 46,7 auf 27,4 kWh/m² sinkt. Auch der Verbrauch durch Kühlung geht von 81,5 kWh/m² auf 68 kWh/m² deutlich zurück, woraus hervorgeht, dass sich die Senkung des Verbrauchs durch Beleuchtung im Wesentlichen positiv auf den Verbrauch durch Kühlung auswirkt. Allerdings wirkt sich die Senkung des Verbrauchs durch Beleuchtung negativ auf den Verbrauch des Gebäudes durch Heizung aus, der von 1,3 auf 1,9 kWh/m² ansteigt, obgleich sich diese Einbußen angesichts der Differenzen der Energieverbrauchswerte zwischen Kühlung/Beleuchtung und Heizung nicht signifikant auf die allgemeine Berechnung des Energieverbrauchs des Gebäudes auswirken.

Die Verbesserung des Energieverbrauchs des Gebäudes beträgt 21,6 % im Vergleich zum Originalgebäude und 24,8 % im Vergleich zum renovierten Gebäude ohne Lamellen und Lichtsteuerungssystem.

Analyse der Ergebnisse Szenario 05

Aus dem Vergleich der bei der Simulation von Szenario 05 (renoviertes Gebäude mit Lamellen und mit Lichtsteuerung), bei dem alle Maßnahmen enthalten sind, die bei der umfassenden Renovierung des Gebäudes umgesetzt worden sind, mit Szenario 04 (renoviertes Gebäude ohne Lamellen und mit Lichtsteuerung), geht hervor, dass der Verbrauch durch Kühlung von 68 auf 57,5 kWh/m² zurückgeht. Dies erklärt sich durch die Sonnenschutzmaßnahme infolge der beweglichen Lamellen an der Fassade. Allerdings steigt der Verbrauch durch Beleuchtung und Heizung deutlich an. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die beweglichen Lamellen zwar den Einfall von diffuser Sonnenstrahlung zulassen, aber den Einfall von direktem Sonnenlicht verhindern (Blendschutz) und darum im Winter weniger kostenfreie Wärmegewinne gegeben sind, wodurch der Heizungsbedarf leicht ansteigt, obgleich sich diese Differenzen der Energieverbrauchswerte nicht signifikant auf die allgemeine Berechnung des Energieverbrauchs des Gebäudes auswirken, bei dem sich eine Verbesserung von 29,6 % im Vergleich zum Gebäude vor der Renovierung und von 32,5 % im Vergleich zum renovierten Gebäude ohne Lamellen und Lichtsteuerung ergibt.

Aus den gewonnenen Ergebnissen können Schlussfolgerungen hinsichtlich der Energieverbesserungen infolge der sowohl separaten als auch kombinierten Implementierung des Sonnenschutzsystems sowie der Lichtsteuerung gezogen werden.

Überlegungen zum Gebäude

Die oben kommentierten Ergebnisse beziehen sich auf das GEBÄUDE (das Gebäude in seiner Gesamtheit) einschließlich seiner Fassaden, Geschosse und Innenräume. Es ist darauf hinzuweisen, dass das Sonnenschutzsystem lediglich an der Ost- und Südostfassade (abgeschrägte Fassade) installiert ist und an der nach Westen weisenden Rückfassade nicht vorhanden ist. Ebenso wenig gibt es ein Sonnenschutzlamellensystem im gesamten Erdgeschoss und Hochparterre, so dass die bei der Verbesserung der Energieverbrauchswerte erzielten Ergebnisse noch höher wären, wenn an der nach Westen weisenden Rückfassade sowie im Erdgeschoss und Hochparterre des Gebäudes Lamellen eingebaut worden wären.

Zur Veranschlagung der Auswirkung des Lamellen- und Sonnenschutzsystems wurde eine Simulation auf ZONEN-Ebene einer repräsentativen Zone durchgeführt, die über das Lamellen- und Sonnenschutzsystem verfügt, so dass die übrigen Zonen, die nicht über diese Systeme verfügen, nicht in die Ergebnisse der in dieser Zone erzielten Verbesserungen einfließen. Diese Simulation wird im folgenden Abschnitt durchgeführt.

6.3 Wärmebilanzen einer repräsentativen ZONE mit beweglichem Lamellensystem

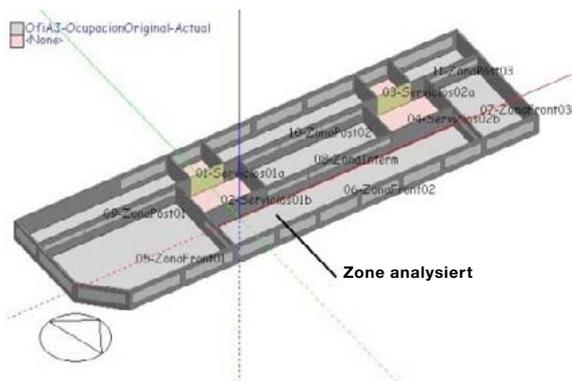


Abbildung 29: Identifizierung der im vorliegenden Abschnitt analysierten Zone.

Wie im Abschnitt Eingangsdaten angegeben, wurde das bewegliche Lamellensystem nicht an allen Fenstern des Gebäudes installiert, sondern lediglich an den Fenstern vom ersten bis zum vierten Obergeschoss an der Ost-, Südost und Südfassade (bei dieser werden die Fenster, die direkt an die Südostfassade grenzen, berücksichtigt). Somit verfügt lediglich 42,2 % der belegten Gesamtfläche des Gebäudes über das genannte System. Neben der Tatsache, dass das Erdgeschoss aufgrund seiner geometrischen Konfiguration der Sonneneinstrahlung vollkommen anders ausgesetzt ist als die restlichen Geschosse, erschwert dies die Messung der tatsächlichen Auswirkung des beweglichen Lamellensystems, wenn die Daten auf Gebäudeebene gezeigt werden.

