

## **Master-Thesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur**

<b>Titel</b>	<b>Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen weltweit im Kontext des Klimawandels</b>
<b>Diplomandin/Diplomand</b>	<b>Glavas Matej</b>
<b>Master-Studiengang</b>	<b>Master in Engineering</b>
<b>Semester</b>	<b>FS22</b>
<b>Dozentin/Dozent</b>	<b>Prof. Dr. Seerig Axel</b>
<b>Expertin/Experte</b>	<b>Dr. Österreicher Doris</b>

### **Abstract Deutsch**

Low-Tech Gebäude zeichnen sich durch ihre einfachen, aber sehr dauerhaften und ressourcenschonenden Grundsätze. Dabei ist der Einsatz von Technik in Low-Tech Gebäuden auf ein Minimum reduziert. Neben den Grundsätzen zeichnen sich Low-Tech Gebäude zudem mit einem sehr geringem Gesamtenergieverbrauch.

Aus den bisherigen Vorarbeiten im Masterstudium (Vertiefungsmodul 1 und Vertiefungsmodul 2) konnten Erkenntnisse aus der Thematik Normierung von Belegungen mit Fokus auf internationale Bauten in warmen Klimaregionen und der Analyse von Wärmeströmen in einzelnen Bauteilen gewonnen werden und als Grundlage für diese Masterthesis genutzt werden. Mit den Erkenntnissen aus den beiden Vorarbeiten wird als letzter Schritt die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit ermittelt und untersucht. Dabei sind vier Standorte in verschiedenen Klimaregionen vordefiniert. Um auch die Thematik «Zukunft» miteinbeziehen zu können, werden die Prinzipien neben dem aktuellen Klima, auch mit den Klimaszenarien (RCP Szenarien aus den IPCC Klimaprognosen) aus der Zukunft analysiert.

Das Klima wurde in vier Haupteigenschaften aufgeteilt. Die Aussentemperatur, Feuchtigkeit, Globalstrahlung und die Bewölkung. Die Feuchtigkeit und die Globalstrahlungen bleiben auch mit den Zukunftsprognosen (RCP 4.5 und 8.5 Szenarien) ähnlich wie das aktuelle Klima. Die Aussentemperaturen werden sich Standortbedingt stärker oder schwächer verändern. Vor allem in warmen Klimaregionen wird sich der Klimawandel besonders ausgeprägt definieren. Die Bewölkung wird sich ähnlich wie die Aussentemperaturen standortbedingt verändern.

Das Ziel dieser Masterthesis ist es, Grundlagen für Bauten in warmen Klimaregionen mittels eines Kataloges für einfache Gebäudetypen (Simple House, Apartment und Office) zu definieren und zu erweitern.

Mit den Ergebnissen aus den zahlreichen Gebäudesimulationen, (vier Klimastandorte, drei Gebäudetypen, zwei RCP Szenarien, zwei Betrachtungszeiträume, drei veränderbare Parameter an der Gebäudestruktur) konnten allgemeine Aussagen über das Potential von Gebäudetypen (vordefinierte Gebäudetypen) hinsichtlich der veränderbaren Parameter getroffen werden. Im Kapitel 4 wurde ein Potentialkatalog mit den entsprechenden Daten aus den Ergebnissen erstellt.

---

Alle Rechte vorbehalten. Die Arbeit oder Teile davon dürfen ohne schriftliche Genehmigung der Rechteinhaber weder in irgendeiner Form reproduziert noch elektronisch gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Sofern die Arbeit auf der Website der Hochschule Luzern online veröffentlicht wird, können abweichende Nutzungsbedingungen unter Creative-Commons-Lizenzen gelten. Massgebend ist in diesem Fall die auf der Website angezeigte Creative-Commons-Lizenz.

### **Abstract Englisch**

Low-tech buildings are characterized by their simple, but very durable and resource-saving principle. At the same time, the use of technology in low-tech buildings is reduced to a minimum.

In addition to the principles, low-tech buildings are also characterized by a very low overall energy consumption.

From the previous preliminary work in the master's program (specialization module 1 and specialization module 2), knowledge from the topic of standardization of occupancy with a focus on international buildings in warm climate regions and the analysis of heat flows in individual components could be taken and incorporated as input into this master's thesis. With the knowledge gained from the two preliminary works, the effectiveness of the principles in warm climate regions worldwide will be determined and investigated as a final step. Four locations in different climatic regions are predefined for this purpose. In order to include the topic "future", the principles are analyzed not only with the current climate, but also with the climate scenarios (RCP scenarios) in the future.

The climate was analyzed in four main characteristics. The outdoor temperature, humidity, global radiation and cloud cover. The humidity and global radiation remain similar to the current climate even with the climate projections (RCP 4.5 and 8.5 scenarios). Outdoor temperatures will change more steeply or more sharply depending on location. Especially in warm climate regions, climate change will be defined in a particularly pronounced way. The cloudiness will change like the outside temperature depending on the location.

The aim of this master thesis is to define and extend the basics for buildings in warm climate regions by means of a catalog for simple building types (Simple House, Apartment and Office).

With the results from the numerous building simulations (four climate locations, three building types, two RCP scenarios, two observation periods, three changeable parameters on the building structure) it is difficult to make general statements about the potential of building types regarding the changeable parameters. In chapter 4, a potential catalog was created with the corresponding data from the results.

Ort, Datum

Spreitenbach, 16.06.2022

© Matej Glavas, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

# Master of Science in Engineering

## Masterarbeit

Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen  
weltweit im Kontext des Klimawandels.

Principles of low-tech buildings in warm climate regions worldwide in  
the context of climate change.

**Autor:** **Matej Glavas**

---

Hauptbetreuung: Prof. Dr. Axel Seerig

---

Expertin: Dr. Doris Österreicher

---

Datum: 17. Juni 2022

---

Fachgebiet: Building Technologies

---

## INHALTSVERZEICHNIS

### ABSTRACT DEUTSCH

### ABSTRACT ENGLISCH

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>AUSGANGSLAGE</b>	<b>7</b>
<b>1.2</b>	<b>GRUNDSATZ LOW-TECH - GEBÄUDE</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>KLIMAWANDELANPASSUNG LOW-TECH – GEBÄUDE</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>BEISPIELE LOW-TECH – GEBÄUDE</b>	<b>11</b>
1.4.1	NUS SCHOOL OF DESIGN & ENVIRONMENT IN SINGAPORE	12
1.4.2	GREEN MASTERPLAN IN NANJING WANGJIAWAN IN CHINA	13
1.4.3	VILLA SLOW IN SPANIEN	15
<b>1.5</b>	<b>SZENARIEN</b>	<b>17</b>
<b>1.6</b>	<b>KLIMAPROGNOSEN</b>	<b>18</b>
<b>1.7</b>	<b>ZIEL, HYPOTHESE UND DEFINITION</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>METHODIK</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>VORGEHEN</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>IPCC KLIMASZENARIEN</b>	<b>24</b>
2.2.1	RCP 2.6 SZENARIO	25
2.2.2	RCP 4.5 SZENARIO	25
2.2.3	RCP 8.5 SZENARIO	25
<b>2.3</b>	<b>SIMULATIONSGRUNDLAGEN</b>	<b>26</b>
2.3.1	STANDORTE UND KLIMADATEN	27
<b>2.4</b>	<b>GEBÄUDEGRUNDLAGEN</b>	<b>32</b>
2.4.1	GEBÄUDETYP SIMPLE HOUSE	32
2.4.2	GEBÄUDETYP APARTMENT	33
2.4.3	GEBÄUDETYP OFFICE	34
<b>3</b>	<b>RESULTATE</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>AUFBAU RESULTATE</b>	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>ANALYSE RCP SZENARIEN</b>	<b>37</b>
3.2.1	KLIMASTANDORT ZÜRICH	38
3.2.2	KLIMASTANDORT LOS ANGELES	40
3.2.3	KLIMASTANDORT SINGAPORE	42
3.2.4	KLIMASTANDORT DUBAI	44
<b>3.3</b>	<b>ANALYSE GESAMTENERGIEBEDARF (EUI)</b>	<b>46</b>
3.3.1	KLIMASTANDORT ZÜRICH	48
3.3.2	KLIMASTANDORT LOS ANGELES	52

3.3.3	KLIMASTANDORT SINGAPORE	56
3.3.4	KLIMASTANDORT DUBAI	60
3.3.5	VERGLEICHSANALYSE DETAILLIERT	64
<b>4</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>VERGLEICH KLIMASTANDORTE</b>	<b>67</b>
<b>4.2</b>	<b>VERGLEICH GEBÄUDETYPEN UND KLIMASTANDORTE</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b>	<b>1</b>

**1**

# Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

In den bisherigen Arbeiten im Masterstudium (Vertiefungsmodul 1 und Vertiefungsmodul 2) wurden Thematiken in Bezug auf die Normierung von Belegungen in warmen Klimazonen und die Wärmeströme in Bauteilen bearbeitet und analysiert. Dabei konnten viele Erkenntnisse über Low-Tech-Gebäude in warmen Klimaregionen mit vordefinierten Standorten gewonnen werden.

Mit den Erkenntnissen aus den beiden Vorarbeiten wird als letzter Schritt die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit ermittelt und untersucht. Dabei sind vier Standorte in verschiedenen Klimaregionen vordefiniert. Um auch die Thematik „Zukunft“ miteinbeziehen zu können, werden die Prinzipien nicht nur auf das aktuelle Klima, sondern auch auf Klimaszenarien der Zukunft angewandt.

Die Prinzipien werden an Beispielobjekten / Beispielgebäuden mit verschiedenen vordefinierten Parametern untersucht. Dabei werden die Beispielobjekte in Nutzungsart und Gebäudetypen unterschieden.

Mit mehreren IPCC-Klimaprognosen weltweit (vordefinierte Standorte) wird die Thematik des Klimawandels aufgegriffen. Dabei werden in den Simulationen Szenarien aus den Jahren 2050 und 2100 vorausgesetzt.

Hierbei werden folgende Fragen im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen:

1. Inwieweit sind die aktuellen Prinzipien robust und leisten einen Vorteil hinsichtlich des Energiebedarfes, und ab welchem Punkt müssen die Prinzipien überdacht und angepasst werden?
2. Mit welchen Massnahmen können die Prinzipien einfach angepasst werden, und in welchen Klimaregionen benötigt es grössere Anpassungen bzw. gegebenenfalls eine neue Beurteilung?

Durch die Erkenntnisse dieser Masterthesis sollen die Grundlagen für Bauten in warmen Klimaregionen erweitert werden. Mittels eines Kataloges können für einfache Gebäudetypen (Simpel House, Apartment, Office) fest definierte Prinzipien bestimmt werden, die mit einfachen Kennzahlen hinsichtlich des Energiebedarfes die Prinzipien reflektieren.

## 1.2 Grundsatz Low-Tech - Gebäude

Low-Tech-Gebäude sind hocheffiziente Gebäude, die mit einfachen, aber dauerhaften und ressourcenschonenden baulichen Komponenten das ganze Jahr über die Bedürfnisse der Nutzer im Gebäude umfassend erfüllen. Dabei ist der Einsatz von Technik in Low-Tech-Gebäuden stark reduziert. Die thermische Behaglichkeit wird grösstenteils mit der Grundstruktur des Gebäudes (Aussenfassade, Verglasung, Dach, natürliche Belüftung) eingehalten und erfüllt. Dabei werden technische Kälteerzeugungen sowie Wärmeerzeugungen auf das Minimum reduziert.

Ein Low-Tech-Gebäude weist neben der Einfachheit und der minimalen Technik auch einen sehr geringen Energiebedarf auf. Der tiefe Energiebedarf ist meistens das Produkt von einem hohen Anteil an erneuerbarer Energie für Wärme und Stromversorgung sowie der Wirtschaftlichen Analyse von passenden Materialien und Komponenten in der Gebäudestruktur. Neben dem allgemeinen Ressourcenarmen Planen ist der Faktor auf die Lebensdauer massgebend für die gesamte Planung und Realisation.

Die Behaglichkeit im Low-Tech-Gebäude ist geprägt durch hohen thermischen Komfort, beste Luftqualität und einen hohen Tageslichtanteil. Grundsätzlich wird ein weitgefasseterer Ansatz als in den jeweils relevanten Normen vorausgesetzt, um ein Low-Tech-Gebäude realisieren zu können.

Beispielsweise können bewusst höhere Temperaturen im Sommer oder weniger als 20° C nach einem Winterwochenende in Kauf genommen werden, wenn damit auf zusätzliche technische Komponenten verzichtet werden kann.

Was aber als der wichtigste Faktor bei der ganzen Thematik gelten kann, ist, dass es in puncto Lebensqualität bei Low-Tech-Gebäuden oder High-Tech-Gebäuden keine grossen Unterschiede geben darf. Die Massnahmen können hinsichtlich einer bestimmten Funktionalität durchaus verschieden sein. Wenn man die beiden Gebäudetypen vergleicht, sollten aber keine starken Unterschiede in der Lebensqualität erkennbar sein.

Die Grundidee ist, dass Low-Tech-Gebäude oder Low-Tech-Produkte weniger Wartungszyklen und eine höhere Lebensdauer haben. Dieser Punkt ist vor allem in Klimaregionen wie Afrika von zentraler Bedeutung, wo neben dem finanziellen Aspekt oft auch der fachliche Aspekt in der Bereinigung von Problemen fehlt oder noch nicht vorhanden ist.

Ein Low-Tech-Gebäude erfüllt die meisten Anforderungen an Klimatisierung und Komfort schon durch seine Konstruktion. Dabei ist eine Umsetzung mit robusten Baustoffen und einem ökologischen, nachhaltigen Ressourcenverbrauch anzustreben. Dabei werden folgende baukonstruktive Elemente betrachtet:

### Gebäudehülle



Eine hocheffizient dämmende Gebäudehülle ist Voraussetzung für ein funktionierendes Low-Tech-Gebäude. Sie dämpft die Auswirkungen der natürlichen Schwankungen von Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenlicht etc. Die Gebäudehülle schützt im Sommer vor Überhitzung und im Winter vor Auskühlung.

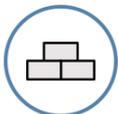
Neben der Erfüllung der energetischen Ansprüche ist die Gebäudehülle eines Low-Tech-Gebäudes zudem einfach konstruiert, langlebig sowie gut sanierbar.

### Solare Einträge



Die Sonnenenergie, die über die Gebäudehülle ins Innere gelangt und von Gebäudeteilen wie Wänden, Böden und Einrichtung absorbiert wird, trägt zur Erwärmung eines Gebäudes bei. Vor allem bei gut gedämmten Gebäuden können die solaren Einträge in der kalten Jahreszeit einen wesentlichen Anteil des Wärmebedarfs decken. Im Sommer können die solaren Gewinne jedoch zu einer Überhitzung des Gebäudes führen. Durch die richtige Positionierung und Dimensionierung der Fensterflächen und die Wahl geeigneter Verschattungsmöglichkeiten können die solaren Einträge im Winter optimal genutzt werden, ohne in den warmen Sommermonaten zur Überhitzung zu führen.

### Speichermasse



Schwere, kompakte Bauteile aus Beton, Stein, Kalksandstein oder Lehm haben eine hohe thermische Speichermasse. Die Bauteile nehmen die Wärmespitzen im Tagesverlauf auf und geben sie in den kühleren Nachtstunden wieder ab. Das Innenraumklima wird dadurch gegenüber den äusseren Temperaturschwankungen stabilisiert. Diese Trägheit der thermischen Masse hat entscheidenden Einfluss auf die Raumtemperaturen, im Sommer und auch im Winter.

## Verzicht



Grundsätzlich wird ein weit gefassterer Ansatz als in den jeweils relevanten Normen vorausgesetzt, um ein Low-Tech-Gebäude realisieren zu können. Beispielsweise können im Sommer bewusst höhere Temperaturen oder nach einem Winterwochenende etwas niedrigere Temperaturen in Kauf genommen werden, wenn damit auf zusätzliche technische Komponenten verzichtet werden kann.

Dabei ist eine Bedarfsanalyse von Anfang an ein sehr wichtiges Instrument, um herauszufinden, auf welche Bedürfnisse der Bauherr eingehen möchte.

### 1.3 Klimawandelanpassung Low-Tech – Gebäude

Der Klimawandel scheint ohne drastische Maßnahmen unaufhaltsam. In den kommenden Jahrzehnten wird in unseren Breitengraden der Wechsel von der gemässigten Zone in die subtropische Zone spürbar. Eine steigende Anzahl von Hitzetagen und Tropennächten im Sommer sowie mildere Winter sind prognostiziert, begleitet von einer wachsenden Intensität und Frequenz von Niederschlägen und Dürreperioden. Bauwerke werden auf eine jahrzehntelange Nutzung über mehrere Generationen ausgelegt. Folglich ist vorausschauende Gebäudeplanung gefragt.

#### Überhitzung vermeiden

Durch den Temperaturanstieg und die Zunahme von Hitzetagen und Tropennächten rückt die Problematik der Überhitzung immer mehr in den Vordergrund. Dabei geht es beim Wohnen vor allem um die Beibehaltung der Behaglichkeit und die Beachtung menschlicher Bedürfnisse, auch bei höheren Aussentemperaturen.

Die Tauglichkeit eines Gebäudes hängt entscheidend von vier Faktoren ab: Dämmstandard (U-Wert), Masse des Gebäudes, Abschattung der Fenster (Verschattung) und Aufbau der Fenster / Verglasung (U-Wert Fenster und g-Wert Verglasung). Schon der Wärmeeintrag durch direkte Sonneneinstrahlung über die Fenster ist ca. 200 bis 1000 Mal grösser als der Wärmeeintrag durch eine gedämmte Wand.

### **Gestaltung des Aussenraums**

Klimawandelanpassung kann nicht nur durch gebäudetechnische Massnahmen erreicht werden. Um dem Low-Tech-Gedanken treu zu bleiben und so wenig, so ökologisch und so wirtschaftlich wie möglich zu bauen, kann unterstützend die Natur bzw. die Umgebung des Gebäudes als Ressource hinzugezogen werden. So kann zum Beispiel durch das Pflanzen von Bäumen die Gefahr einer Bodenerosion minimiert werden. Durch das Wurzelwerk lockert sich zudem der Boden auf, was eine bessere Wasserversickerung bewirkt.

## **1.4 Beispiele Low-Tech – Gebäude**

Die Definition von Low-Tech-Gebäuden bezieht sich nicht auf einen bestimmten Gebäudetyp oder eine bestimmte Nutzungsart. Bauten werden weltweit, von kleinen Ferienhäusern bis zu grossen Universitäten, als Low-Tech-Prinzip realisiert und betrieben.

Drei verschiedene (verschiedene Nutzungsarten, verschiedene Gebäudegrössen) Gebäudetypen wurden genauer betrachtet und analysiert.