Im Hinblick auf eine bessere Annäherung an diesen Aspekt der Leistungsmerkmale des Gebäudes werden in diesem Abschnitt die errechneten Wärmebilanzen in einer repräsentativen Zone gezeigt, in der das bewegliche Lamellensystem verwendet wurde. In diesem Fall handelt es sich um Stirnzone 02 des zweiten Obergeschosses (siehe Abbildung 29).

Anmerkung: Auf diese Daten finden sämtliche Überlegungen im vorangehenden Abschnitt Anwendung.

	Kühl.	Heiz.	Bel.	Gesamt	Gesamtverb.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-98	1,1	47,8	146,9	6,85 %
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-109,5	0,3	47,8	157,7	Ref.
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-80,6	0,6	47,8	129,0	18,20 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-89,3	0,7	20,8	110,7	29,80 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-60,9	1,0	22,1	84,0	46,73 %

Abbildung 30: Vergleichstabelle der allgemeinen Wärmebilanzen der Stirnzone 02 (kWh/m²).

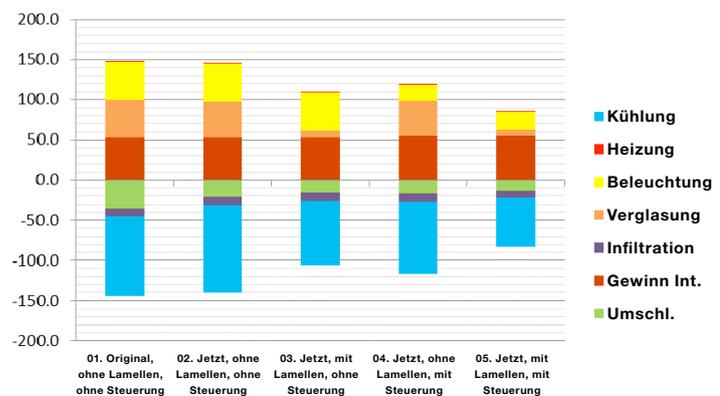


Abbildung 31: Vergleichsgraphik der allgemeinen Wärmebilanzen der Stirnzone 02 (kWh/m²).

	Kühl.	Heiz.	Bel.	Gesamt	Verbes.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-98,0	1,1	47,8	146,9	Ref,
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-109,5	0,3	47,8	157,7	-7,4 %
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-80,6	0,6	47,8	129,0	12,2 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-89,3	0,7	20,8	110,7	24,6 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-60,9	1,0	22,1	84,0	42,8 %

Abbildung 32: Vergleichstabelle der partiellen Wärmebilanzen der Stirnzone 02 (kWh/m²).

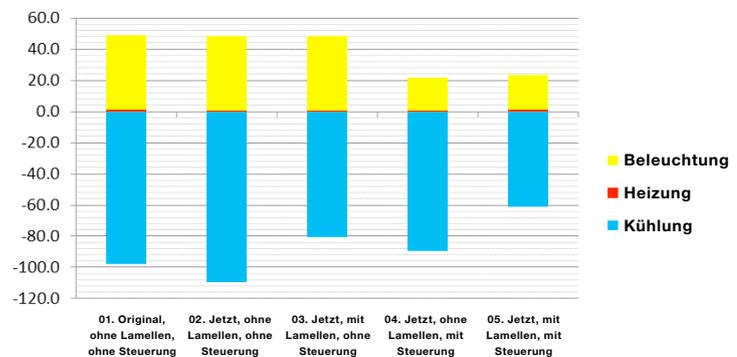


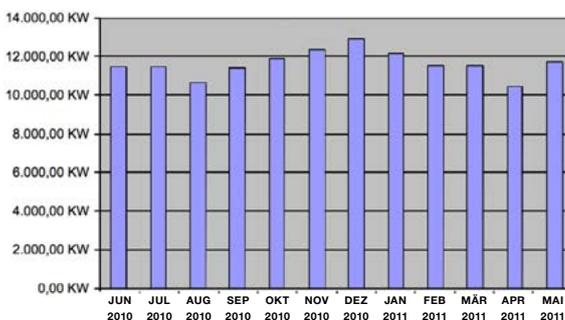
Abbildung 33: Vergleichsgraphik der partiellen Wärmebilanzen der Stirnzone 02 (kWh/m²).

Es lässt sich beobachten, dass die Ergebnisse bei der Verbesserung der Energieverbrauchswerte auf ZONEN-Ebene im Vergleich zu den Energieverbrauchswerten auf GEBÄUDE-Ebene beträchtlich gesteigert werden, indem Verbesserungen von 42,8 % im Vergleich zum Originalgebäude vor der Renovierung und von 46,7 % im Vergleich zum renovierten Gebäude ohne Lamellen und ohne Lichtsteuerung erzielt werden.

6.4 Vergleich von gemessenen und simulierten Energieverbrauchswerten durch Beleuchtung

Da reale Messdaten bezüglich der Energieverbrauchswerte durch Beleuchtung für ein ganzes Jahr im jetzigen Gebäude vorliegen (Szenario 05), können diese mit den bei den Simulationen ermittelten Daten verglichen werden.

Nachfolgend werden die dem LRA-Modul von LUXMATE entnommenen Stromverbrauchsdaten für Beleuchtung für den Zeitraum von Juni 2010 bis Mai 2011 gezeigt:



Gebäude	SERVEIS TERRITORIALS DE TREBALL
Standort	C/ Carrera 12-24. BARCELONA
Anfangsdatum	01. Juni 2010
Enddatum	31. Mai 2011
Leuchte DALI:	2 x 36 W
Anzahl Leuchten:	1.137
Installierte Leistung (W)	81 864
Juni 2010	11 450,26 KW
Juli 2010	11 462,26 KW
August 2010	10 657,44 KW
September 2010	11 370,64 KW
Oktober 2010	11 878,58 KW
November 2010	12 315,18 KW
Dezember 2010	12 910,79 KW
Januar 2011	12 134,43 KW
Februar 2011	11 539,17 KW
März 2011	11 522,12 KW
April 2011	10 443,91 KW
Mai 2011	11 714,40 KW
Gesamt	139 399,18 KW

In der Tabelle von Abbildung 34 und der Graphik von Abbildung 35 wird die genannte vergleichende Analyse gezeigt. Es lässt sich feststellen, dass die Messdaten im Großen und Ganzen mit den bei den Simulationen erhaltenen Daten übereinstimmen. In den ersten und letzten Monaten sind die Abweichungen zwar signifikant, jedoch zeigt der Rest ein ziemlich ausgeglichenes Muster. Werden zudem die Jahresverbrauchswerte berücksichtigt, beträgt die Abweichung lediglich 3,5 %.

Dieser Vergleich bietet uns eine hohe Verlässlichkeit bei den entwickelten Simulationsmodellen, vor allem, was den Betrieb der beweglichen Lamellen und des Lichtsteuerungssystems betrifft. Die übrigen Energieverbrauchsparameter wie Heizung und Kühlung konnten nicht verglichen werden, da keine differenzierten Messdaten vorliegen.

	Gemessen	Simulation	Abweichung
Jan	2,33	2,77	-19,1 %
Feb	2,21	2,23	-0,6 %
Mär	2,21	2,15	2,7 %
Apr	2,00	2,15	-7,3 %
Mai	2,25	2,21	1,8 %
Jun	2,20	2,02	8,1 %
Jul	2,20	2,10	4,5 %
Aug	2,05	2,05	0,0 %
Sep	2,18	2,17	0,7 %
Okt	2,28	2,58	-13,2 %
Nov	2,36	2,52	-6,8 %
Dez	2,48	2,75	-11,1 %
Gesamt	26,76	27,71	-3,5 %

Abbildung 34: Vergleichstabelle der gemessenen und in Szenario 05 simulierten Energieverbrauchswerte durch Beleuchtung (kWh/m²).



Abbildung 35: Vergleichsgraphik der gemessenen und in Szenario 05 simulierten Energieverbrauchswerte durch Beleuchtung (kWh/m²).

Die geringen Differenzen zwischen den realen, der Anlage entnommenen Verbrauchswerten und den bei der Simulation ermittelten Werten können auf folgende Faktoren zurückgehen:

1. Der bei der Simulation herangezogene Nutzungszeitrahmen des Gebäudes kann in gewissem Maß vom realen Zeitrahmen der Anlage abweichen.
2. Die Daten der bei der Simulation verwendeten Klimadatei stammen aus einer Datenbank von IWEC (Ashrae) und weichen in gewissem Maß von den realen Klimadaten von Juni 2010 bis Mai 2011 ab, also dem Zeitraum, für den reale Daten über den Verbrauch durch Beleuchtung vorliegen. Da die vom katalanischen Klimainstitut „Servei Meteorològic de Catalunya – METEOCAT“ zur Verfügung gestellten realen Klimadateien einer Klimastation in der Nähe des Gebäudes, das Gegenstand der Studie ist, vorliegen, wurden beide Daten miteinander verglichen (bereits in Abschnitt 5.1 dieser Studie erläutert). Nachfolgend wird der Vergleich dargestellt:

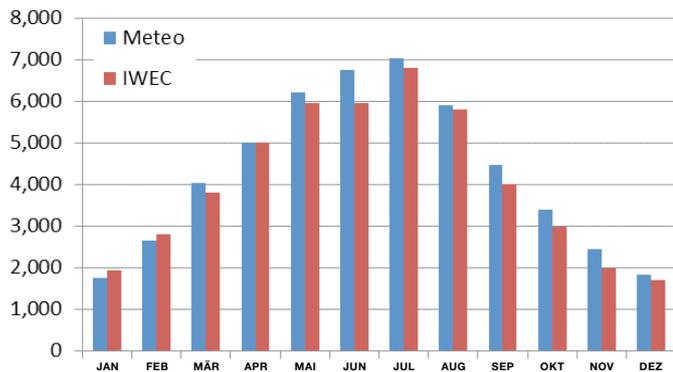


Abbildung 36: Vergleich globale horizontale Sonnenstrahlung (Wh/m²).

3. Bei der Simulation wird das durch die inneren Unterteilungen, die die Fassadenbereiche von den Innenbereichen trennen, einfallende Licht nicht berücksichtigt, was zu Differenzen zwischen den realen, der Anlage entnommenen Verbrauchswerten und den bei der Simulation ermittelten Werten führt.

In diesem Abschnitt werden die Schlussfolgerungen aus der durchgeführten Studie dargelegt.

Die vorliegende Studie wurde am Beispiel eines kürzlich renovierten Gebäudes durchgeführt, in dem ein Luxmate-Lichtsteuerungs- und Außenlamellensystem installiert ist, von dem reale Daten bezüglich des Stromverbrauchs durch Beleuchtung von Mai 2010 bis Mai 2011 vorliegen. Allerdings stehen keine realen Verbrauchswerte bezüglich des Klimatisierungssystems zur Verfügung, da die Netzanalysegeräte im Sicherungsschrank nicht abgelesen werden konnten.

In dieser Studie wurde der Einfluss veranschlagt, den ein Lichtregelsystem mit Sonnenschutzaußenlamellen auf den Energieverbrauch des Gebäudes hat, und zwar nicht nur in Bezug auf den Verbrauch durch Beleuchtung, sondern auch auf den Energieverbrauch des Klimatisierungssystems.