### 1.4.1 NUS School of Design & Environment in Singapore

Der Erweiterungsbau der National University of Singapore für die School of Design & Environment ist ein herausragendes Netto-Nullenergiegebäude in den Tropen. Das fünfstöckige Gebäude beherbergt Labore, Designstudios und Werkstätten der Schulen für Architektur, Innenarchitektur, Landschafts- und Produktdesign. Als Schule mit Schwerpunkt auf energieeffizienten Technologien musste der Erweiterungsbau die von der Fakultät vertretenen Prinzipien verkörpern und ein Beispiel für die Studenten und die erweiterte Designgemeinschaft sein.



Abbildung 1: NUS School of Design Bild 1

---

<sup>1</sup> <https://cde.nus.edu.sg/arch/facilities/net-zero-energy-building-sde-4/>

Mit einfachen gebäudestrukturellen Eingriffen konnte die Behaglichkeit im gesamten Gebäude hergestellt werden. Dazu wurde ein grosses auskragendes Dach erstellt, welches das Gebäude vor den intensiven Sonnenstrahlen in Singapore schützt und für kühlere Innenraumtemperaturen sorgt. Zudem wurde anstelle einer hochmodernen Klimatisierung eine einfache, aber effiziente Querlüftung eingesetzt, die das Gebäude unter minimalem Stromverbrauch auf eine angenehme Temperatur abkühlt. Das Konzept ist ein wichtiger Bestandteil der Strategie, da in warmen Klimaregionen wie in den Tropen ca. 60 % des Gesamtenergieverbrauches auf die Klimatisierung des Gebäudes entfällt. Zudem wird mit einer hochintelligenten MSRL-Steuerung der Bedarf an Fensteröffnungen gesteuert und gemanagt.

Neben den zahlreichen strukturellen Gegebenheiten wird ein grosser Teil des Energiebedarfes mit den PV-Anlagen auf dem Dach selbst abgedeckt.

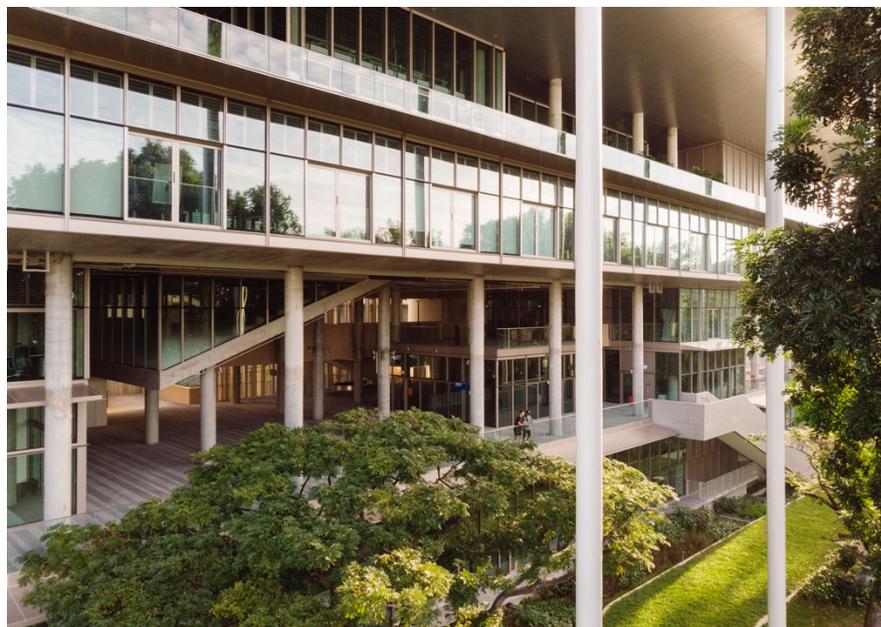


Abbildung 2: NUS School of Design Bild 2

#### 1.4.2 Green Masterplan in Nanjing Wangjiawan in China

Das Green Masterplan-Projekt in Nanjing in China ist ein Bauvorhaben, über das nicht allzu viele Informationen publiziert werden. Im Vergleich zum NUS School of Design-Gebäude in Singapore werden hier Wohnungen für die Bevölkerung bereitgestellt. Dabei ist in diesem Projekt vor allem die Einbindung der Umgebung von massgebender Bedeutung.

Ein Merkmal des gesamten Projektes sind die vielen Verglasungen in den Gebäuden. Dadurch gelangt sehr viel natürliches Licht in die Gebäude und Wohnungen. Einer der

---

<sup>2</sup> <https://cde.nus.edu.sg/arch/facilities/net-zero-energy-building-sde-4/>

positiven Effekte der direkten Sonneneinstrahlung ist die aktive Erwärmung der Luft in den Wintermonaten.

Zudem werden die Bauteile thermisch aktiviert und halten die Wärme entsprechend der in ihnen vorhandenen, thermischen Speicherkapazität.

In den Sommermonaten jedoch bewirkt die direkte Einstrahlung einen Kühlbedarf, um ein behagliches Klima in den Wohnräumen gewährleisten zu können. Mit Massnahmen wie zum Beispiel Verschattung (Sonnenstoren, Gardinen, vertikale bauliche Verschattungen) kann der effektive Kühlbedarf gesenkt werden. Zudem ist der Aufbau der Verglasung ein wichtiger Bestandteil der gesamten Analyse (g-Wert Verglasung, U-Wert Fenster).



Abbildung 3: Greenmaster Plan in China

---

<sup>3</sup> <https://intep.com/projekte/green-masterplan/>

### 1.4.3 Villa Slow in Spanien

Die Villa Slow ist ein Feriendomizil, das von der Architektin Laura Alvarez entworfen und gebaut wurde. Die Typologie der neuen Architektur orientiert sich am geschichtlichen Kontext. Sie bezieht sich auf eine traditionelle, lokale Bauweise, „Cabaña Pasiega“ genannt. Das gesamte Gebäude ist sehr einfach und leicht aufgebaut. Ein rechteckiger Grundriss mit zwei grossen Panoramafenstern an den beiden Längsseiten zeichnet das einfache, aber moderne Haus aus. Durch die grossen Fenster gelangt viel Tageslicht in die Villa.

Aus technischer Sicht ist das Gebäude sehr rudimentär aufgebaut. Eine Luft-Wärmepumpe versorgt das Haus mit Wärme für das Warmwasser und die Fussbodenheizung. Die qualitativ hochisolierten Fenster vermeiden Wärmeverluste. Ein Hochleistungsglas wärmt die Räume im Winter auf. Im Sommer schützen die grossen hölzernen Fensterläden das kleine Haus vor starker Hitze und direkter Sonneneinstrahlung. Durch die verbauten Materialien wird zudem die Speicherfähigkeit des Gebäudes situativ eingebunden in das ganze Low-Tech-System.

Mit einfachen, aber sehr wirkungsvollen Methoden wurde der Gesamtenergiebedarf auf ein Minimum reduziert. Beispiel: LED-Beleuchtung, Wärmepumpe mit idealer Einregulierung etc.



Abbildung 4: Villa Slow in Spanien Aussenansicht



Abbildung 5: Villa Slow in Spanien Innenansicht

---

<sup>4</sup> <https://www.archdaily.com/883422/villa-slow-laura-alvarez-architecture>

## 1.5 Szenarien

Mit Gebäudesimulationen (Sefaira, EnergyPlus) wird die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit ermittelt und quantifiziert (vordefinierte Standorte). Dabei sollen verschiedene Planungsansätze (effizient, einfach, robust) einbezogen werden. Bewusst wurde auf die Umsetzung von technischen Komponenten zur Kühlung oder Heizung verzichtet. Dabei wird der Ansatz eines Low-Tech-Gebäudes weitergeführt. Es geht darum, mit einfachen und effizienten Massnahmen den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren und dadurch die bestmögliche Lösung für die entsprechende Klimazone zu definieren. Das Szenario wird auf der Grundlage von drei vordefinierten Parametern durchgespielt.

Die gesamte Masterarbeit erörtert Überlegungen, die während der Konzeptphase von Bauten angestellt werden. Zu diesem Zeitpunkt können noch keine genauen Angaben zu den Gebäudetypen und den geplanten Komponenten gemacht werden.



Abbildung 6: Szenario

Folgende Parameter werden simuliert.

g-Wert Verglasung:	0.1 (10% Durchlass) bis 0.9 (90% Durchlass)
U-Wert Aussenfassade	0.1 (W/m <sup>2</sup> K) bis 5.0 (W/m <sup>2</sup> K)
Verschattung	0.2 (Verhältnis horizontale Verschattung zum Fenster) Bis 2.0

<sup>5</sup> Eigene Darstellung

## 1.6 Klimaprognosen

Klimaprognosen sind Schätzungen der Entwicklung des Klimas in der Zukunft für einen gewissen, vordefinierten Zeitraum. Die Ausgangsbedingungen der zugrunde liegenden Klimasimulationen werden durch den aktuellen Zustand, insbesondere der trägeren Komponenten des Klimasystems wie zum Beispiel des Ozeans, bestimmt.

Die Klimaprognose ist aber stets von einer Wettervorhersage zu trennen. Eine Wettervorhersage startet von einem Anfangspunkt, an dem die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Druckverteilung, die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit weitestgehend als bekannt vorausgesetzt werden können. Anhang eines Systems von mathematisch-physikalischen Gleichungen (Vorhersagemodell) werden dann zukünftige Zustände auf der Erdoberfläche eruiert und berechnet. Theoretisch ist dies maximal für eine Vorhersagezeit von bis zu zwei Wochen möglich. Deshalb können Klimaprognosen, die meistens viele Jahre im Voraus erstellt werden, nicht mit dem gleichen System ermittelt werden wie die Wettervorhersage. Daher sind sie auch nicht so genau wie Wettervorhersagen.

Die Genauigkeit einer Klimaprognose wird wesentlich durch die Unschärfe der Ausgangslage bestimmt.

Aussagen zu dem Klima, das in ferner Zukunft zu erwarten ist, werden meistens mit einer Klimaprojektion ermöglicht. Für eine Klimaprojektion ist der Anfangszustand der Atmosphäre nicht entscheidend. Vielmehr werden die Wirkungen auf das zukünftige Klima über Zeiträume von bis zu 300 Jahren anhand angenommener Szenarien berechnet. Für Klimaprojektionsberechnungen benötigt man eine sehr grosse Rechenleistung, so dass auch die leistungsfähigsten Grossrechner Wochen oder Monate mit der Berechnung einer Klimasimulation beschäftigt sind. Solche Rechnungen werden in der Mehrzahl von grossen Klimarechenzentren durchgeführt.

Klimaprognosen werden einerseits mit Klimamodellen und andererseits mit möglichen Treibhausgasszenarien ermittelt und aufgebaut.

Dabei bilden Klimamodelle vereinfachte Abbildungen der Wirklichkeit. Neue Datensätze bilden die Grundlage der Klimaänderung der letzten Jahre. Computermodelle berechnen das zukünftige Klima für einen bestimmten Zeitraum. Die Modelle basieren auf einem Meteorologiemodell, erweitert um Ozean-, Schnee- und Eismodelle.

Neben den Klimamodellen wird die zukünftige Entwicklung der Treibhausgase abgeschätzt.

Um mögliche Fehler zu korrigieren, werden für gewöhnlich mehrere Klimamodelle verwendet und verglichen.

Der Weltklimabeirat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat in seinem fünften Bericht vier Emissionsszenarien RCP (Representative Concentration Pathway) eingeführt. Mit den RCP-Szenarien können die zukünftigen Treibhausgasemissionen verwendet werden.

Die Szenarien werden gemäss IPCC folglich definiert.

Tabelle 1: RCP Szenario - Entwicklung

Szenariename	Szenarientwicklung
RCP 8.5	Ähnlich wie das bisherige A2-Szenario. Über 1370 ppm CO <sub>2</sub> -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau
RCP 6.0	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 CO <sub>2</sub> -Äquivalent, ähnlich dem A1B-Szenario, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300
RCP 4.5	Moderate Entwicklung, ähnlich dem B1-Szenario. Anstieg des CO <sub>2</sub> -Äquivalent bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau
RCP 2.6	"Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm <sup>-2</sup> im Jahr 2100. Vergleichbar dem E1-Szenario, d.h. ein "politisches" Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als 2° C im Jahr 2100 nicht überschritten wird. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris

Das National Centre for Climate Services NCCS vom Bund definiert wie folgt die Klimaszenarien.

Tabelle 2: RCP Szenario gemäss NCCS

RCP Szenario	Eigenschaften
RCP 8.5	Es werden keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen. Die Treibhausgasemissionen nehmen stetig zu. Der Strahlungsantrieb im Jahr 2100 beträgt 8.5 W/m <sup>2</sup> im Vergleich zu 1850.
RCP 4.5	Der Ausstoss von Treibhausgasemissionen wird zwar eingedämmt, aber der Gehalt in der Atmosphäre steigt noch weitere 50 Jahre. Das Zwei-Grad-Ziel wird verfehlt. Der Strahlungsantrieb im Jahr 2100 beträgt 4.5 W/m <sup>2</sup> im Vergleich zu 1850.
RCP 2.6	Klimaschutzmassnahmen werden ergriffen. Mit einer umgehend eingeleiteten Senkung der Emissionen wird der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre bis in etwa 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Pariser Klimaabkommens 2016 erreichen. Der Strahlungsantrieb im Jahr 2100 beträgt 2.6 W/m <sup>2</sup> im Vergleich zu 1850.

Die genaue Analyse der RCP-Szenarien mit den vordefinierten Klimastandorten folgt in den weiteren Kapiteln. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die jeweiligen Standorte gelegt.

## 1.7 Ziel, Hypothese und Definition

### Ziel

Das Ziel dieser Masterthesis im Masterstudiengang Building Technologies ist es, mit den Erkenntnissen aus den beiden Vertiefungsmodulen Prinzipien für Low-Tech-Gebäude in warmen Klimaregionen weltweit zu ermitteln und zu untersuchen. Dabei wird neben den Prinzipien auch der Faktor «IPCC-Klimaprognose» ein fester Bestandteil der Arbeit sein.

### Hypothese

Mittels eines Kataloges können für einfache Gebäudetypen (Bungalow, Apartment, Office) fest definierte Prinzipien vorausgesetzt werden, die mit einfachen Kennzahlen hinsichtlich des Energiebedarfes die Prinzipien reflektieren.

### Definition

Die IPCC-Klimaprognosen werden in vier Szenarien unterteilt. Jedes Szenario weist eine eigene Eigenschaft auf und zeigt einen Zukunftsverlauf des Klimaschutzes.

Der EUI (Energy Use Intensity) wird als spezifischer Wert angegeben (kWh / m<sup>2</sup> / a), um einen Vergleich zwischen den Gebäudetypen zu ermöglichen. Es handelt sich beim EUI um den elektrischen Energiebedarf. Er umfasst, neben der Heiz- und Kühlenergie, den Energieverbrauch von Geräten, Leuchten und weiteren HLKS-Komponenten.

[ 2 ]

## Methodik

## 2.1 Vorgehen

Im Vertiefungsmodul 1 wurde die Thematik auf die Normierung und Belegung von Projekten in warmen Klimaregionen bezogen. Dabei konnte man feststellen, dass die Normen stark voneinander abwichen. Man konnte keine genaue Aussage treffen, da die Normen von der Nutzungsart und der Art des Gebäudes abhingen.

Im Vertiefungsmodul 2 wurden Low-Tech-Gebäude hinsichtlich ihrer Wärmeströme untersucht. Dabei analysierte man die einzelnen Wärmeströme von Bauteilen, die einen wichtigen Bezug auf Gebäude in warmen Klimaregionen aufweisen. Wie auch bei dem Vertiefungsmodul 1, zeigten sich alle Ergebnisse stark von der Nutzungsart und des Gebäudetypen abhängig. Die Resultate konnte nicht verallgemeinert werden.

Deshalb ist es das Ziel in der Masterarbeit, mit Gebäudesimulationen (Sefaira, EnergyPlus) die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit zu ermitteln und zu quantifizieren (vordefinierte Standorte). Dabei sollen verschiedene Planungsansätze (effizient, einfach, robust) in die Analyse miteinbezogen werden.

Mit mehreren IPCC-Klimaprognosen weltweit wird die Thematik des Klimawandels aufgegriffen.

Die verschiedenen Gebäudetypen unterscheiden sich in der Nutzungsart und der Grösse. Zudem wurden die Gebäudetypen ähnlichen, bereits bestehenden Low-Tech-Gebäuden nachempfunden und auf dieser Grundlage modelliert. Dadurch können bereits realisierte Gebäude weltweit einfacher mit den Ergebnissen verglichen werden.

Aktuelle Bauten werden heutzutage in der Regel mit den aktuellen Wetterdaten simuliert und berechnet. Wie werden energetische Berechnungen hinsichtlich Zukunftsdaten in Ländern wie Deutschland, Österreich und der Schweiz gehandhabt?

Moderne Gebäude haben eine Lebensdauer von ca. 100 Jahren. Deshalb ist es von grosser Bedeutung, auch Simulationen mit Ergebnissen aus Zukunftsszenarien analysieren zu können und daraus Entscheidungen abzuleiten.

### Deutschland

In Deutschland wird im Allgemeinen mit dem vom Deutschen Wetterdienst ermittelten Testreferenzjahr (TRY) 2011 gerechnet. Um die klimatischen Anforderungen an die Heiz-, Klimatisierungs- und Lüftungstechnik auch für den Zeitraum einer längeren Betriebsdauer berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich Testreferenzjahre auf Basis von regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2031 bis 2060 entwickelt, die dann auch für die Berechnungen eingesetzt werden könnten. Jedoch gibt es keine längerfristigen Daten.

## **Österreich**

Die Monatsmitteltemperaturen, die in der Berechnung des österreichischen Energieausweises verwendet werden, wurden im Jahr 2019 mit der ÖNORM B 8110 5:2019 03 auf den Einfluss des Klimawandels angepasst. Die Werte sind gegenüber der Vorgängernorm im Mittel über alle sieben Klimaregionen um +1.1 K im Winterhalbjahr und +1.4 K im Sommerhalbjahr erhöht. Beim gesamtösterreichischen Referenzklima wurde ein weit stärkerer Temperaturanstieg angenommen. Alle Monatswerte wurden um +2 K nach oben korrigiert.

## **Schweiz**

In der Schweiz sind die Monatsmitteltemperaturen, die für die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 verwendet werden, in der Norm SIA 2028 definiert. Die Klimadaten stammen von einzelnen Klimastationen, die über die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein verteilt sind. Die aktuelle Version der Norm ist aus dem Jahr 2010, in welcher der bisherige und aktuelle Einfluss des Klimawandels noch nicht berücksichtigt ist.

## 2.2 IPCC Klimaszenarien

Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fasst in regelmässigen Abständen den aktuellen Wissensstand zum Klimawandel zusammen. Er schafft damit die Grundlage für wissenschaftsbasierte Entscheidungen in der Politik des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.

Der IPCC, häufig auch als Weltklimarat bezeichnet, ist ein zwischenstaatliches und wissenschaftliches Gremium, das im Abstand von jeweils rund sechs Jahren den aktuellen Kenntnisstand zum Klimawandel zusammenfasst und publiziert.

Der Klimawandel betrifft mittlerweile jede Region auf der Erde. Die globale Mitteltemperatur hat sich seit Beginn der Industrialisierung um ca. 1.1 K erwärmt, wobei die Erwärmung über Land (1.6 K) grösser ist als über den Ozeanen (0.9 K).

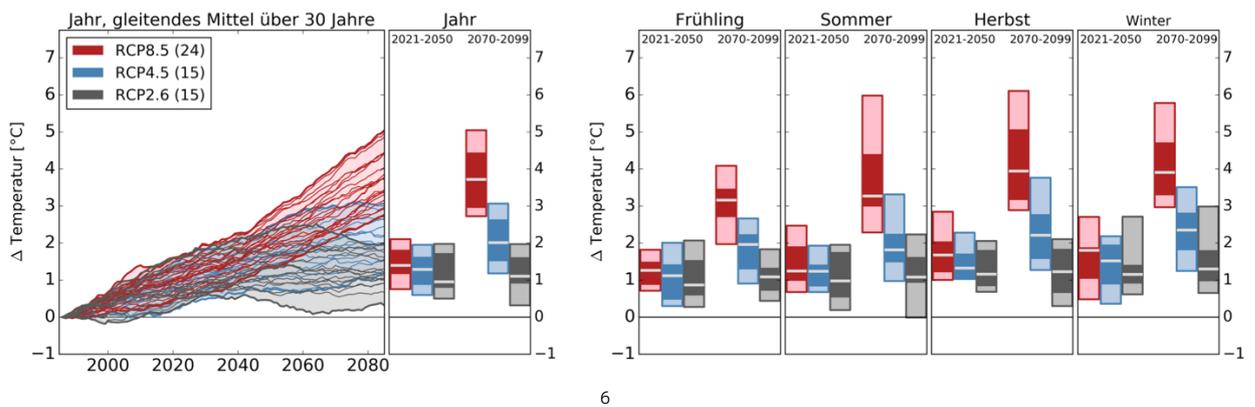


Abbildung 7: Änderung Oberflächentemperatur

<sup>6</sup> Dokument: Planen mit RCP Szenarien, Ausgabe Bundesamt für Umwelt

### **2.2.1 RCP 2.6 Szenario**

RCP 2.6 ist ein Szenario mit niedrigen Emissionen. Es wird angenommen, dass die Pro-Kopf-Emission von jetzt an stark sinkt und 2080 den Wert 0 erreichen wird. Entsprechend der Emission zeigen die Szenarien auch die Bevölkerungsentwicklung auf. Gemäss dem Szenario bleibt die Weltbevölkerung in den nächsten 100 Jahren gleich (8.7 Mrd. Menschen). Um die Werte dieses Szenarios erreichen zu können, ist weltweit eine starke Verringerung von Emissionsausstössen nötig.

### **2.2.2 RCP 4.5 Szenario**

RCP 4.5 wird vom IPCC als Zwischenszenario beschrieben. Die Emissionen in RCP 4.5 erreichen um 2040 ihren Höhepunkt und nehmen dann ab. RCP 4.5 wird wahrscheinlich bis 2100 zu einem globalen Temperaturanstieg zwischen 2°C und 3°C führen, wobei der mittlere Meeresspiegelanstieg um 35 % höher ist als der von RCP 2.6. Viele Pflanzen- und Tierarten werden sich nicht an die Auswirkungen von RCP 4.5 und höheren RCP's anpassen können.

### **2.2.3 RCP 8.5 Szenario**

In RCP 8.5 steigen die Emissionen im 21. Jahrhundert weiter an. Das RCP 8.5-Szenario, das im Allgemeinen als Grundlage für das Worst-Case-Klimawandelszenario verwendet wird, basiert auf einer Überschätzung der prognostizierten Kohleförderung.

## 2.3 Simulationsgrundlagen

Um Simulationsergebnisse zu erhalten, werden Grundlagen benötigt, die mit einer Simulationssoftware verarbeitet werden können. Die Grundlagen können entweder bereits in der Software vorhanden sein oder müssen manuell eingetragen und ergänzt werden. Dabei ist der Detaillierungsgrad der Inputs massgebend für das Ergebnis. Je mehr Inputs verarbeitet werden müssen, desto genauer wird das Ergebnis und die Simulationsdauer wird grösser.

Ein Gebäude ist im Laufe des Jahres inneren und äusseren Einflüssen ausgesetzt. Werden die Einflüsse mittels einer statischen Berechnung ermittelt und so in der Energiebilanz berücksichtigt, werden wichtige Zusammenhänge vereinfacht oder vernachlässigt. Das Resultat ist meist ungenau und die Anlagen können dadurch beispielsweise überdimensioniert werden. Es folgen hohe Investitions- und Betriebskosten sowie ein verminderter Komfort. Mithilfe einer thermischen Gebäudesimulation können diese Einflüsse genauer und mit einer grösseren Auflösung ermittelt werden. Die thermischen Beeinflussungen werden mit dem Computer über ein Jahr hinweg simuliert und aufgezeichnet. Es handelt sich hierbei um eine dynamische Berechnungsmethode. Als Grundlage dienen Annahmen über zu erwartende Energieflüsse z. B. aus Klima, Transmissionswärme, Lüftungswärme, solaren Gewinnen, Gebäudeverschattungen, Fensterlüftungen, Fugen für Windströme sowie inneren Wärmelasten aus Beleuchtung, Personen, Anlagen oder Prozessen.

Mit dem Programm SketchUp können Gebäude-Geometrien einfach aufgezeichnet werden. Die zu betrachtenden Gebäudetypen Simple House, Apartment und Office werden mittels SketchUp konstruiert und die Modelle anschliessend auf die Simulationsplattform Sefaira geladen. Sefaira bietet die Möglichkeit, Simulationsergebnisse auszuwerten und Parameter, wie z. B. Fenster, Verschattungen, Nutzungen und HLK-Anlagen, einfach zu verändern. Neben dem Energieverbrauch und den Emissionen werden Daten über den Wärmekomfort, das Tageslicht und die Gebäudetechnikeinflüsse wiedergegeben. Es können Varianten erstellt und miteinander verglichen werden. Die dynamische Berechnung des Modells findet im Hintergrund mittels der Software EnergyPlus statt. Hier werden Ganzjahressimulationen im Stundenschritt durchgeführt.

### 2.3.1 Standorte und Klimadaten

Die Klimadaten sind Grundlage für eine Gebäudesimulation / Energiesimulation. Dadurch kann eine Ganzjahressimulation ermittelt werden. Klimadaten können kostenpflichtig oder kostenfrei genutzt werden. Kostenpflichtige Klimadaten weisen meistens eine genauere und längere Aufnahmequalität / Aufnahmezeit dar. Dabei werden Daten zur Aussentemperatur, Feuchtigkeit, Solaren Strahlung, Windgeschwindigkeit, zum Luftdruck etc. erfasst und weiterverarbeitet.

Für diese Arbeit werden vier Klimastandorte gewählt, die gemäss ASHRAE-Norm unterschiedlichen Klimazonen zugewiesen sind. Dadurch kann nicht nur eine Aussage über den Standort getroffen werden, sondern auch über die Klimazone. Als Referenzstandort wird Zürich gewählt. Neben Zürich sind Los Angeles, Singapore und Dubai weitere Klimastandorte, mit welchen Energiesimulationen getätigt werden.

Die Analyse der Klimastandorte erfolgt mit einem x-y-Diagramm. Die x-Achse definiert die Monate, die y-Achse die Stunden. Geplottet werden dann die jeweiligen Daten auf der z-Achse. Damit können die jeweiligen Klimadatensätze im weiteren Verlauf der Arbeit einfach unterschieden und verglichen werden. Mit dieser Darstellung ist eine einfache Vergleichsanalyse schnell möglich. Zudem glättet es die Daten so weit, dass keine Peaks entstehen und die Ergebnisse dadurch schwerer zu interpretieren sind.

### 2.3.1.1 Klimastandort Zürich

Der Klimastandort Zürich wird als Referenzstandort gewählt, um neben den warmen Klimazonen eine mässige Klimazone mit einer Heizperiode aufzeigen zu können.

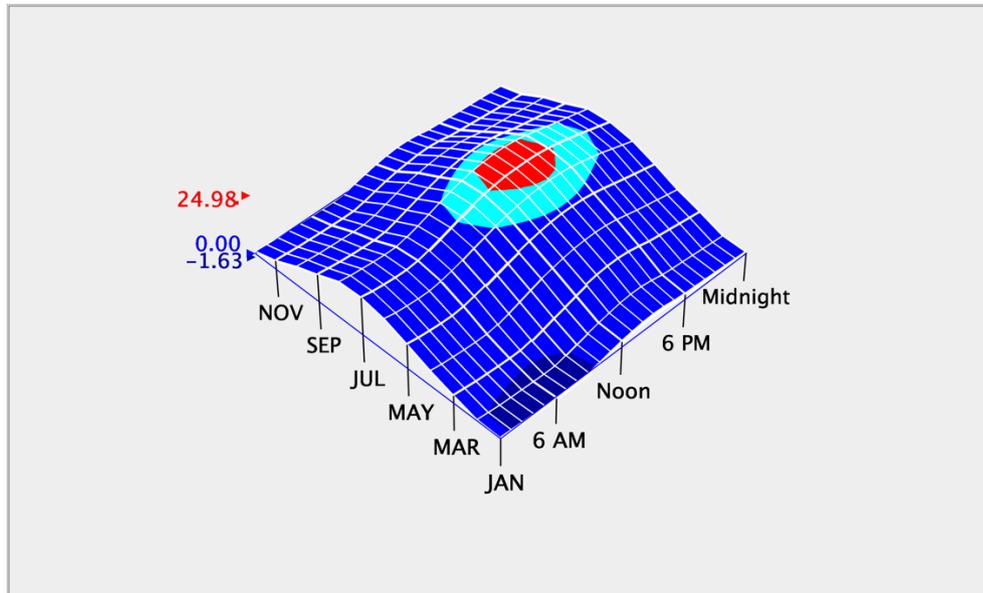


Abbildung 8: Aktuelle Temperatur Zürich

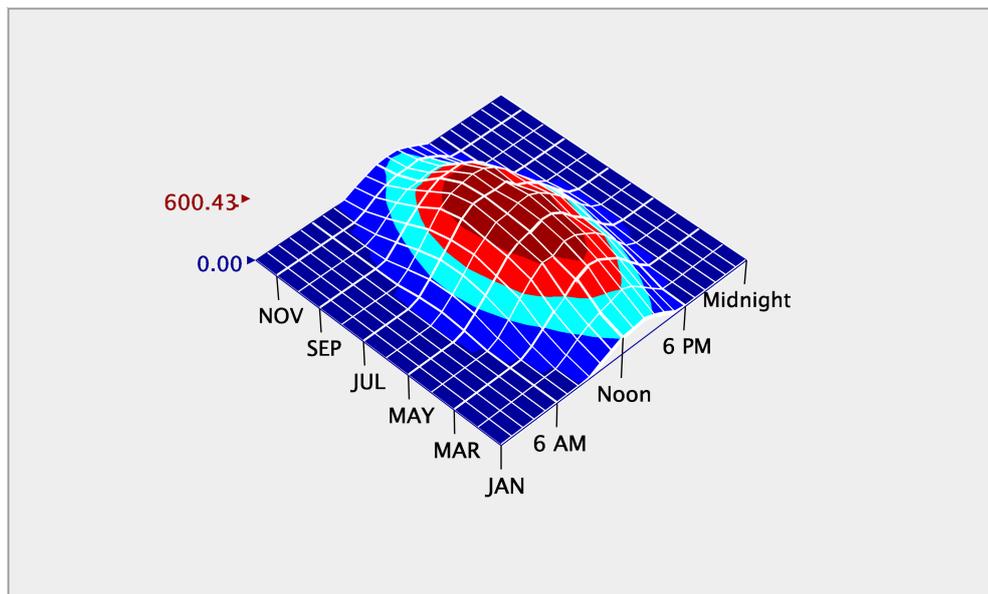


Abbildung 9: Aktuelle Globalstrahlung Zürich

<sup>7</sup> Eigene Darstellung

### 2.3.1.2 Klimastandort Los Angeles

Das Klima ist in Los Angeles das ganze Jahr über angenehm und mild. Die Mittagstemperatur beträgt von Mitte Mai bis Oktober durchschnittlich 28°C. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt zwischen 50 % und 75 %, so dass die Hitze selten unangenehm ist. Die Stadt liegt in der subtropischen Klimazone.

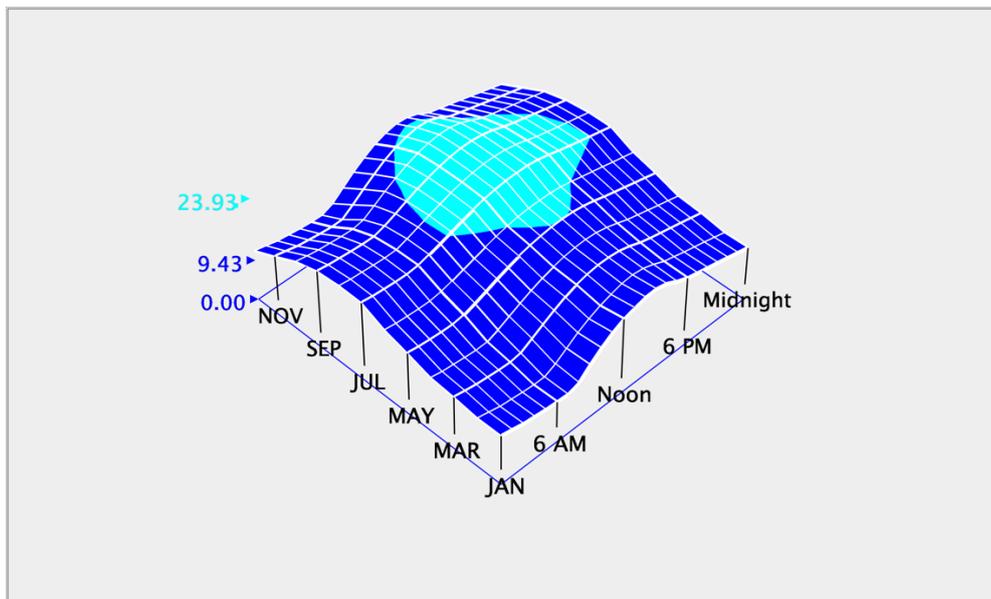


Abbildung 10: Aktuelle Temperatur Los Angeles

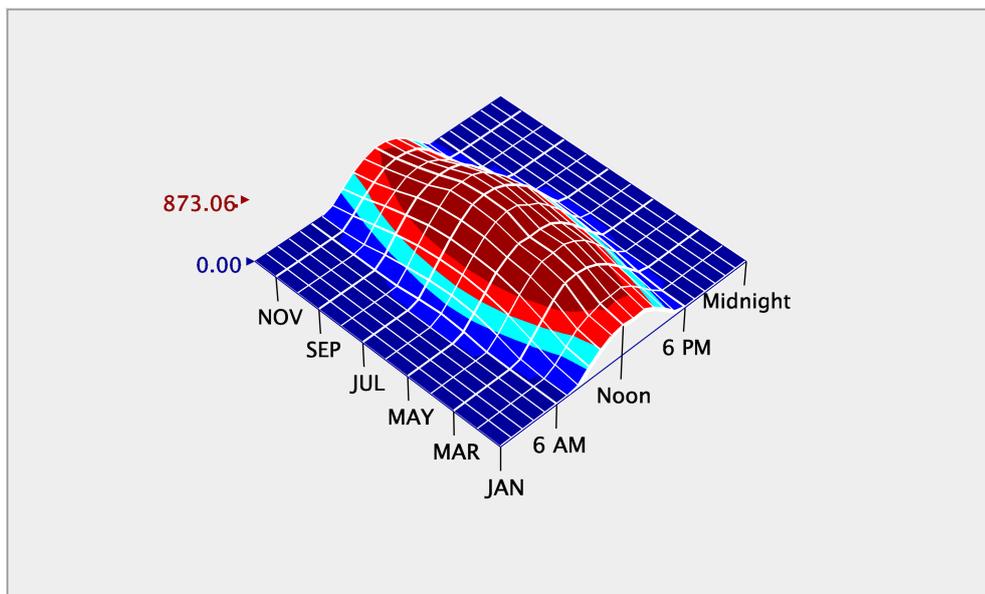


Abbildung 11: Aktuelle Globalstrahlung Los Angeles

<sup>8</sup> Eigene Darstellung

### 2.3.1.3 Klimastandort Singapur

Singapurs Nähe zum Äquator macht das Klima tropisch-feucht. Die hohe Luftfeuchtigkeit, die das ganze Jahr über besteht, ist gewöhnungsbedürftig.

Die Durchschnittstemperatur beträgt in Singapur  $26^{\circ}\text{C}$ .

Die relative Feuchtigkeit beträgt tagsüber 80–85 % und nachts bei anhaltendem Regen stellenweise 100 %.