7.1 Szenarios des GEBÄUDES

Es wurden unterschiedliche Szenarios simuliert, um die Verbesserungen beim Energieverbrauch des implantierten Lichtsteuerungs- und Außenlamellensystems sowohl separat als auch kombiniert zu veranschlagen. Diese Szenarios werden nachfolgend zusammengefasst:

- Szenario 01: Originalgebäude (vor der Renovierung), ohne bewegliche Lamellen und ohne Lichtsteuerung.
- Szenario 02: Jetziges Gebäude, ohne bewegliche Lamellen und ohne Lichtsteuerung
- Szenario 03: Jetziges Gebäude, mit beweglichen Lamellen, ohne Lichtsteuerung
- Szenario 04: Jetziges Gebäude, ohne bewegliche Lamellen, mit Lichtsteuerung.
- Szenario 05: Jetziges Gebäude, mit beweglichen Lamellen und mit Lichtsteuerung.

Die Simulation wurde sowohl auf GEBÄUDE- als auch auf ZONEN-Ebene durchgeführt. Im ersten Fall (GEBÄUDE-Ebene) umfasst die Simulation alle Bereiche und Geschosse des Gebäudes und führt zu Ergebnissen bezüglich der Energieverbrauchswerte in Verbindung mit dem Beleuchtungssystem und mit dem Klimatisierungssystem in jedem der Szenarios. Diese Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

	Kühl.	Verb.Kühl.	Heizung	Verb.Heiz.	Bel.	Verb. Bel.	Gesamt	Gesamtv.	Gesamtv.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-75,4	7,48 %	1,9	-46,15 %	46,7	0,00 %	124,1	5,4	4,17 %
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-81,5	Ref.	1,3	Ref.	46,7	Ref.	129,5	Ref.	Ref.
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-71,6	12,15 %	1,5	-15,38 %	46,7	0 %	119,8	9,7	7,49 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-68,0	16,56 %	1,9	-46,15 %	27,4	41,33 %	97,3	32,2	24,86 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-57,5	29,45 %	2,2	-69,23 %	27,7	40,69 %	87,4	42,1	32,51 %

Abbildung 37: Vergleichstabelle der partiellen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

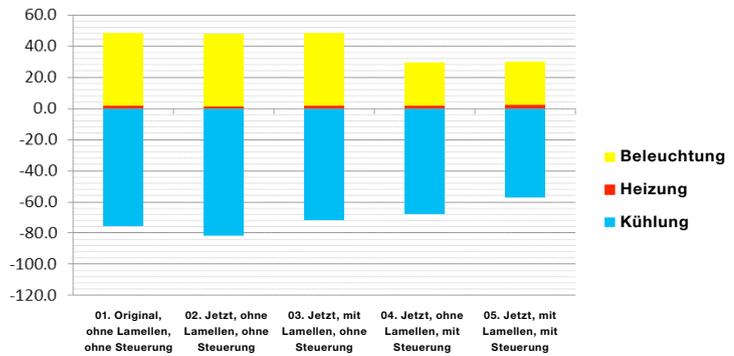


Abbildung 38: Vergleichsgraphik der partiellen Wärmebilanzen des Gebäudes (kWh/m²).

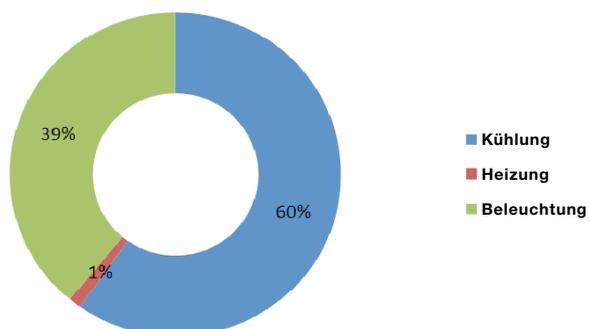
Es ist darauf hinzuweisen, dass sowohl die Rückfassade (nach Westen ausgerichtet) als auch die Hauptfassaden von Erdgeschoss und Hochparterre (nach Osten ausgerichtet) über kein bewegliches Lamellensystem an den Verglasungen verfügen, weshalb in die erhaltenen Ergebnisse sowohl die Bereiche mit Lamellen als auch die Bereiche ohne Sonnenschutz einfließen. Nichtsdestoweniger sind die bei den Szenarios 03, 04 und 05 ermittelten Ergebnisse signifikant.

7.1.1 Analyse Szenario 03 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, ohne Steuerung) – GEBÄUDE-EBENE

Werden die Ergebnisse von Szenario 02 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, ohne Steuerung) als Referenz herangezogen, lässt sich feststellen, dass bei Szenario 03 (einzig durch die Implementierung eines Außenlamellensystems) beim allgemeinen Energieverbrauch bei Klima + Beleuchtung ein Rückgang um 7,5 % erzielt wird.

Dieses Szenario 03 ermöglicht Energieeinsparungen ausschließlich aufgrund der Implantation eines beweglichen Lamellensystems an den verglasten Flächen der Fassade.

Die Energieverbrauchswerte von Kühlung, Heizung und Beleuchtung verteilen sich wie folgt:



Aufschlüsselung dieser allgemeinen prozentualen Einsparung nach den einzelnen Energieverbrauchstypen:

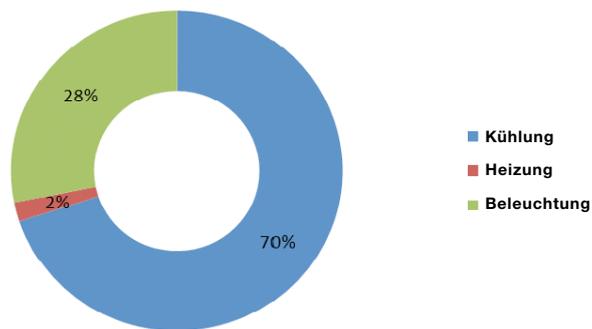
- Kühlung: Es wird eine Senkung des Verbrauchs durch Kühlung um 12,14 % gegenüber Szenario 02 erzielt. Der Einfluss nur der Lamellen auf das Kühlsystem ist deutlich zu erkennen, da die Lamellen ganz klar die Funktion haben, den direkten Sonnenlichteinfall durch die verglasten Fassadenflächen zu verhindern. Besonders darauf hinzuweisen ist, dass sich die Ergebnisse auf die Gebäude-Ebene beziehen und daher Gebäudebereiche einschließen, an denen keine Sonnenschutzlamellen angebracht sind (nach Westen weisende Rückfassade und die nach Osten ausgerichtete Hauptfassade im Erdgeschoss und Hochparterre).
- Heizung: In diesem Fall erhöht sich der Verbrauch durch Heizung um 15,4 % in Bezug auf dasselbe Gebäude ohne Außenlamellen an den Fenstern. Die Tatsache, dass die Außenlamellen vor direktem Sonnenlichteinfall durch die Fenster schützen, wirkt sich deutlich auf das Heizungssystem aus, da es sich um kostenfreie Wärmegevinne handelt, die dem Heizungssystem zugute kommen. Da die Gewichtung des Verbrauchs durch Heizung im Vergleich zum Verbrauch durch Beleuchtung und Kühlung infolge von Standort und Eigenschaften des Gebäudes nicht besonders repräsentativ ist, hat diese Erhöhung um 15,4 % jedoch keinen größeren Einfluss auf die Berechnung des allgemeinen Energieverbrauchs des Gebäudes. Zudem werden bei dieser Veranschlagung des Energieverbrauchs die Aspekte hinsichtlich der Verbesserung des Komforts der sich im Gebäude aufhaltenden Personen nicht berücksichtigt, da durch die Verhinderung des direkten Sonnenlichteinfalls vor Blendung sowie selbst im Winter vor übermäßiger Erwärmung der Körper in der Nähe der Fassadenfenster geschützt wird.
- Beleuchtung: Diese bleibt konstant, da weder Szenario 02 noch Szenario 03 über Lichtsteuerung verfügen und die Beleuchtung während der Nutzung des Gebäudes zu 100 % in Betrieb ist, ohne den Tageslichteinfall durch die Fenster zu berücksichtigen.

7.1.2 Analyse Szenario 04 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, mit Steuerung) – GEBÄUDE-EBENE

Bei Szenario 04 (mit implementiertem Lichtsteuerungssystem, aber ohne Lamellen), lässt sich ein Rückgang um 24,9 % im Vergleich zu Szenario 02 beobachten.

Dieses Szenario 04 ermöglicht Energieeinsparungen ausschließlich aufgrund der Implementierung eines Lichtsteuerungssystems.

Die Energieverbrauchswerte von Kühlung, Heizung und Beleuchtung verteilen sich wie folgt:



Aufschlüsselung dieser allgemeinen prozentualen Einsparung nach den einzelnen Energieverbrauchstypen:

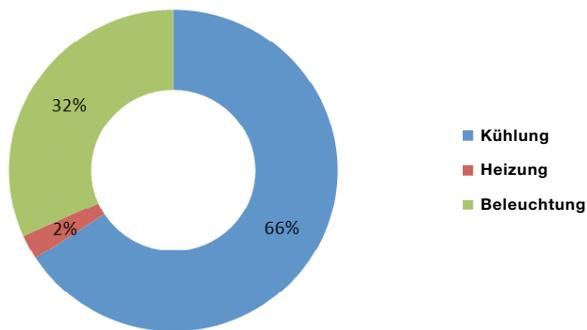
- Kühlung: In diesem Fall sinkt der Verbrauch durch Kühlung um 16,56 % im Vergleich zu Szenario 02. Dies erklärt sich ausschließlich durch den Rückgang der internen Gewinne durch die Beleuchtung, gegen die das Klimatisierungssystem vorgehen muss, weil ein Lichtregelsystem zur Verfügung steht, das die Leuchtenstärke je nach Tageslichteinfall durch die verglasten Fassadenflächen reguliert.
- Heizung: In diesem Fall steigt der Verbrauch des Heizsystems um 46,15 % im Vergleich zu demselben Gebäude ohne Lichtsteuerung. Dies geht darauf zurück, dass die internen Gewinne durch Beleuchtung zurückgehen, die im Winter dem Heizsystem zugute kommen, weshalb dieses gegen sie vorgehen muss. Da die Gewichtung des Verbrauchs durch Heizung im Vergleich zum Verbrauch durch Beleuchtung und Kühlung infolge von Standort und Eigenschaften des Gebäudes nicht besonders repräsentativ ist, hat diese Erhöhung um 46,15 % jedoch keinen größeren Einfluss auf die Berechnung des allgemeinen Energieverbrauchs des Gebäudes.
- Beleuchtung: Infolge der Implementierung des Lichtsteuerungssystems sinkt der mit dieser Anlage verbundene Energieverbrauch um 41,32 % im Vergleich zu demselben Gebäude ohne Lichtsteuerung.

7.1.3 Analyse Szenario 05 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, mit Steuerung) – GEBÄUDE-EBENE

Bei Szenario 05 (mit implementiertem Beleuchtungs- und beweglichem Lamellensystem an den verglasten Flächen der Fassade) wird ein Rückgang um 32,51 % im Vergleich zu Szenario 02 beobachtet.

Dieses Szenario 05 ermöglicht Energieeinsparungen aufgrund der Kombination aus der Implementierung eines Lichtsteuerungssystems und eines beweglichen Lamellensystems an den verglasten Flächen der Fassade.