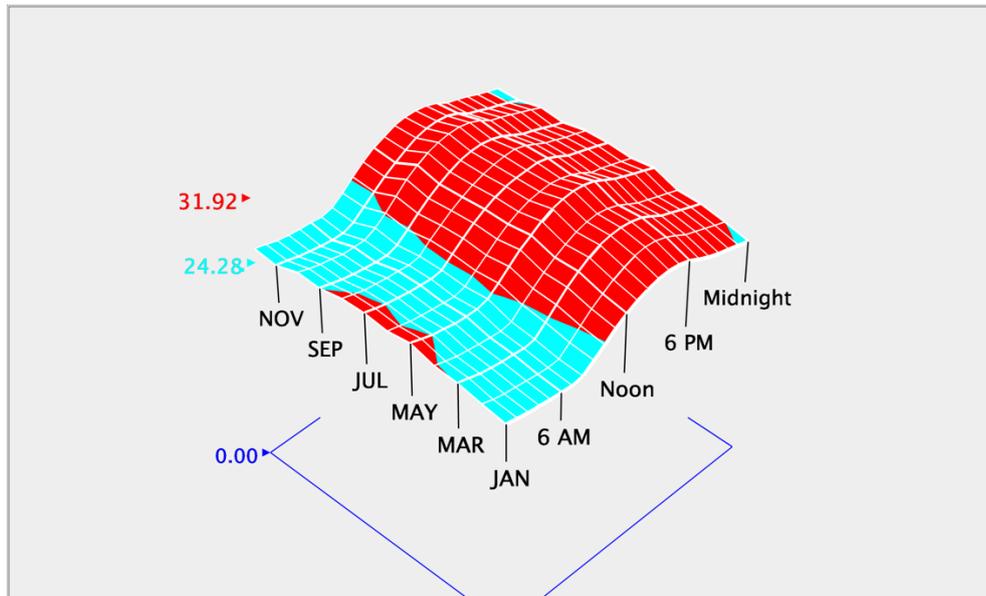


Abbildung 12: Aktuelle Temperaturen Singapur

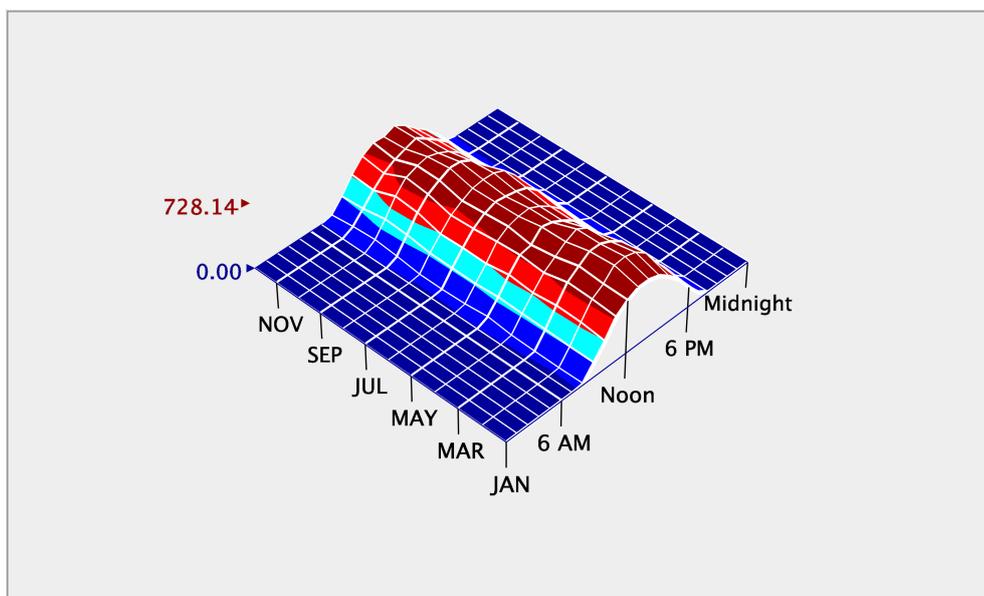


Abbildung 13: Aktuelle Globalstrahlung Singapur

<sup>9</sup> Eigene Darstellung

### 2.3.1.4 Klimastandort Dubai

Das Klima von Dubai ist subtropisch und heiß. Das ganze Jahr über fällt bei Tagestemperaturen zwischen 23 und 42°C kaum Regen.

Das Klima ist gezeichnet von einer niedrigen Luftfeuchtigkeit und kontinuierlicher Wärme bis Hitze.

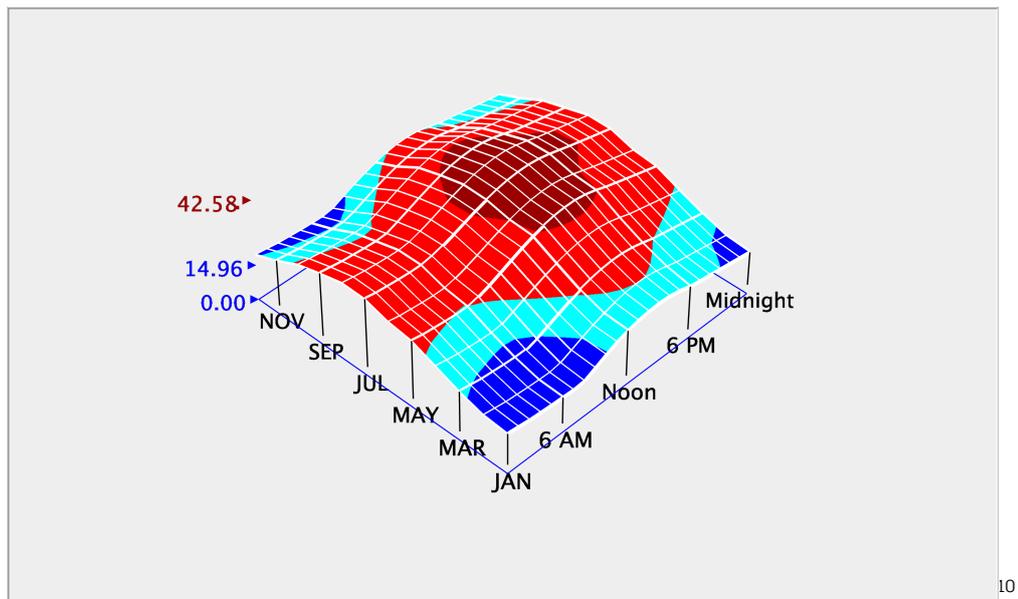


Abbildung 14: Aktuelle Temperaturen Dubai

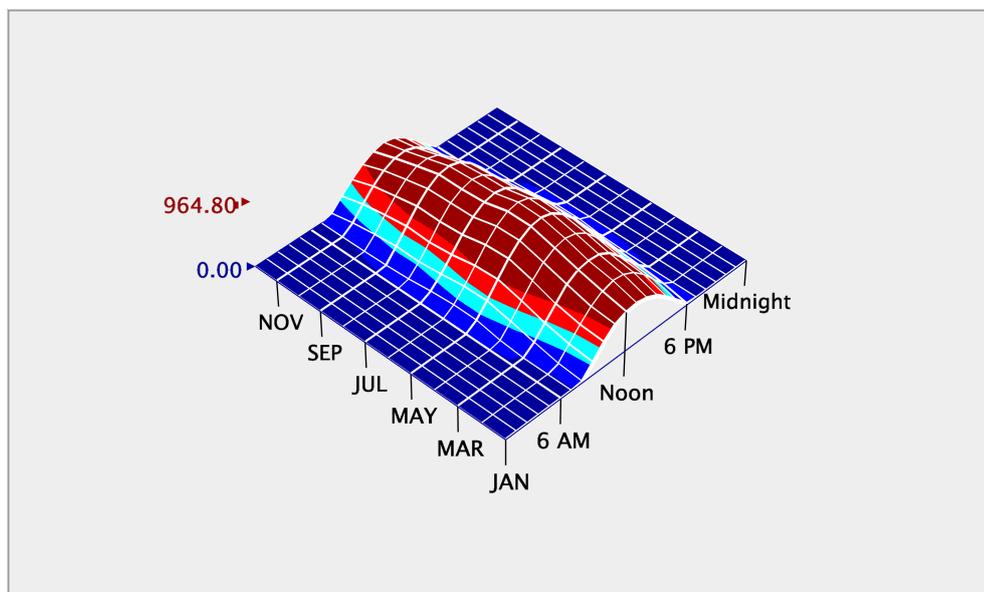


Abbildung 15: Aktuelle Globalstrahlung Dubai

<sup>10</sup> Eigene Darstellung

## 2.4 Gebäudegrundlagen

Wie bereits in den vorherigen Arbeiten (Vertiefungsmodul 1 und Vertiefungsmodul 2), so wurden auch in der vorliegenden Arbeit drei verschiedene Gebäudetypen eruiert, um Aussagen über die Nutzungsart und die Art des Gebäudes treffen zu können. Dies hat sich in beiden Arbeiten bewährt, da viele Ergebnisse stark vom Gebäudetyp abhängen.

### 2.4.1 Gebäudetyp Simple House

Der Gebäudetyp Simple House definiert ein einfaches Einfamilienhaus in einfacher Bauweise. Definiert wird das Simple House mit der Wohnnutzungsbelegung.

Folgende Kennwerte definieren das Einfamilienhaus.

Tabelle 3: Kennwerte Simple House

Beschreibung	Kennwert
Fläche	ca. 80 m <sup>2</sup>
Volumen	ca. 240 m <sup>3</sup>
Geschosse	1 Geschoss
Nutzungsart	Wohnnutzung
Verglasungsanteil	18%
Auslastung	Wohnnutzung gemäss ASHRAE oder SIA

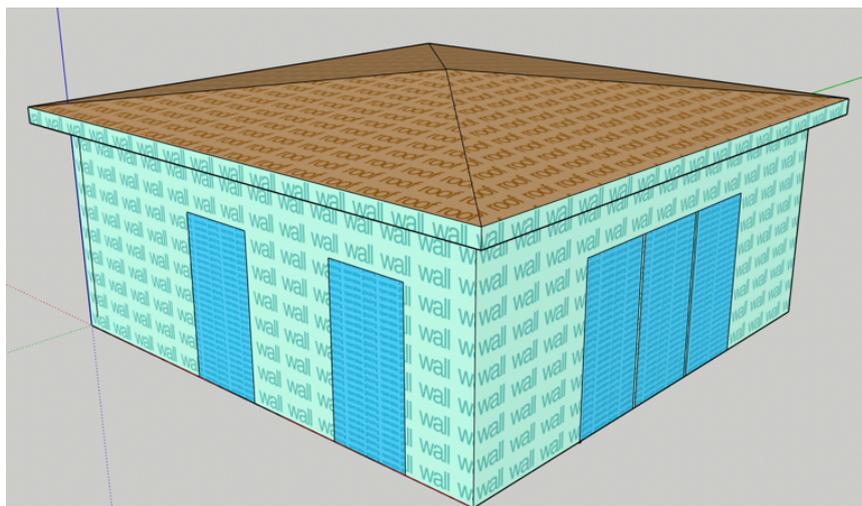


Abbildung 16: Gebäudetyp Simple House (Sefaira Output)

## 2.4.2 Gebäudetyp Apartment

Als Apartment werden Wohnungen definiert, die sich meistens in grösseren Gebäuden befinden. Dabei zählt ein Gebäude durchschnittlich 6 Apartments. Dies kann aber stark vom Standort variieren. In der Simulationssoftware werden vier Zonen modelliert (vier Stockwerke) ohne Innenwände.

Das repräsentative Mehrfamilienhaus im Beispiel besteht aus vier Stockwerken mit je einer 4.5-Zimmer-Wohnung.

Folgende Kennwerte definieren das Mehrfamilienhaus

Table 4: Kennwerte Apartment

Beschreibung	Kennwert
Fläche	ca. 320 m <sup>2</sup>
Volumen	ca. 880 m <sup>3</sup>
Geschosse	4 Geschoss
Nutzungsart	Wohnnutzung
Verglasungsanteil	23%
Auslastung	Wohnnutzung gemäss ASHRAE oder SIA

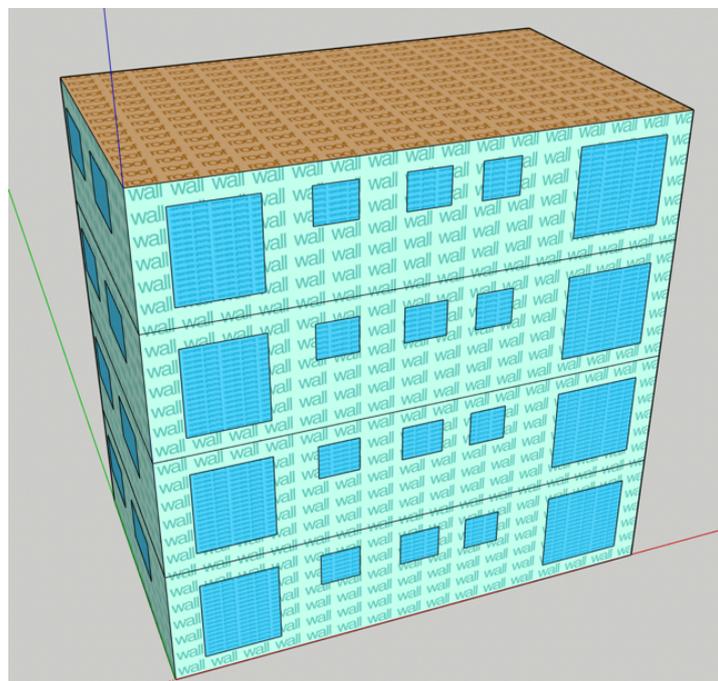


Abbildung 17: Gebäudetyp Apartment (Sefaira Output)

### 2.4.3 Gebäudetyp Office

In den letzten beiden Vorarbeiten (Vertiefungsmodul 1 und Vertiefungsmodul 2) wurde das Bürogebäude (Office) mit einem Verglasungsanteil von maximal 15 % modelliert. Um realistische Vergleiche ziehen zu können, wurde der Verglasungsanteil stark erhöht. Mit dieser Massnahme können die Ergebnisse der Simulationen einfacher verglichen werden. Darüber hinaus kann so auch der Impact der direkten Sonneneinstrahlung in warmen Klimaregionen einfacher und genauer analysiert und untersucht werden.

Im Vergleich zu den Gebäudetypen Simple House und Apartment weist der Gebäudetyp Office eine Büronutzung auf. Wichtige Merkmale wie die Belegung werden daher in den Simulationen mitberücksichtigt.

Folgende Kennwerte definieren das Bürogebäude.

Table 5: Kennwerte Office

Beschreibung	Kennwert
Fläche	ca. 3600 m <sup>2</sup>
Volumen	ca. 10800 m <sup>3</sup>
Geschosse	8 Geschoss
Nutzungsart	Büronutzung
Verglasungsanteil	45%
Auslastung	Büronutzung gemäss ASHRAE oder SIA

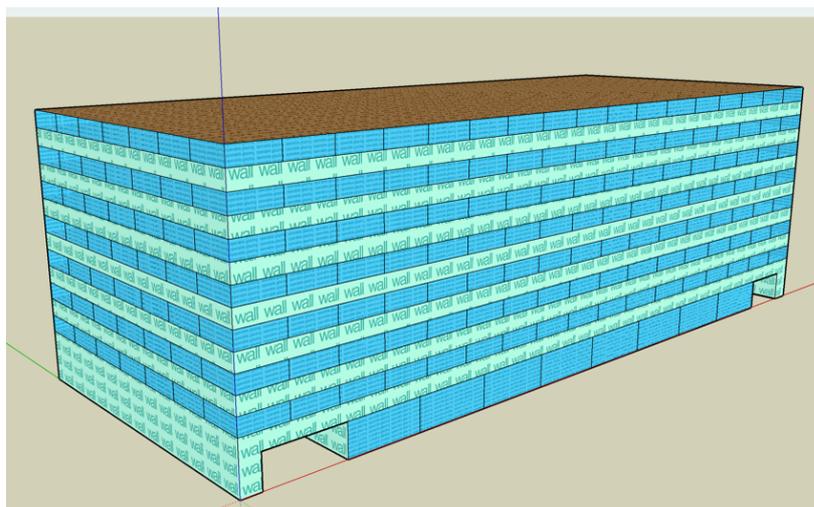


Abbildung 18: Gebäudetyp Office (Sefeira Output)

[ 3 ]

## Resultate

### 3.1 Aufbau Resultate

Mit Gebäudesimulationen (Sefaira, EnergyPlus) wird die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit ermittelt und quantifiziert (vordefinierte Standorte). Dabei werden die drei Gebäudetypen als drei verschiedene Betrachtungspunkte für die Ergebnisse angesehen.

Durch die Erkenntnisse, die sich aus den Resultaten dieser Masterarbeit ergeben, sollen die Grundlagen für Bauten in warmen Klimaregionen erweitert werden. Mittels eines Kataloges können für einfache Gebäudetypen (Simple House, Apartment, Office) fest definierte Prinzipien angenommen werden, die mit einfachen Kennzahlen hinsichtlich des Gesamtenergiebedarfes (EUI) die Prinzipien reflektieren.

Der Fokus bleibt aber auf dem Konzept der Low-Tech-Gebäude. Deshalb werden Kühlprozesse, Heizprozesse, Befeuchtungs- und Entfeuchtungsprozesse mit technischen Komponenten und Antrieben nicht mitberücksichtigt. Um eine Aussage über den Gesamtenergiebedarf in den einzelnen Gebäuden treffen zu können, werden für die analytischen Berechnungen ideale Kühl- und Heizvorgänge eingesetzt. Dadurch kann eine Aussage zum Gesamtenergiebedarf gewonnen und die einzelnen Ergebnisse können untereinander verglichen werden. Jedoch sind daraus keine Aussagen über die Kühl- oder Heizleistung von Komponenten abzuleiten.

## 3.2 Analyse RCP Szenarien

Um die Veränderung des Klimas an den einzelnen Klimastandorten / Klimazonen deutlich machen zu können, wurde das Klima in vier einzelne Eigenschaften unterteilt. Verglichen werden die einzelnen Klimastandorte mit folgenden Parametern:

- Aussenlufttemperatur (Trockenkugeltemperatur) in °C
- Feuchtigkeit der Luft in %
- Globalstrahlung (globale horizontale Einstrahlung) in Wh / m<sup>2</sup>
- Bewölkung in Bedeckungsprozenten %

Verglichen werden jeweils die aktuellen Wetterdaten mit den RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5. Als Betrachtungszeitraum für die Klimaprognosen sind die Jahre 2050 und 2100 definiert. Viele Wetterdatenquellen wie zum Beispiel Meteonorm bieten nur Prognosen bis ins Jahr 2100 an. Prognosen über das Jahr 2100 hinaus sind zurzeit noch zu ungenau und bieten daher keine aussagekräftige Antwort auf die Frage nach dem Klima der ferneren Zukunft.

Eine Übersicht mit allen Klimadaten (aktuell, RCP 2.6 – 2050, RCP 2.6 – 2100, RCP 4.5 – 2050, RCP 4.5 – 2100, RCP 8.5 – 2050 und RCP 8.5 – 2100) befindet sich im Anhang.

### 3.2.1 Klimastandort Zürich

Im Zuge des Klimawandels ändert sich auch das Klima in der Schweiz. Besonders wärmere Regionen sind davon stärker betroffen und bekommen den Klimawandel früher zu spüren. Deshalb ist es auch wichtig, den Blick so früh wie möglich auf warme Klimaregionen zu richten.

Im Folgenden werden die Parameter Temperatur und Bewölkung für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 analysiert und mit den aktuellen Wetterdaten von Zürich verglichen.

#### RCP 4.5 Szenario

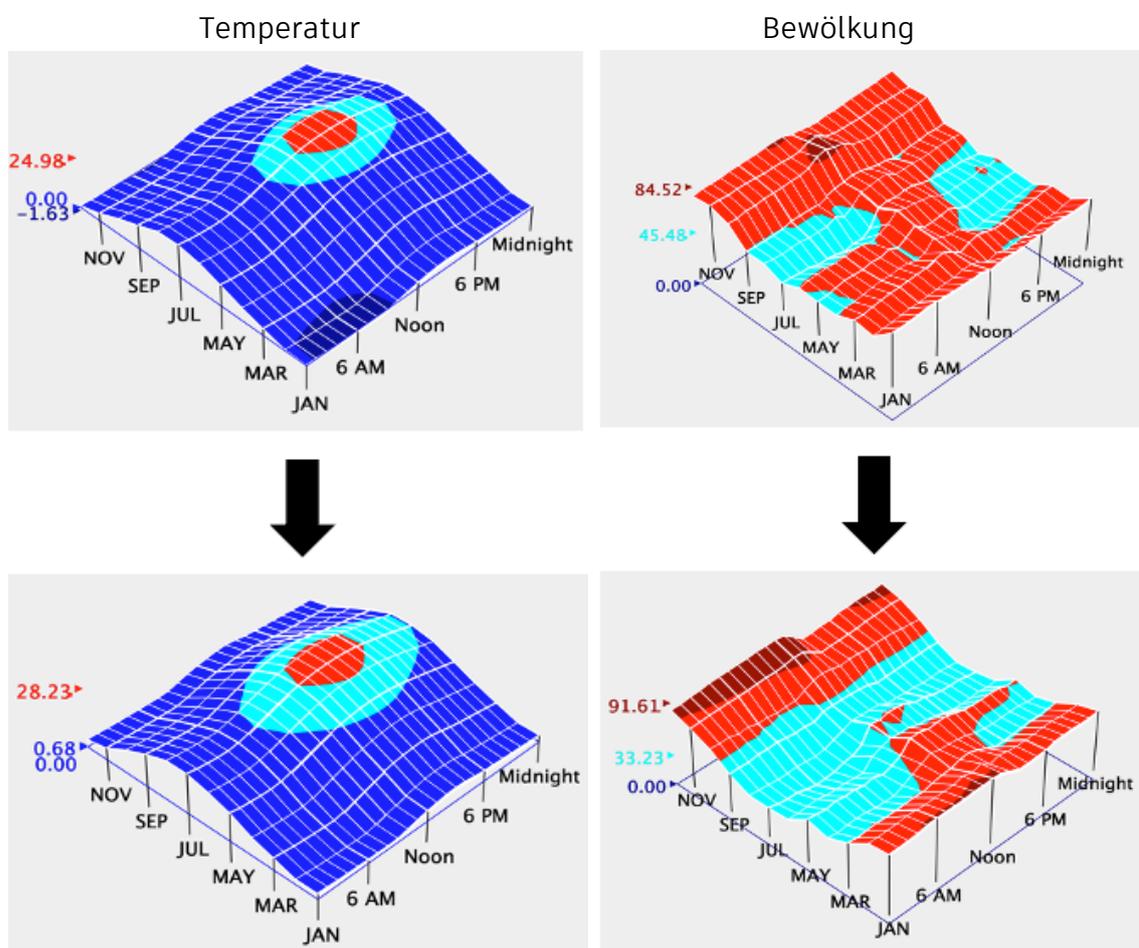


Abbildung 19: Analyse RCP 4.5 – Zürich

Verglichen mit den aktuellen Klimadaten und dem Szenario RCP 4.5, steigt die Temperatur im Jahre 2100 im Durchschnitt um 3K. Vor allem die Sommermonate (Mai bis Oktober) sind deutlich vom Klimawandel geprägt.

Mit den Emissionsveränderungen in der Zukunft wird sich auch das Wetter hinsichtlich der Bewölkung stark verändern. Diese Vorhersagen wurden aufgrund von mehreren Parametern (Temperatur, Ozonschicht, CO<sub>2</sub>-Konzentration, Feuchtigkeit etc.) getätigt.

Verglichen mit der heutigen Bewölkung am Klimastandort Zürich, wird es im Zeitraum März bis Oktober weniger Bewölkung (Bedeckungsprozente) in den Mittagsstunden geben. Die Monate November, Dezember und Januar zeigen dagegen im Vergleich mit dem heutigen Wetter eine stärkere Bewölkung.

### RCP 8.5 Szenario

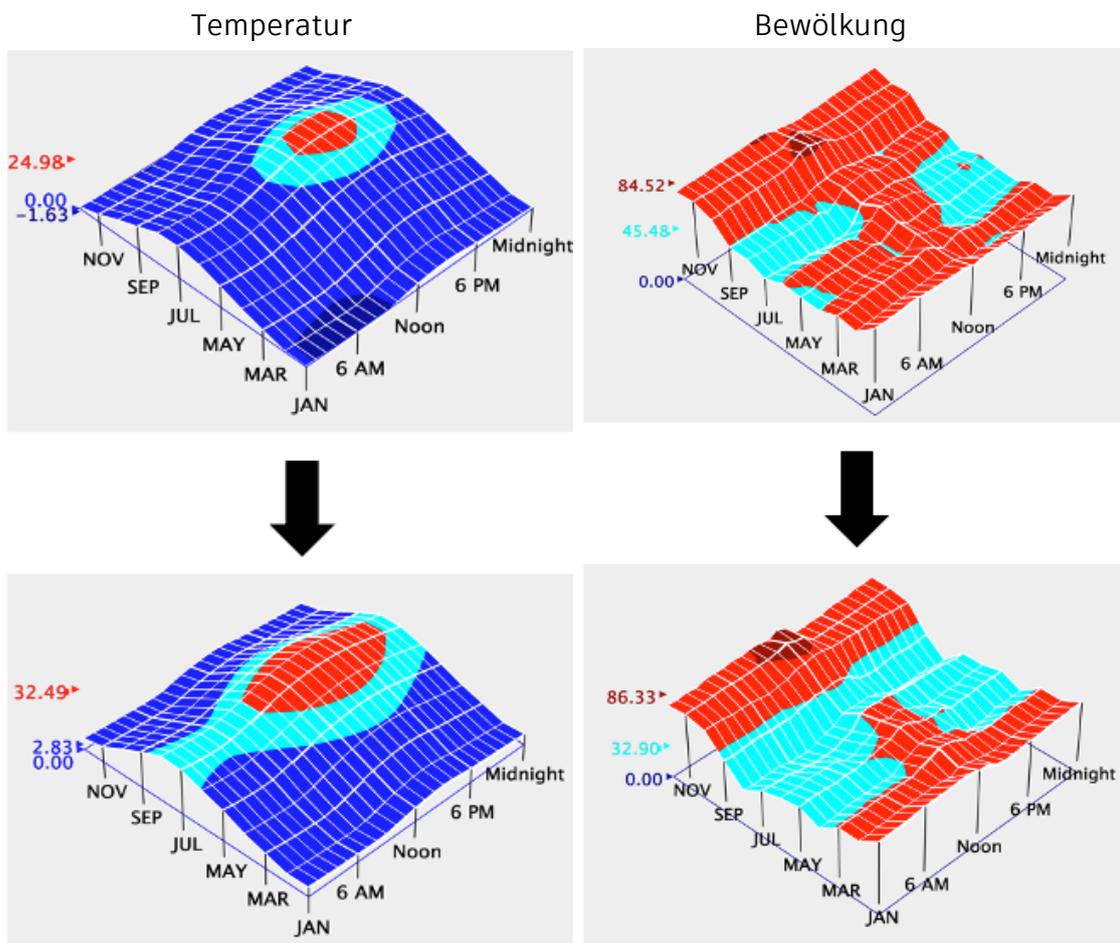


Abbildung 20: Analyse RCP 8.5 – Zürich

Bei diesem Szenario wird kein weltweiter Klimaschutz betrieben. Dies macht sich auch bei den Temperaturen in Zürich bemerkbar. Die Temperatur steigt im Jahr 2100 um fast 6K. Zudem werden deutlich mehr heiße Tage in den Sommermonaten zu verzeichnen sein. Ferner wird sich der Klimawandel auch in der Bewölkung bemerkbar machen, die Dichte der Wolken / Bewölkung wird sich massiv reduzieren (vor allem in den Sommermonaten). Die Wintermonate werden ähnlich bleiben (prozentuale Bewölkung).

### 3.2.2 Klimastandort Los Angeles

Im Folgenden werden die Parameter Temperatur und Bewölkung für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 analysiert und mit den aktuellen Wetterdaten von Los Angeles verglichen.

#### RCP 4.5 Szenario

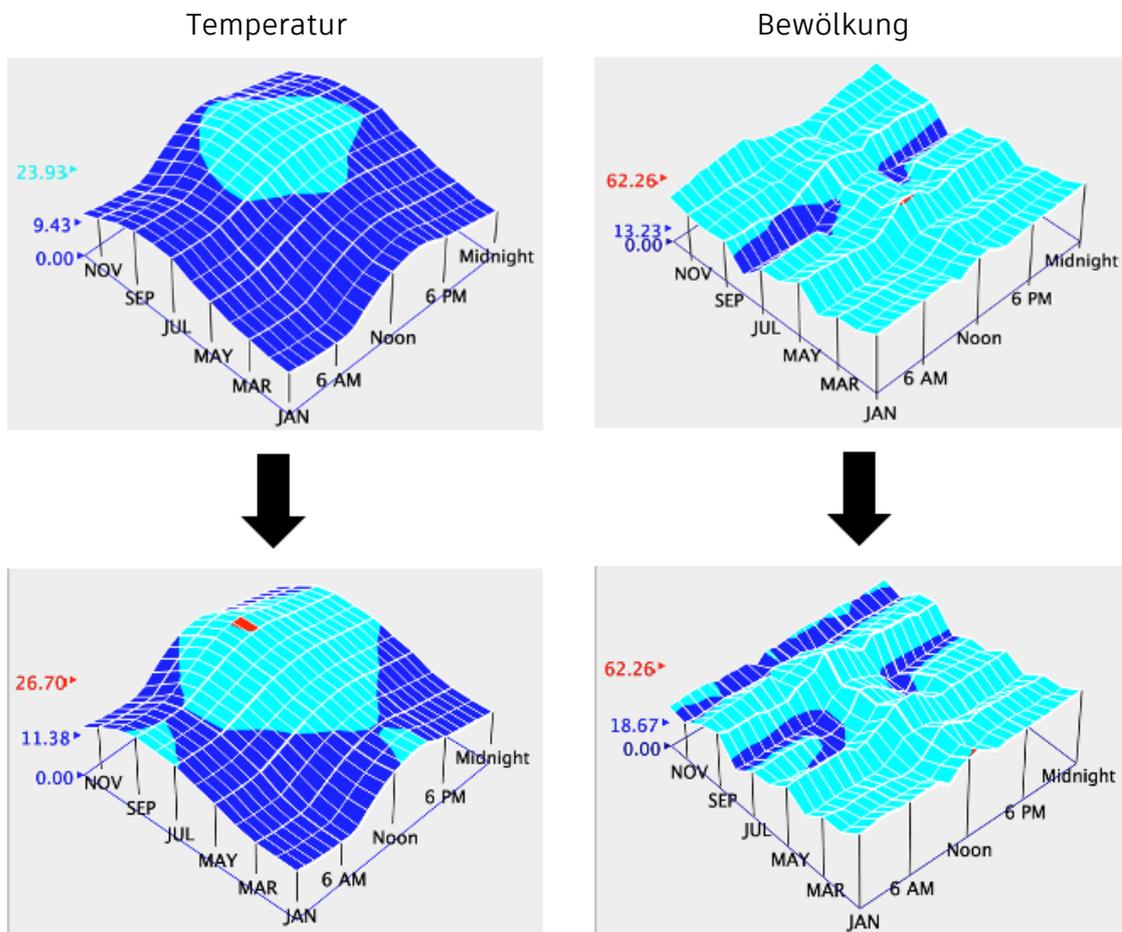


Abbildung 21: Analyse RCP 4.5 – Los Angeles

Der Temperaturverlauf zeigte eine deutliche Erhöhung der Durchschnittstemperatur vor allem in den Herbstmonaten. Dadurch werden deutlich weniger Heitztage im Jahre 2100 aufgezeichnet werden. Im Vergleich zum Klimastandort Zürich wird die Höchsttemperatur am Tag erst um ca. 17:00 Uhr erreicht sein. Dadurch sind auch die Nächte dementsprechend wärmer.

Bei der Dichte der Bewölkung sind im RCP 4.5-Szenario keine grossen Veränderungen festzustellen. Eine Ausnahme bildet der Dezember, in dem die Bewölkungsdichte leicht ansteigen wird. Dadurch könnte sich auch die Anzahl der Niederschlagstage erhöhen.

## RCP 8.5 Szenario

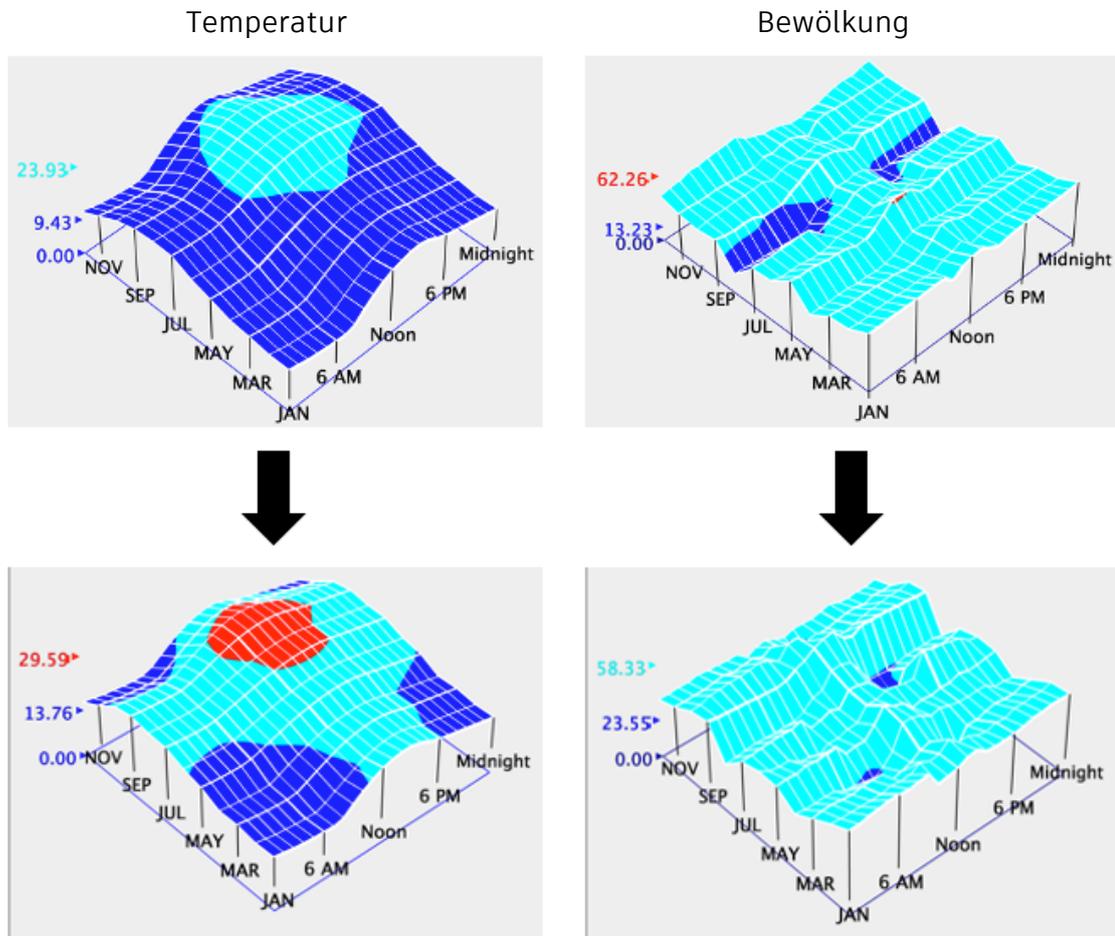


Abbildung 22: Analyse RCP 8.5 – Los Angeles

Mit einer durchschnittlichen Höchsttemperatur (keine Peaks im Diagramm ersichtlich, daher kann die Temperatur vereinzelt höher liegen) von fast 30°C in den Monaten August und September beträgt der Unterschied zum RCP 4.5-Szenario fast 3K. Zudem werden die Nächte weniger ausgekühlt und die Durchschnittstemperatur über den ganzen Tag steigt um 1.5K (Vergleich RCP 4.5-Szenario).

Bei der Dichte der Bewölkung pendelt sich der durchschnittliche Wert über das ganze Jahr hindurch auf ca. 55 % ein. Dabei können keine grossen Abweichungen oder Peaks festgestellt werden. Dadurch ist auch die direkte Sonneneinstrahlung gesehen auf das ganze Jahr sehr ausgeglichen.

Durch die gleichmässige Verteilung der Bewölkung über das Jahr hindurch sind auch keine Regenperioden aufzuzeichnen.

### 3.2.3 Klimastandort Singapore

Im Folgenden werden die Parameter Temperatur und Bewölkung für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 analysiert und mit den aktuellen Wetterdaten von Singapore verglichen.

#### RCP 4.5 Szenario

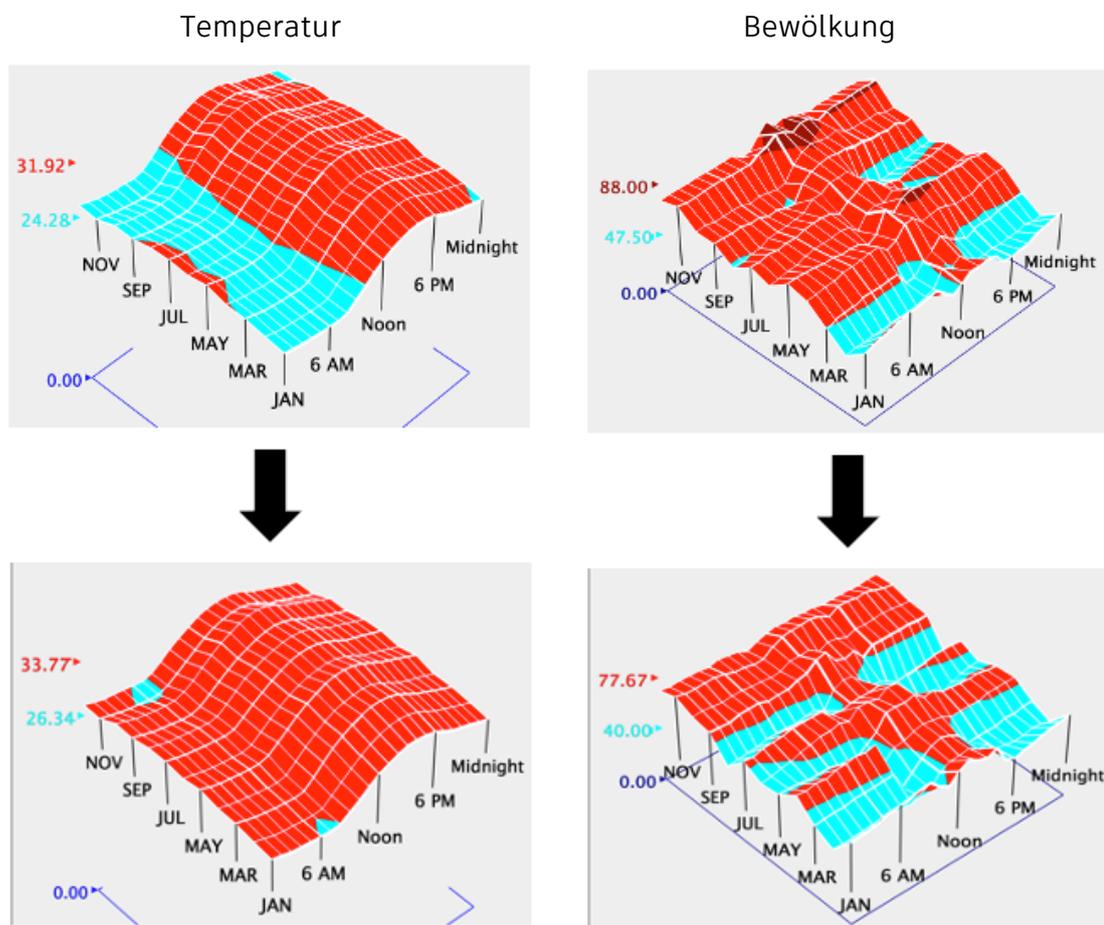


Abbildung 23: Analyse RCP 4.5 – Singapore

Der Temperaturverlauf am Klimastandort Singapore bleibt verglichen mit dem aktuellen Wetter und dem RCP 4.5-Szenario ähnlich aufgebaut. Die Höchsttemperatur im Verlauf des Tages wird um ca. 15:00 Uhr gemessen. Die Temperatur steigt durchschnittlich im Jahre 2100 (RCP 4.5-Szenario) um 2-3K.