Die Energieverbrauchswerte von Kühlung, Heizung und Beleuchtung verteilen sich wie folgt:



Aufschlüsselung dieser allgemeinen prozentualen Einsparung nach den einzelnen Energieverbrauchstypen:

- **Kühlung:** In diesem Fall wird eine Senkung des Verbrauchs durch Kühlung um 29,44 % im Vergleich zu Szenario 02 erzielt, aufgrund der Kombination aus Lichtsteuerungssystem und beweglichem Lamellensystem an den verglasten Flächen der Fassade.
- **Heizung:** In diesem Fall steigt der Verbrauch des Heizsystems um 69,23 % im Vergleich zu demselben Gebäude ohne Lichtsteuerung und bewegliche Außenlamellen. Dies geht darauf zurück, dass die internen Gewinne durch Beleuchtung zurückgehen, die im Winter dem Heizsystem zugute kommen, und dass die kostenfreien internen Gewinne durch direkten Sonnenlichteinfall durch die Fenster ebenfalls zurückgehen, da das Heizsystem gegen dies alles vorgehen muss. Diese Erhöhung fällt jedoch aufgrund der geringen Gewichtung der Heizung im Vergleich zur Kühlung und Beleuchtung bei der Berechnung des allgemeinen Energieverbrauchs des Gebäudes nicht weiter ins Gewicht.
- **Beleuchtung:** In diesem Fall sinkt der Verbrauch des Beleuchtungssystems um 40,68 % im Vergleich zu demselben Gebäude ohne Lichtsteuerung und ohne Außenlamellen. Dieser Prozentsatz ist etwas geringer als bei Szenario 04 (41,32 %), da, wie oben bereits erläutert wurde, die Tatsache, dass die beweglichen Außenlamellen den direkten Sonnenlichteinfall durch die Fenster der Fassade verhindern, den Einfall von Tageslicht von draußen beeinträchtigt und darum die Leuchtenstärke leicht erhöht werden muss.

7.2 Szenarios einer ZONE

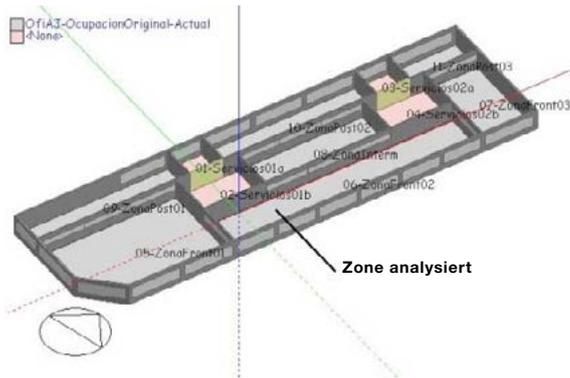


Abbildung 39: Identifizierung der im vorliegenden Abschnitt analysierten Zone.

Wird die Simulation auf ZONEN-Ebene durchgeführt, variieren die Ergebnisse beträchtlich. Es wurde die Simulation einer einzigen Zone des Gebäudes durchgeführt, die an ihrer Fassade über ein bewegliches Lamellensystem verfügt. Im Einzelnen wurde die in der Zeichnung als „Stirzzone 02“ bezeichnete Zone simuliert, die eine nach Osten ausgerichtete Fassade hat.

Mit der Simulation dieser einzigen Zone des Gebäudes kann der Einfluss eines beweglichen Lamellensystems an der Fassade präziser veranschlagt werden, da die Energiebilanzen von Gebäudezonen, die nicht über dieses System verfügen, wie die Räume in Erdgeschoss und Hochparterre sowie die Räume, die auf die nach Westen weisende Rückfassade hinausgehen, keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Nachfolgend werden die für die analysierte Zone gewonnenen Ergebnisse gezeigt:

	Kühl.	Verb.Kühl.	Heizung	Verb.Heiz.	Bel.	Verb. Bel.	Gesamt	Gesamtv.	Gesamtv.
01. Original, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-98	10,50 %	1,1	-266,67 %	47,8	0,00 %	146,9	10,8	6,85 %
02. Jetzt, ohne Lamellen, ohne Steuerung	-109,5	Ref.	0,3	Ref.	47,8	Ref.	157,7	Ref.	Ref.
03. Jetzt, mit Lamellen, ohne Steuerung	-80,6	26,39 %	0,6	-100,00 %	47,8	0 %	129,0	28,7	18,20 %
04. Jetzt, ohne Lamellen, mit Steuerung	-89,3	18,45 %	0,7	-133,33 %	20,8	56,49 %	110,7	47,0	29,80 %
05. Jetzt, mit Lamellen, mit Steuerung	-60,9	44,38 %	1,0	-233,33 %	22,1	53,77 %	84,0	73,7	46,73 %

Abbildung 40: Vergleichstabelle der partiellen Wärmebilanzen der Stirzzone 02 (kWh/m²).

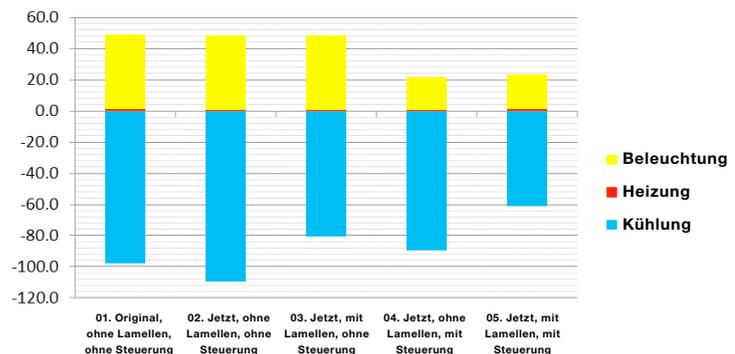


Abbildung 41: Vergleichsgraphik der partiellen Wärmebilanzen der Stirzzone 02 (kWh/m²).