Singapore verzeichnet aktuell das ganze Jahr über eine sehr grosse Bewölkungsdichte. Zwischen Januar und März wird eine Reduzierung der Dichte festgehalten. Mit dem RCP 4.5-Szenario wird sich auch die Bewölkung anpassen. Über den Durchschnitt gesehen, werden weniger Bedeckungsprozente an Bewölkung aufgezeichnet.

RCP 8.5 Szenario

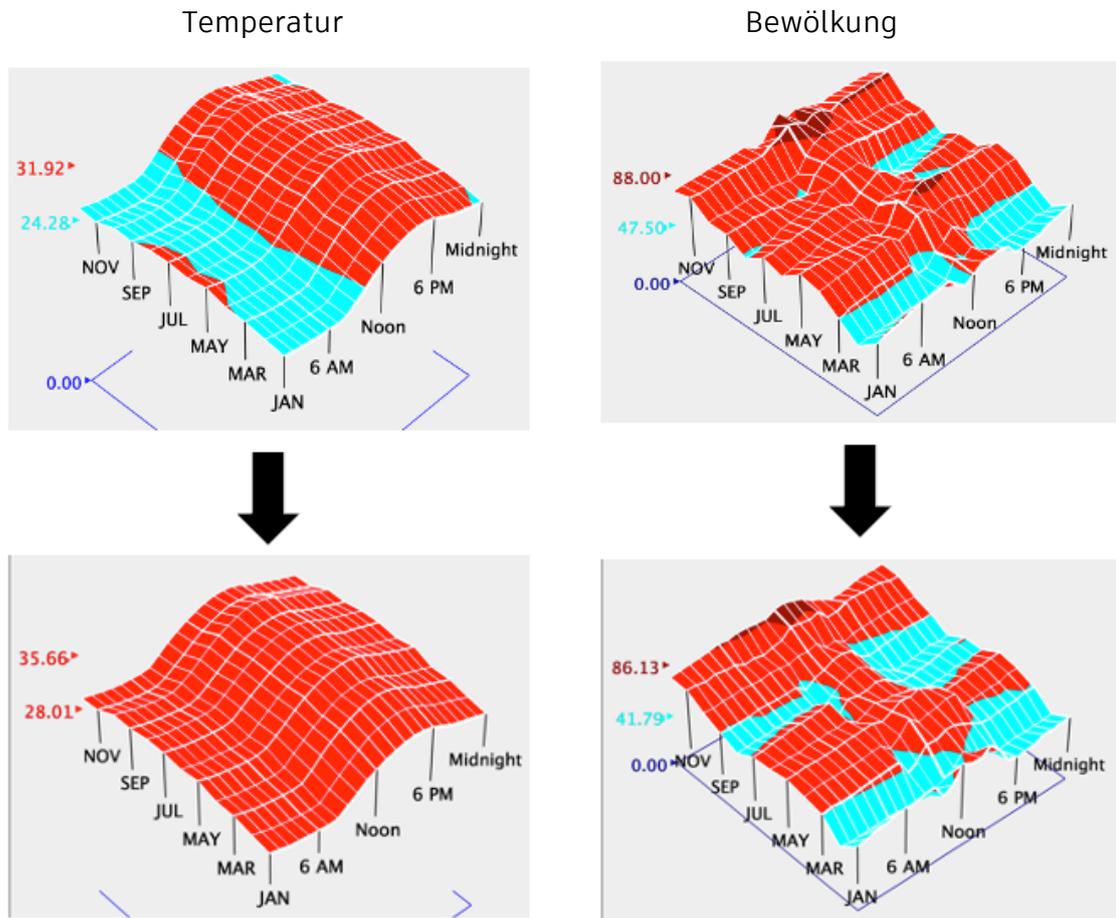


Abbildung 24: Analyse RCP 8.5 – Singapore

Durchschnittlich steigt die Temperatur im Vergleich zum aktuellen Klima um 5K und zum RCP 4.5-Szenario aus dem Jahre 2100 um 3K. Die Verteilung der Bewölkung über das ganze Jahr hindurch bleibt ähnlich wie im RCP 4.5-Szenario.

### 3.2.4 Klimastandort Dubai

Im Folgenden werden die Parameter Temperatur und Bewölkung für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 analysiert und mit den aktuellen Wetterdaten von Dubai verglichen.

#### RCP 4.5 Szenario

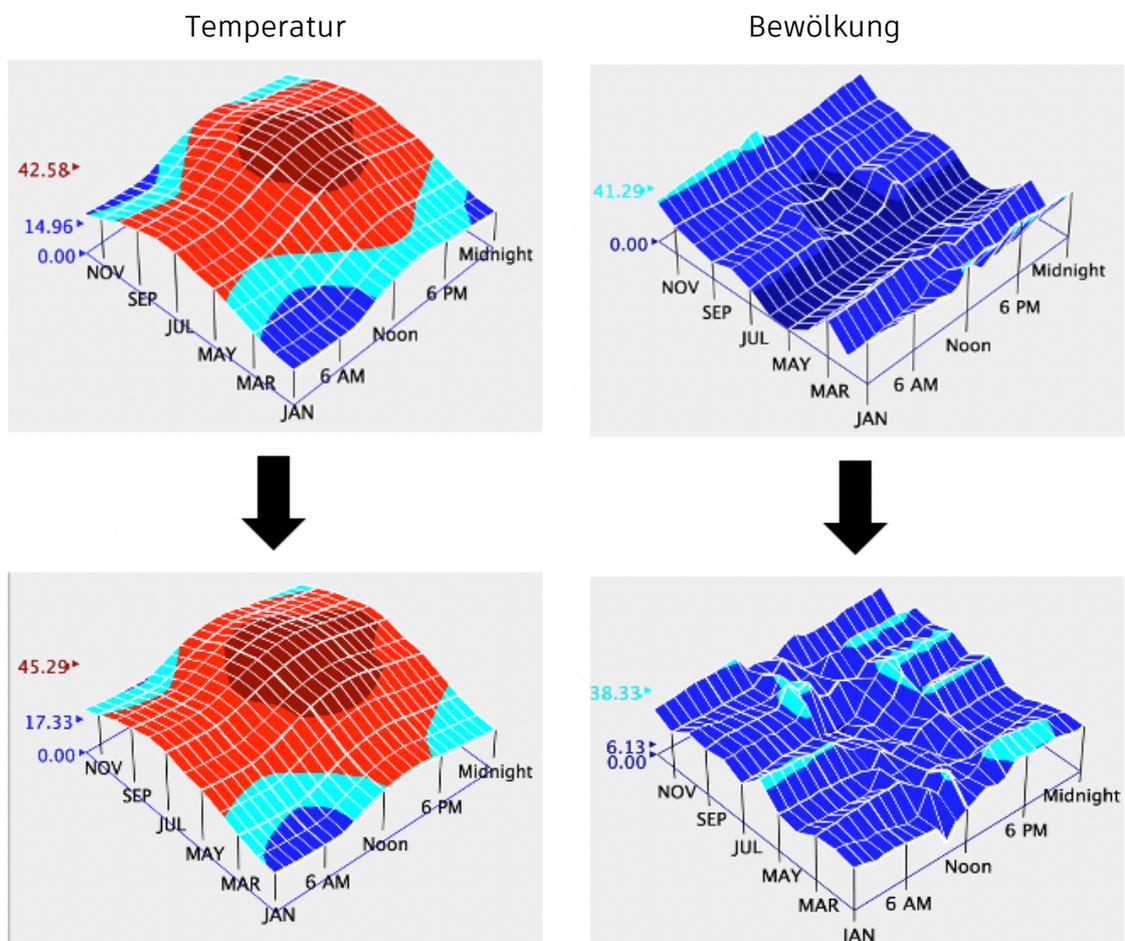


Abbildung 25: Analyse RCP 4.5 – Dubai

Der Klimastandort Dubai misst tagsüber sehr hohe Lufttemperaturen. In der Nacht kühlt sich die Aussenluft stark ab und Temperaturen bis 15°C können in der Nacht gemessen werden. Durch diese grossen Unterschiede zwischen Tag und Nacht entsteht eine sehr grosse Eigendynamik im Wettersystem. Somit sind Nachtauskühlungen von Gebäuden ein drängendes Thema in Ländern und Städten mit einer solchen Klimaaufzeichnung. Die höchsten Temperaturen werden in den Monaten August und September zwischen 12:00 Uhr und 13:00 Uhr gemessen. Die Bewölkung ist in Dubai auf einem tiefen Niveau (Dichte). Der Wert beträgt durchschnittlich ca. 30 %. Mit den Daten aus dem RCP 4.5-Szenario wird sich der Wert nicht wesentlich verändern.

## RCP 8.5 Szenario

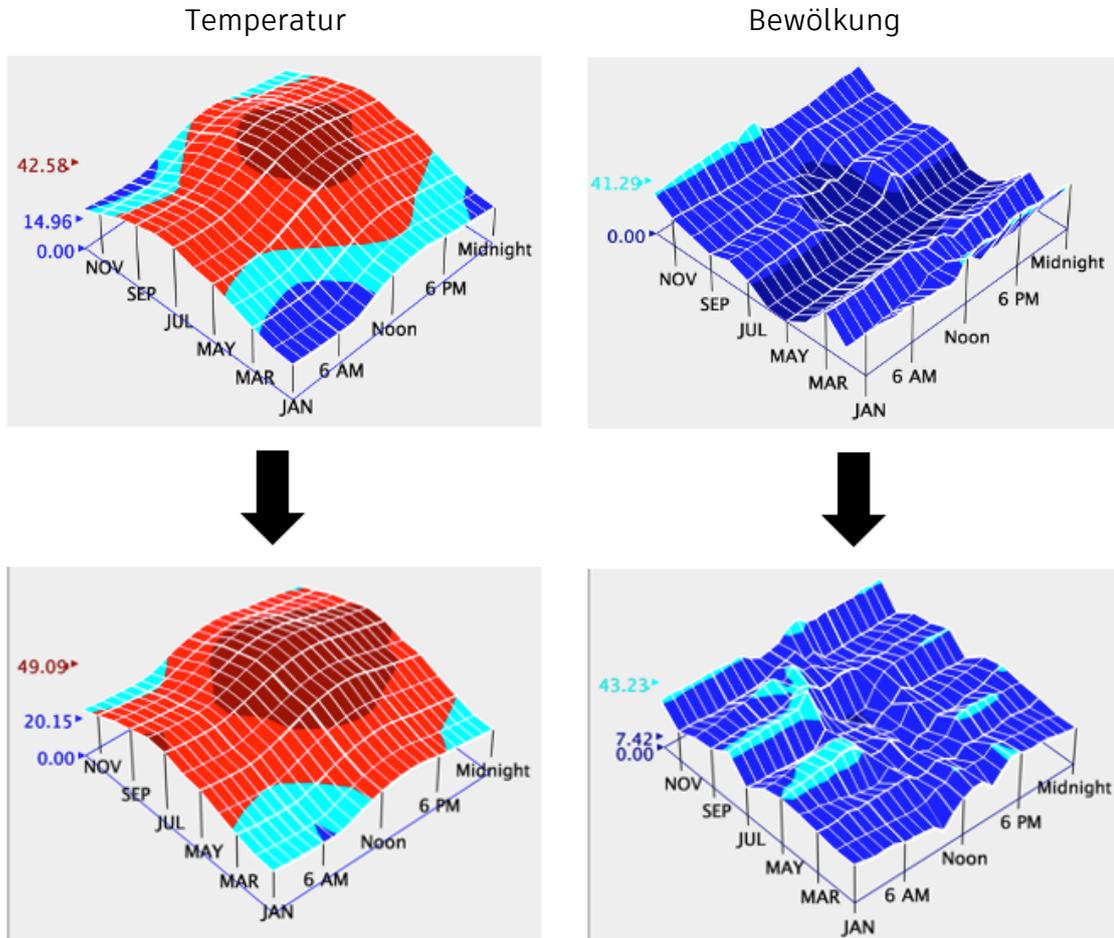


Abbildung 26: Analyse RCP 8.5 – Dubai

Die Dichte der Bewölkung weist keine grossen Veränderungen gegenüber dem Szenario RCP 4.5 auf.

Die Durchschnittstemperatur der Aussenluft steigt um 3K (verglichen mit dem RCP 4.5-Szenario aus dem Jahre 2100). Die maximale Temperatur beträgt (ohne Peaks) 49°C.

Diese wird in den Monaten zwischen Juli und September um ca. 15:00 Uhr erreicht.

Durch die sehr tiefe Dichte der Bewölkung ist auch die Niederschlagsmenge sehr gering (verglichen mit Singapore).

### 3.3 Analyse Gesamtenergiebedarf (EUI)

Die verschiedenen Massnahmen beeinflussen den Heiz- und / oder Kühlenergiebedarf unterschiedlich. Relevant ist schlussendlich, ob die gewählte Massnahme den totalen Gesamtenergiebedarf senken kann. Der EUI (Energy Use Intensity) ist ein spezifischer elektrischer Energiebedarf in kWh / m<sup>2</sup> / a und umfasst, neben der Heiz- und Kühlenergie, den Energieverbrauch von Geräten, Leuchten und weiteren HLK-Komponenten.

Mit dem Gesamtenergiebedarf wird im nachfolgenden Kapitel die Abhängigkeit der zu treffenden Massnahmen von den Klimadaten (mit RCP-Szenarien) aufgezeigt. Verändert wird jeweils nur ein Parameter (g-Wert Verglasung, U-Wert Fassade, Verschattung). Die restlichen Parameter sind gemäss der ASHRAE 55-Norm vordefiniert.

Um eine einfache Vergleichsbasis zu schaffen, wurden die Diagramme als Vergleichsdiagramme (die y-Achse ist bei allen Diagrammen gleich) und Detaildiagramme (die y-Achse wurde so angepasst, dass die Ergebnisse einfach zu herleiten sind) dargestellt. Alle Diagramme und Abbildungen sind im Anhang in Originalgrösse vorhanden.

Simuliert werden jeweils drei Gebäudetypen an vier verschiedene Klimastandorten weltweit. Jeder Simulationsdurchlauf wird mit einem der drei RCP-Szenarien und jeweils einem Betrachtungszeitraum (2050 oder 2100) durchgeführt. Dabei werden jeweils drei integrierte Simulationsergebnisse (g-Wert Verglasung, U-Wert Fassade und Verschattung) mit eingerechnet. Gesamthaft wurden für diese Arbeiten ca. 250 bis 300 Gebäudesimulationen getätigt.

Dargestellt werden im Bericht nur die Gebäudetypen Simple House und Office. Alle Diagramme inkl. dem Gebäudetyp Apartment sind im Anhang aufgeführt.

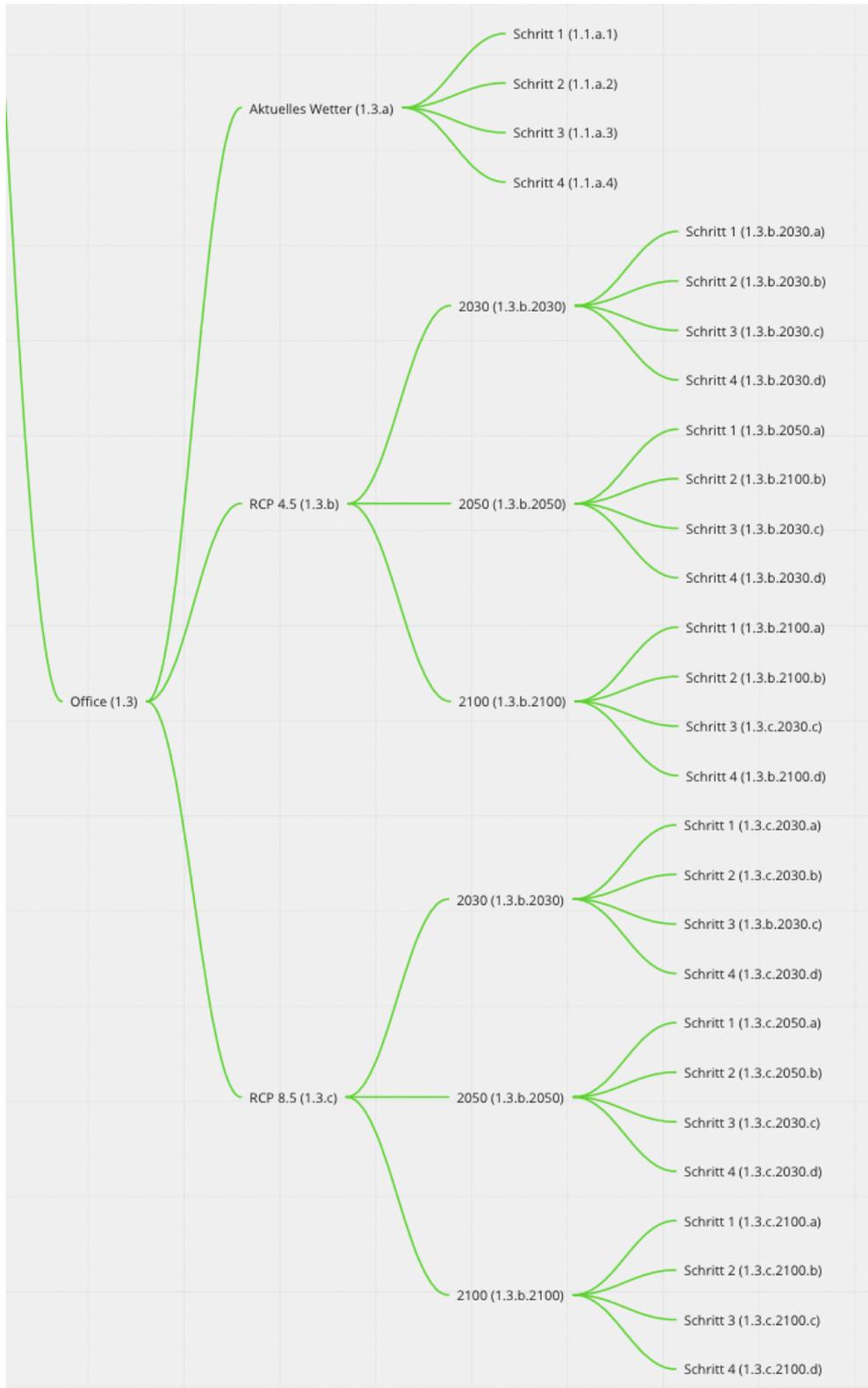


Abbildung 27: Simulationsmatrix Masterthesis

### 3.3.1 Klimastandort Zürich

Ermittelt wurde mit einer Parameterstudie der Gesamtenergiebedarf am Klimastandort Zürich. Alle Ergebnisse werden als EUI Faktor definiert.

#### 3.3.1.1 Gebäudetyp Simple House

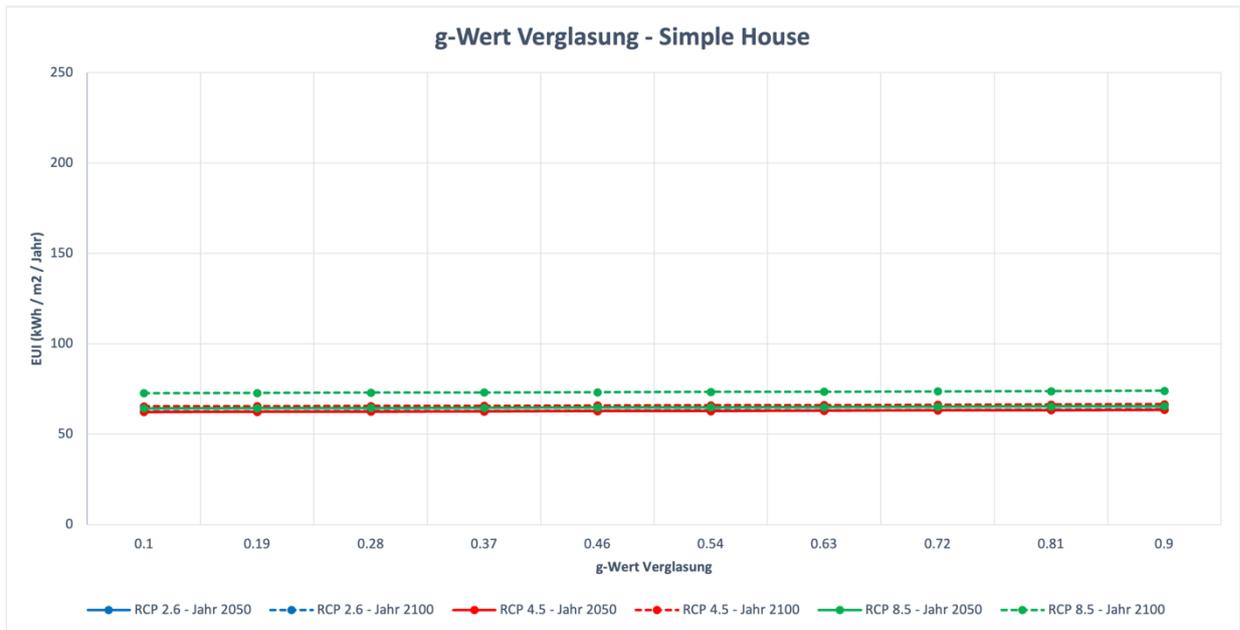


Abbildung 28: g-Wert Verglasung - Simple House - Zürich

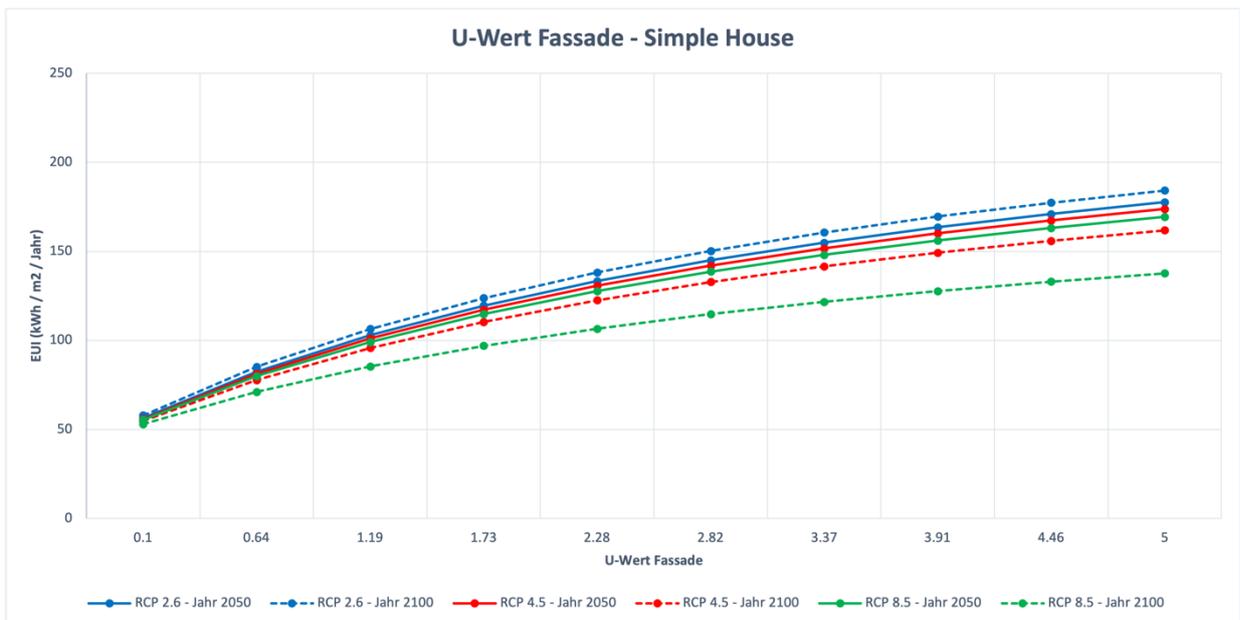


Abbildung 29: U-Wert Fassade - Simple House - Zürich

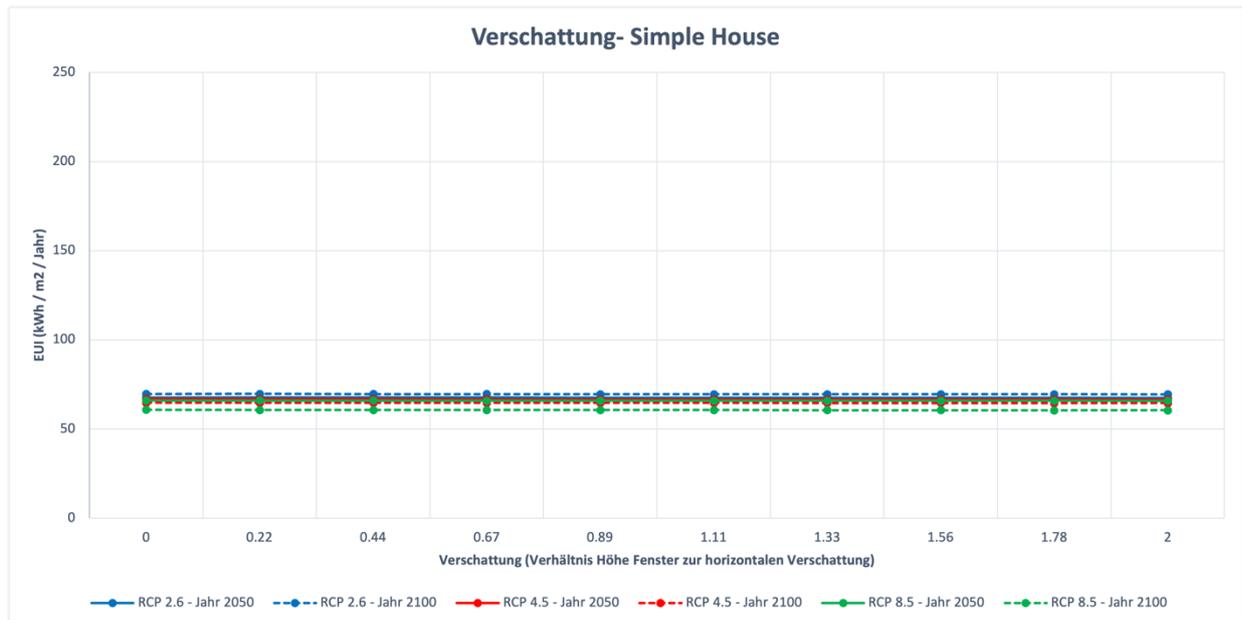


Abbildung 30: Verschattung - Simple House - Zürich

### g-Wert Verglasung

Das Einfamilienhaus (als Simple House definiert) zeigt keine Abhängigkeit zu den veränderbaren Parametern hinsichtlich des g-Wertes der Verglasung und der horizontalen Verschattung. Die RCP Szenarien zeigen bei den beiden Parametern (g-Wert und Verschattung) keine Veränderungen. Durch die grosse Dichte an der Bewölkung (Jahresdurchschnitt) fehlen dem Einfamilienhaus (kleine Fensterflächen, kleines Verhältnis Verglasung zu Fassade) die direkten Solareinstrahlungen, welches das Gebäude im Sommer sowie im Winter aufheizt.

### U-Wert Fassade

Beim U-Wert der Fassade verändert sich der Gesamtenergiebedarf in Abhängigkeit zu den veränderbaren Parametern (U-Wert). Bei einem U-Wert von 0.1 W/m<sup>2</sup>K werden keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit den aktuellen Wetterdaten und den RCP Daten festgestellt. Ab einem U-Wert von 0.2 W/m<sup>2</sup>K, verlaufen alle Kennlinie (aktuelle Wetterdaten und RCP Szenarien) ähnlich. Die einzige Ausnahme bildet die Kennlinie mit dem RCP Szenario 8.5 für das Betrachtungsjahr 2100. Dieses zeigt einen grösseren Unterschied im Verlauf auf als die restlichen Daten.

Zudem ist im RCP 2.6 Szenario mit dem Betrachtungsjahr 2100 gut ersichtlich, die vorprognostizierte Erholung (gemäss Bericht IPCC) des Klimawandels. Hier zeigt sich der Fall, dass bei einer schlecht gedämmten Fassade der Gesamtenergiebedarf ansteigen wird, da bei diesem RCP Szenario mehr Heitztage vorausgesetzt werden müssen.

### Verschattung

Das Einfamilienhaus (als Simple House definiert) zeigt keine Abhängigkeit zu den veränderbaren Parametern hinsichtlich des g-Wertes der Verglasung und der horizontalen Verschattung. Die RCP Szenarien zeigen bei den beiden Parametern (g-Wert und Verschattung) keine Veränderungen.

### 3.3.1.2 Gebäudetyp Office

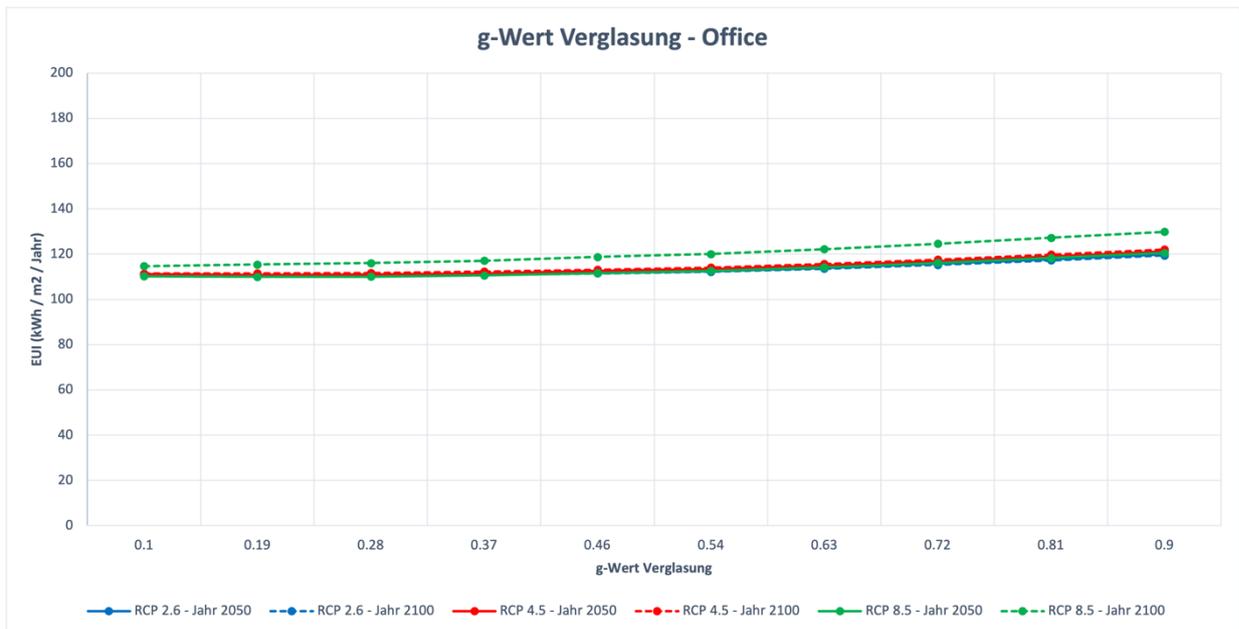


Abbildung 31: g-Wert Verglasung - Office - Zürich

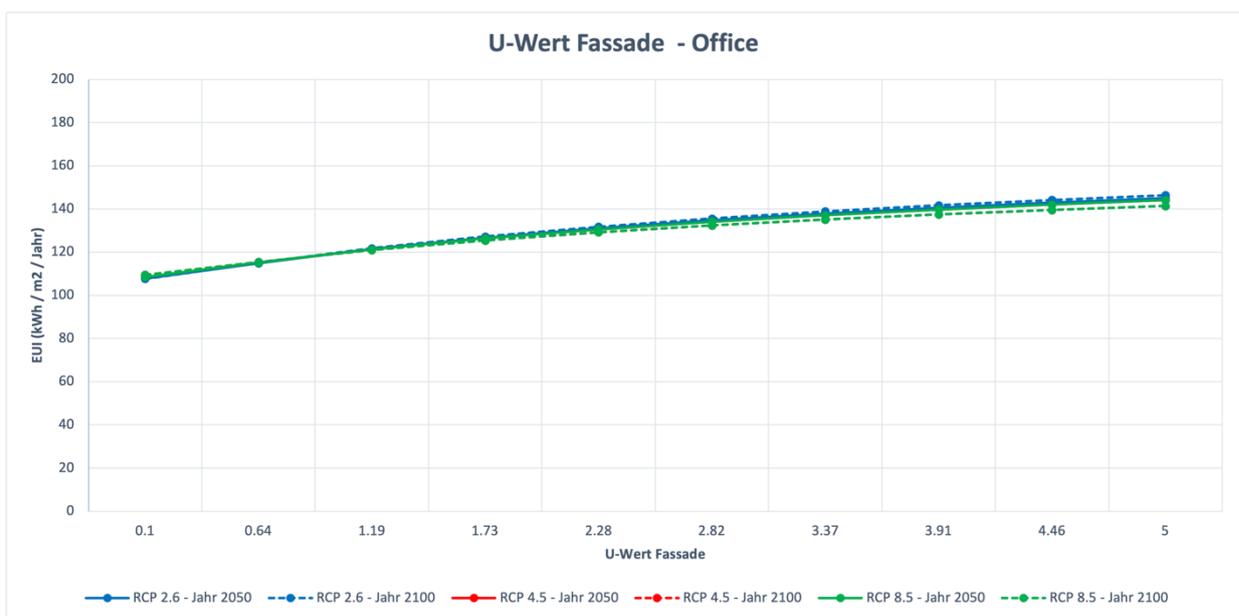


Abbildung 32: U-Wert Fassade - Office - Zürich

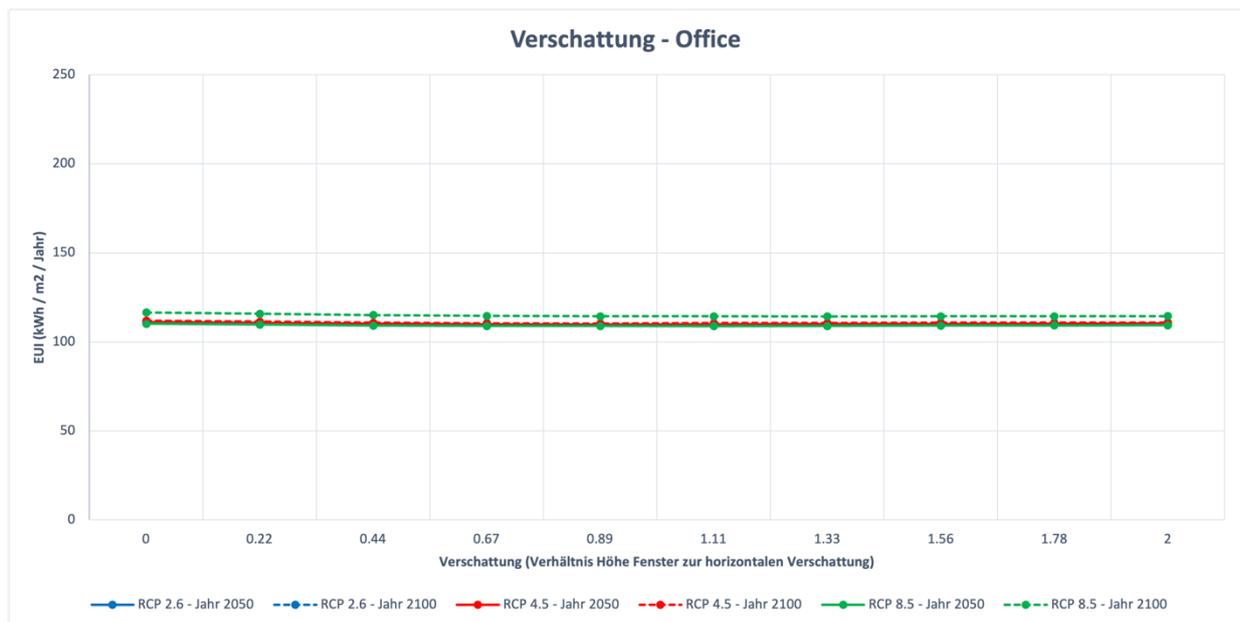


Abbildung 33: Verschattung - Office - Zürich

### g-Wert Verglasung

Beim Gebäudetyp Office zeigt sich im Vergleich zum Simple House eine leichte Abhängigkeit der zu veränderbaren Parameter. Von einem g-Wert von 0.1 bis ca. 0.5 verläuft die Kennlinie horizontal. Ab einem g-Wert von 0.5 wird eine leichte Steigung erkennbar. Durch das grössere Verhältnis (Verglasung zu Fassade) werden mehr Solarerträge im Gebäude wahrgenommen und dadurch entsteht ein Kühlbedarf, welcher abgedeckt werden muss.

### U-Wert Fassade

Die Kennlinien zur Fassade (U-Wert Fassade) steigt proportional zum Anstieg des U-Wertes. Der prozentuale Anstieg zwischen dem U-Wert von 0.1 bis 5.0 beträgt 60%. Dieser Effekt ist vor allem den kalten Wintermonaten zuzuschreiben. In den Wintermonaten entsteht ein grösserer Temperaturunterschied, zwischen Innentemperatur und Aussen-temperatur, dadurch ist eine Verschlechterung des U-Wertes der Fassade deutlich auf den Gesamtenergiebedarf zurückzugreifen (notwendiger Heizbedarf).