Nachfolgend wird eine vergleichende Graphik der bei jedem simulierten Szenario erzielten Verbesserungen sowohl in Bezug auf die GEBÄUDE-Ebene als auch die ZONEN-Ebene im Vergleich zu Szenario 02 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, ohne Steuerung) gezeigt:

7.2.1 Analyse Szenario 03 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, ohne Steuerung) – ZONEN-EBENE

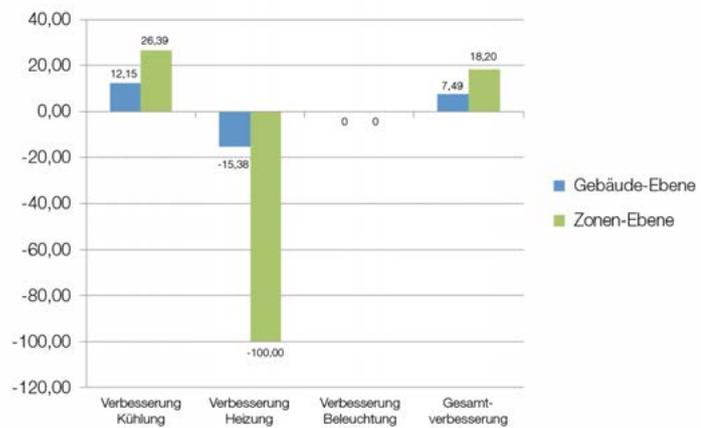


Abbildung 42: Vergleichsgraphik Verbesserungen Szenario 03 GEBÄUDE-Ebene vs ZONEN-EBENE.

7.2.2 Analyse Szenario 04 (jetziges Gebäude, ohne Lamellen, mit Steuerung) – ZONEN-EBENE

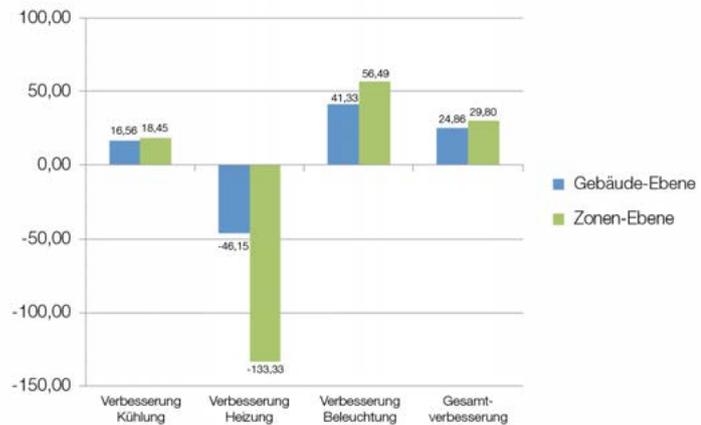


Abbildung 43: Vergleichsgraphik Verbesserungen Szenario 04 GEBÄUDE-Ebene vs ZONEN-EBENE.

7.2.3 Analyse Szenario 05 (jetziges Gebäude, mit Lamellen, mit Steuerung) – ZONEN-EBENE

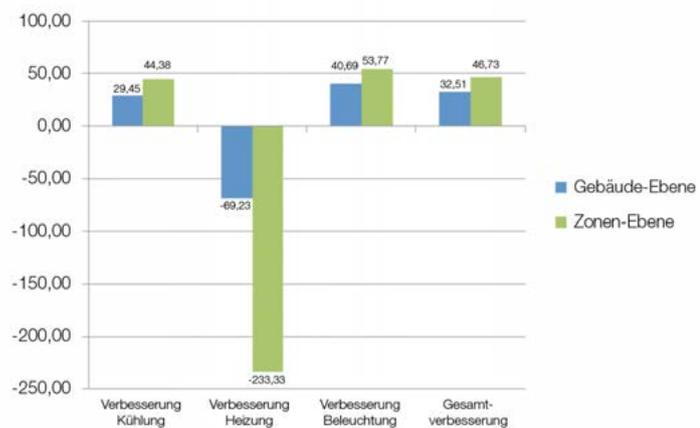


Abbildung 44: Vergleichsgraphik Verbesserungen Szenario 05 GEBÄUDE-Ebene vs ZONEN-EBENE.

7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den obigen Vergleichen geht hervor, dass die Verbesserungen in Bezug auf die allgemeine Energieeinsparung wesentlich größer sind im Fall der Simulation auf ZONEN-Ebene, da, wie bereits zuvor erwähnt, die Zonen des Gebäudes, in denen kein bewegliches Lamellensystem an der Fassade installiert ist, keinen Einfluss nehmen.

Im konkreten Fall des Kühlsystems muss berücksichtigt werden, dass auf ZONEN-Ebene ein Raum mit einer nach Osten weisenden Fassade simuliert wurde. Würde die Simulation auf ZONEN-Ebene für einen Raum mit einer nach Westen weisenden, mit beweglichen Lamellen geschützten Fassade durchgeführt, wäre die Energieeinsparung bezüglich des Kühlsystems noch höher, da die einfallende Sonnenstrahlung im Sommer in einer Stadt wie Barcelona an westlichen Ausrichtungen (Abendsonne) stärker ist als an östlichen Ausrichtungen (Morgensonne). Das Gebäude, das Gegenstand der vorliegenden Studie ist, verfügt jedoch über keinen Sonnenschutz an der Westfassade.

Aus diesen Ergebnissen und den oben vorgenommenen Gegenüberstellungen geht hervor, dass in einem Klima wie dem von Barcelona und in einem Verwaltungsgebäude, das hohe interne Lasten durch Geräte, Beleuchtung und Belegung aufweist, die Lasten fast immer positiv sind, weshalb das Kühlsystem das ganze Jahr über gegen sie vorgehen muss. Daher fällt das Heizsystem beim allgemeinen Energieverbrauch des Gebäudes kaum ins Gewicht.

Darum ist ein bewegliches Sonnenschutzlamellensystem an den verglasten Flächen der Fassade äußerst ratsam an Gebäuden an Standorten mit einem ähnlichen Klima wie in Barcelona mit ähnlichen Nutzungszwecken wie denen des simulierten Gebäudes, da – wie oben gezeigt – beträchtliche Energieeinsparungen beim Kühlsystem erzielt werden.

Diese Einsparungen betragen (Szenario 03) 18,20 % des Gesamtverbrauchs des Gebäudes in Bezug auf eine ZONE und 7,49 % in Bezug auf das ganze GEBÄUDE.

Bei der Beleuchtung beträgt die Einsparung bei einer nach Osten zeigenden ZONE allein durch die Steuerung 56,49 % des Lichtverbrauchs und auf Ebene unseres GEBÄUDES macht sie 41,33 % aus.

Diese Steuerung allein ist für eine Einsparung von 29,80 % des Verbrauchs (Klima+Beleuchtung) auf ZONEN-Ebene und von 24,86 % des Verbrauchs (Klima+Beleuchtung) des GEBÄUDES verantwortlich. Daraus wird die Bedeutung der Lichtsteuerung ersichtlich.

Aus der Betrachtung der Kombination aus beweglichen Lamellen und Lichtsteuerung geht hervor, dass die Lichtsteuerung allein 53,77 % des Lichtverbrauchs in der ZONE und 40,69 % im GEBÄUDE einspart. Und die Verbesserung beim Verbrauch (Klima+Beleuchtung) durch bewegliche Lamellen und Lichtsteuerung beträgt 43,73 % in der ZONE und 32,51 % im Gebäude, weshalb sich die Kombination aus beweglichen Lamellen und Lichtsteuerung äußerst positiv auf die Energieeinsparung des Gebäudes auswirkt.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die simulierten Verbrauchswerte durch Beleuchtung mit den bei der betriebenen Anlage gewonnenen Werten verglichen wurden und dabei sehr ähnliche Werte ermittelt wurden, wie aus der folgenden Graphik hervorgeht:

	Gemessen	Simulation	Abweichung
Jan	2,33	2,77	-19,1 %
Feb	2,21	2,23	-0,6 %
Mär	2,21	2,15	2,7 %
Apr	2,00	2,15	-7,3 %
Mai	2,25	2,21	1,8 %
Jun	2,20	2,02	8,1 %
Jul	2,20	2,10	4,5 %
Aug	2,05	2,05	0,0 %
Sep	2,18	2,17	0,7 %
Okt	2,28	2,58	-13,2 %
Nov	2,36	2,52	-6,8 %
Dez	2,48	2,75	-11,1 %
Gesamt	26,76	27,71	-3,5 %

Abbildung 45: Vergleichstabelle der gemessenen und in Szenario 05 simulierten Energieverbrauchswerte durch Beleuchtung (kWh/m²).

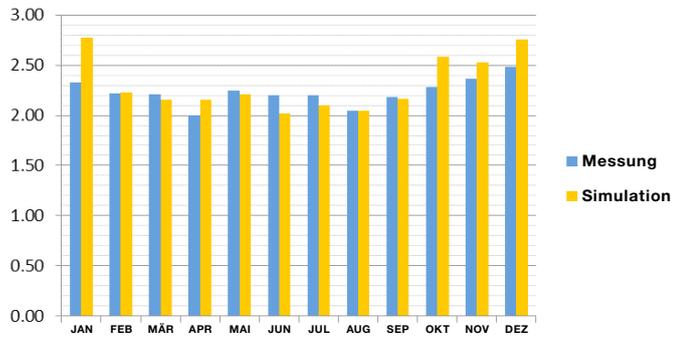


Abbildung 46: Vergleichsgraphik der gemessenen und in Szenario 05 simulierten Energieverbrauchswerte durch Beleuchtung (kWh/m²).

Der hohe Annäherungsgrad der simulierten Ergebnisse des Energieverbrauchs durch Beleuchtung und der realen Ergebnisse verleihen der vorliegenden Studie einen hohen Verlässlichkeitsgrad.



Barcelona, im Januar 2012

DER GUTACHTER

[Handwritten signature]

Juan Hernández Mayor Dr. Ing.
 Mitglied der Berufskammer Nr. 3687
 COEIC



ZUMTOBEL

Deutschland

ZG Licht Mitte-Ost GmbH
Grevenmarschstrasse 74-78
32657 Lemgo
T +49/(0)5261 212-0
F +49/(0)5261 212-7777
info@zumtobel.de
zumtobel.de

ZG Licht Nord-West GmbH
Stahlwiete 20
22761 Hamburg
T +49/(0)40 53 53 81-0
F +49/(0)40 53 53 81-99
info@zumtobel.de
zumtobel.de

ZG Licht Süd GmbH
Solmsstr. 83
60486 Frankfurt
T +49/(0)69 26 48 89-0
F +49/(0)69 26 48 89-80
info@zumtobel.de
zumtobel.de

Österreich

ZG Lighting Austria GmbH
Donau-City-Strasse 1
1220 Wien
T +43/(0)1/258 26 01-0
F +43/(0)1/258 26 01-82845
welcome@zumtobel.at
zumtobel.at

Schweiz

Zumtobel Licht AG
Thurgauerstrasse 39
8050 Zürich
T +41/(0)44/305 35 35
F +41/(0)44/305 35 36
info@zumtobel.ch
zumtobel.ch

Headquarters

Zumtobel Lighting GmbH
Schweizer Strasse 30
Postfach 72
6851 Dornbirn, AUSTRIA
T +43/(0)5572/390-0
info@zumtobel.info

zumtobel.com