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit zum gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien) auf. Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort definiert.

### 3.3.2 Klimastandort Los Angeles

Ermittelt wurde mit einer Parameterstudie der Gesamtenergiebedarf am Klimastandort Los Angeles. Alle Ergebnisse werden als EUI Faktor definiert.

#### 3.3.2.1 Gebäudetyp Simple House

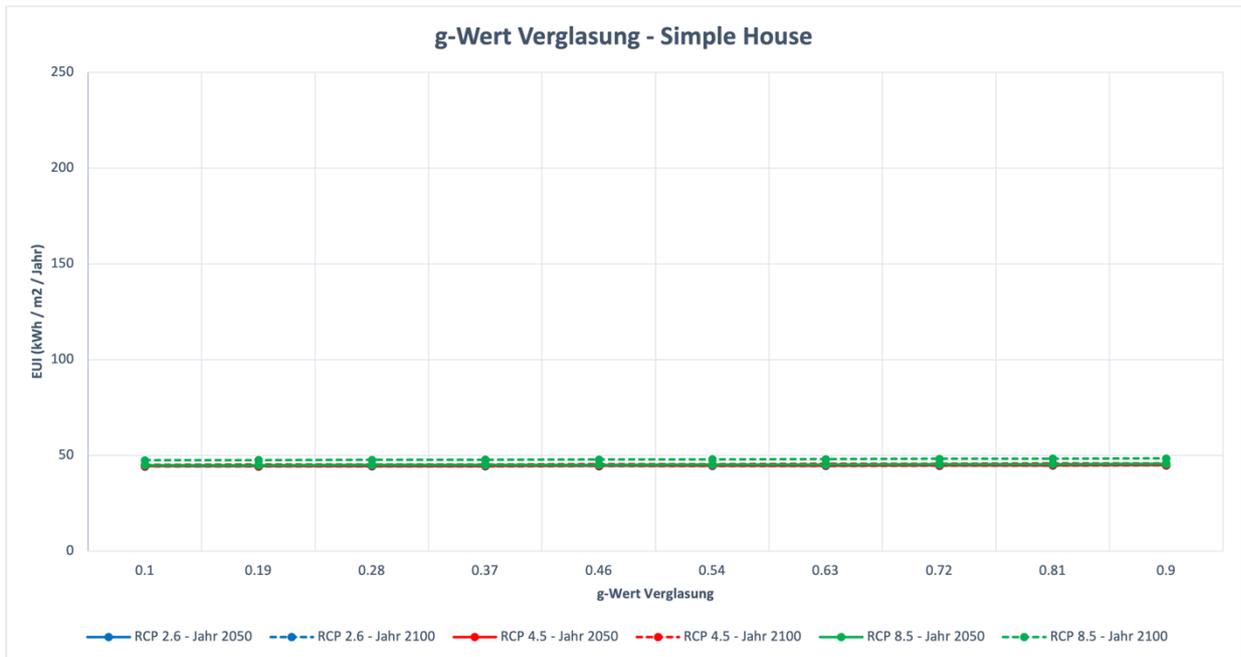


Abbildung 34: g-Wert Verglasung - Simple House - Los Angeles

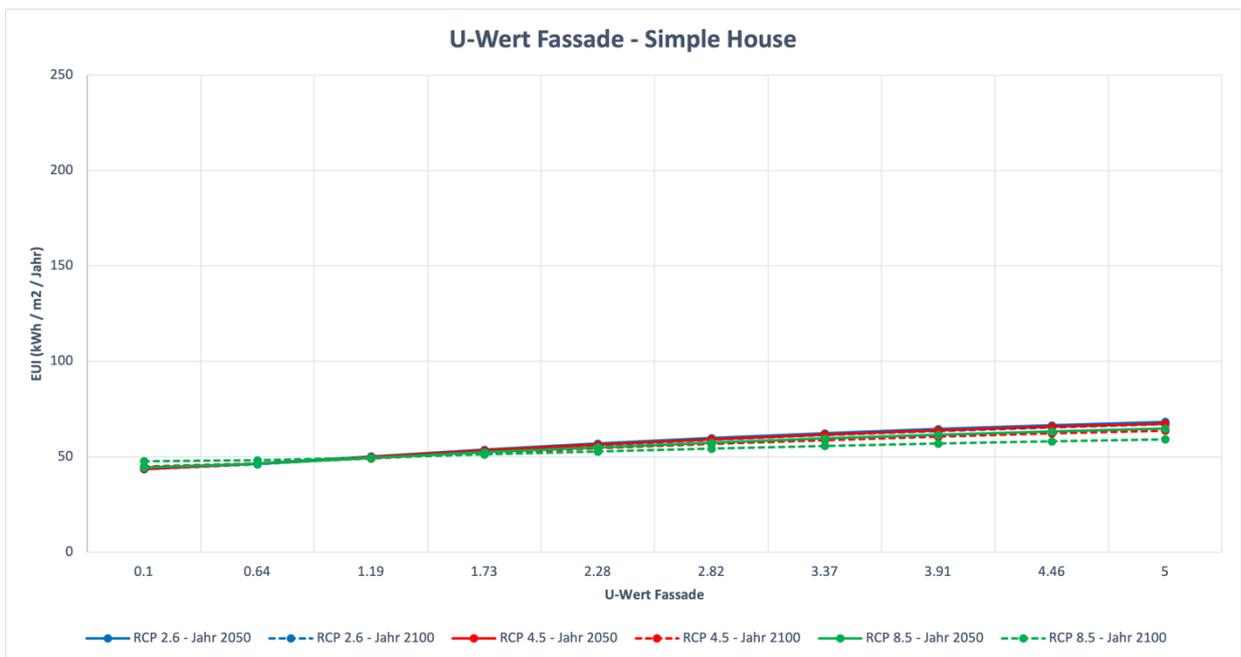


Abbildung 35: U-Wert Fassade - Simple House - Los Angeles

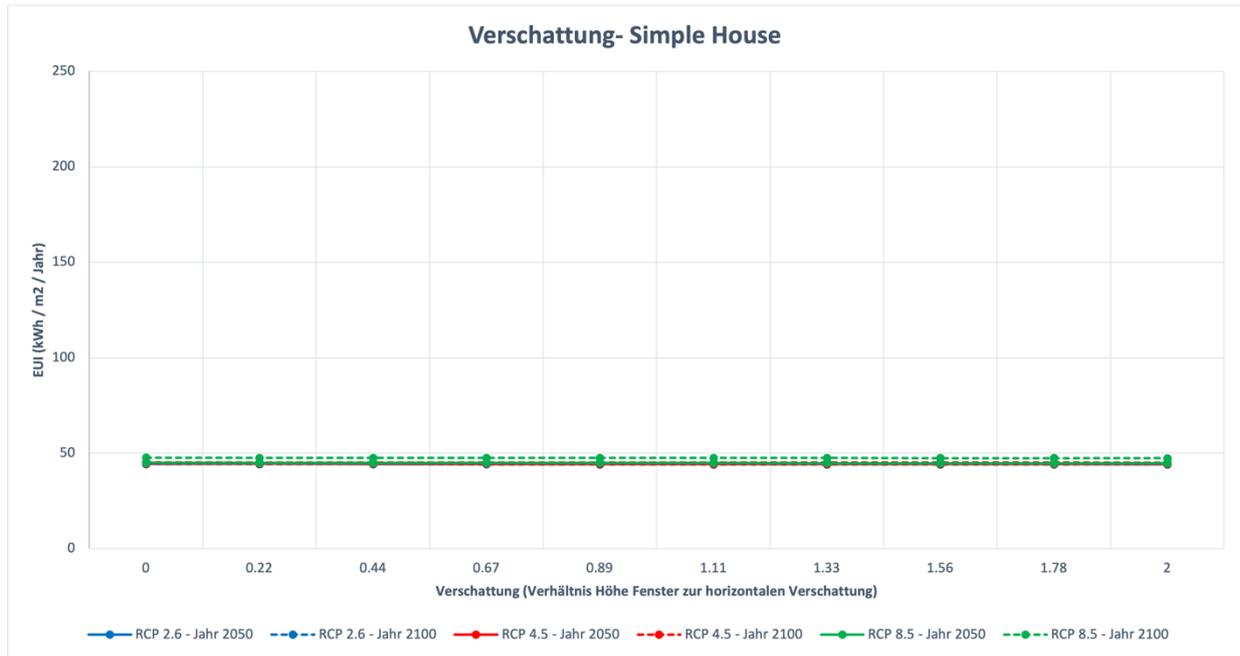


Abbildung 36: Verschattung - Simple House - Los Angeles

### g-Wert Verglasung

Die Kennlinien zur Verglasung (g-Wert Verglasung) verläuft horizontal und weisen daher keine Abhängigkeit zum gewählten Klima. Wie beim Klimastandort Zürich, sind die Fensterflächen im Verhältnis zum Gebäude zu klein, um einen Effekt hervorheben zu können.

### U-Wert Fassade

Der Klimastandort Los Angeles zeigt mit seinem ganzjährlichen konstanten Klima einen interessanten Verlauf des U-Wertes der Fassade auf. Bei einem kleinen U-Wert haben Zukunftsprognosen mit leichten oder gar keinen Klimaschutzbemühungen einen höheren Gesamtenergiebedarf. Diese Szenarien verlaufen horizontal zu den veränderbaren Parametern. Klimaszenarien mit grossen Klimaschutzbemühungen, zeigen einen Anstieg des Gesamtenergiebedarfes. Diese Kennlinie greifen auf den dazu ermittelnden Heizbedarf, welcher bei den tiefen Temperaturen entstehen kann.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien) auf. Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.2.2 Gebäudetyp Office

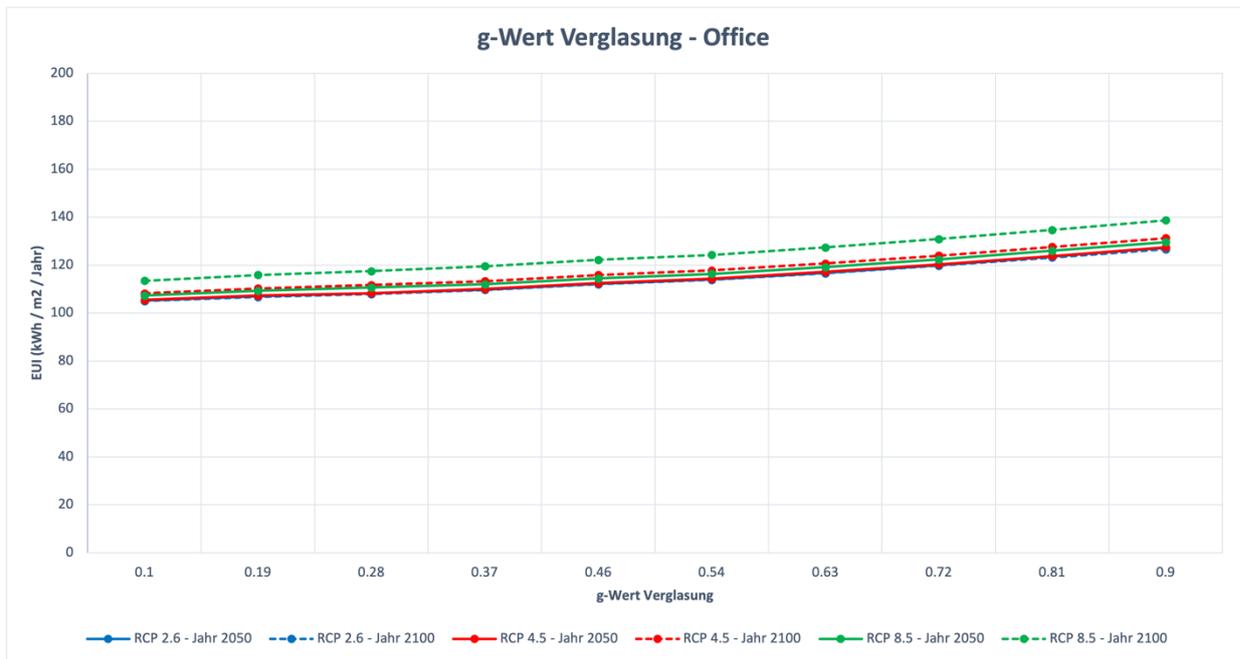


Abbildung 37: g-Wert Verglasung - Office - Los Angeles

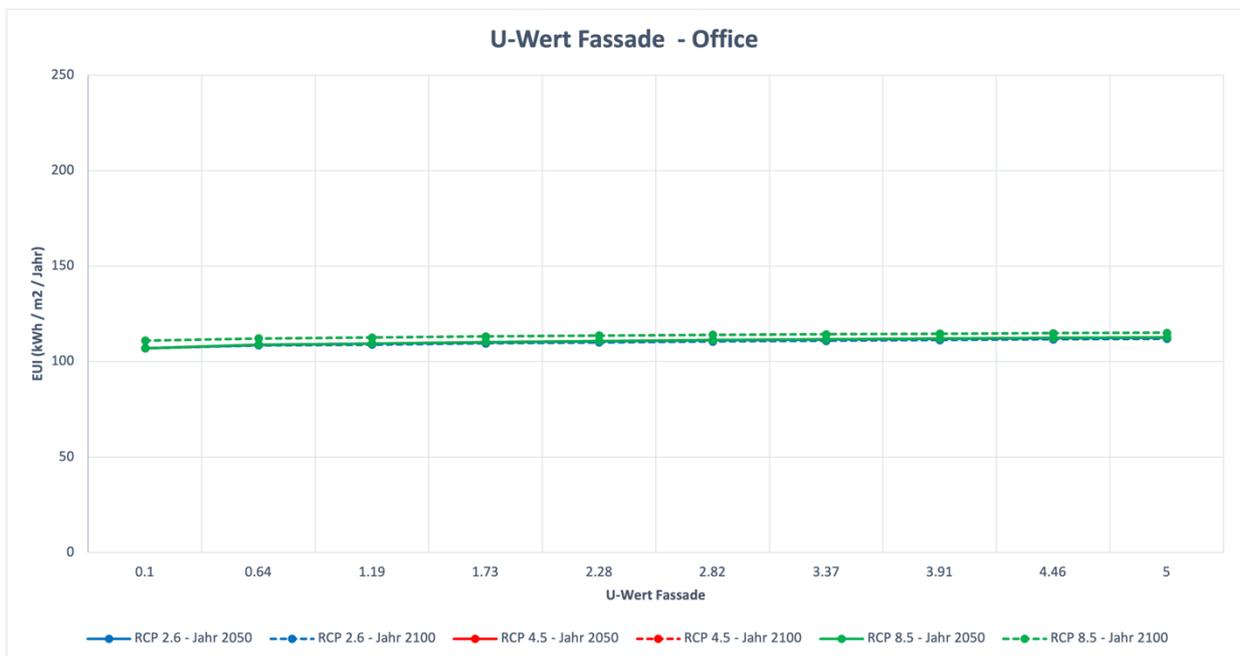


Abbildung 38: U-Wert Fassade - Office - Los Angeles

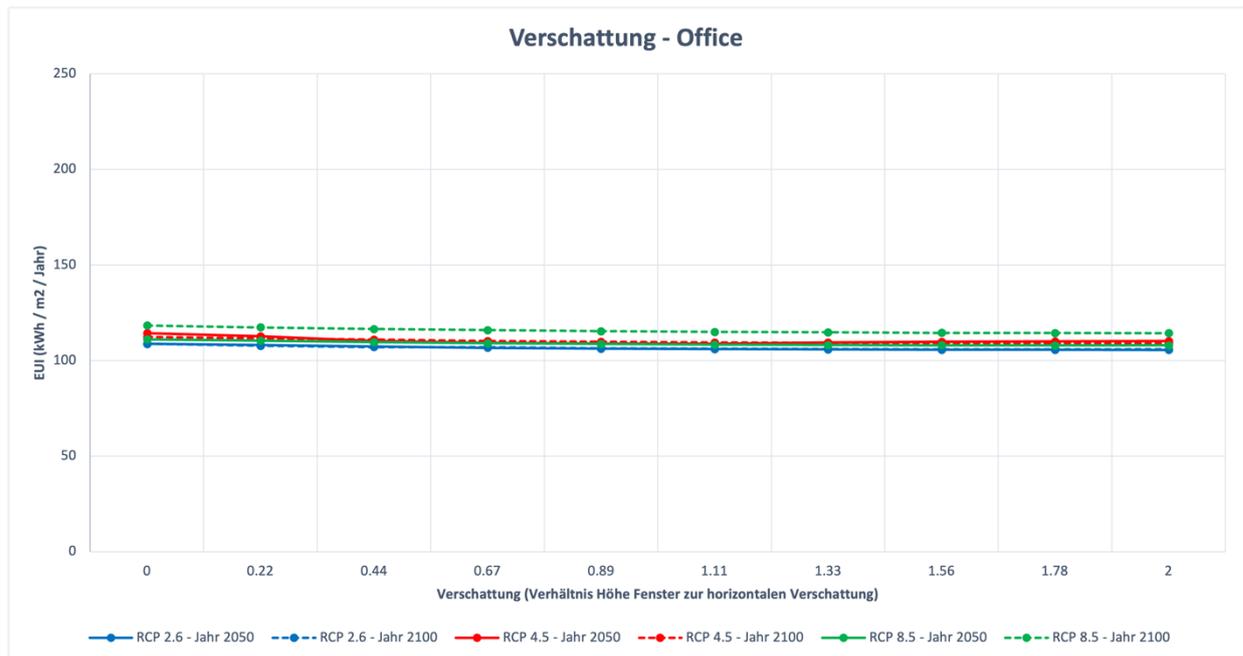


Abbildung 39: Verschattung - Office - Los Angeles

### g-Wert Verglasung

Im Vergleich zum Gebäudetyp Simple House in der Klimaregion Los Angeles, sieht man eine klare Abhängigkeit des g-Wertes der Verglasung zu den veränderbaren Parametern. Durch die Voraussetzung, ein Bürogebäude zu modellieren, das den heutigen architektonischen Bedürfnissen entspricht (grosse Fensterfläche, viel natürliche Licht kann in das Gebäude eindringen) zeigt sich auch die Abhängigkeit des g-Wertes und die damit verbundene Erwärmung der Innentemperatur. Dadurch werden Massnahmen wie zum Beispiel: automatische Sonnenstoren, Vorhänge, verbesserte Fenster (g-Wert, U-Wert, Leckage) empfohlen.

### U-Wert Fassade

Die Kennlinien zur Fassade (U-Wert Fassade) verlaufen horizontal und weisen daher keine Abhängigkeit zum gewählten Klima auf.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien) auf. Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.3 Klimastandort Singapore

Ermittelt wurde mit einer Parameterstudie der Gesamtenergiebedarf am Klimastandort Singapore. Alle Ergebnisse werden als EUI Faktor definiert.

#### 3.3.3.1 Gebäudetyp Simple House

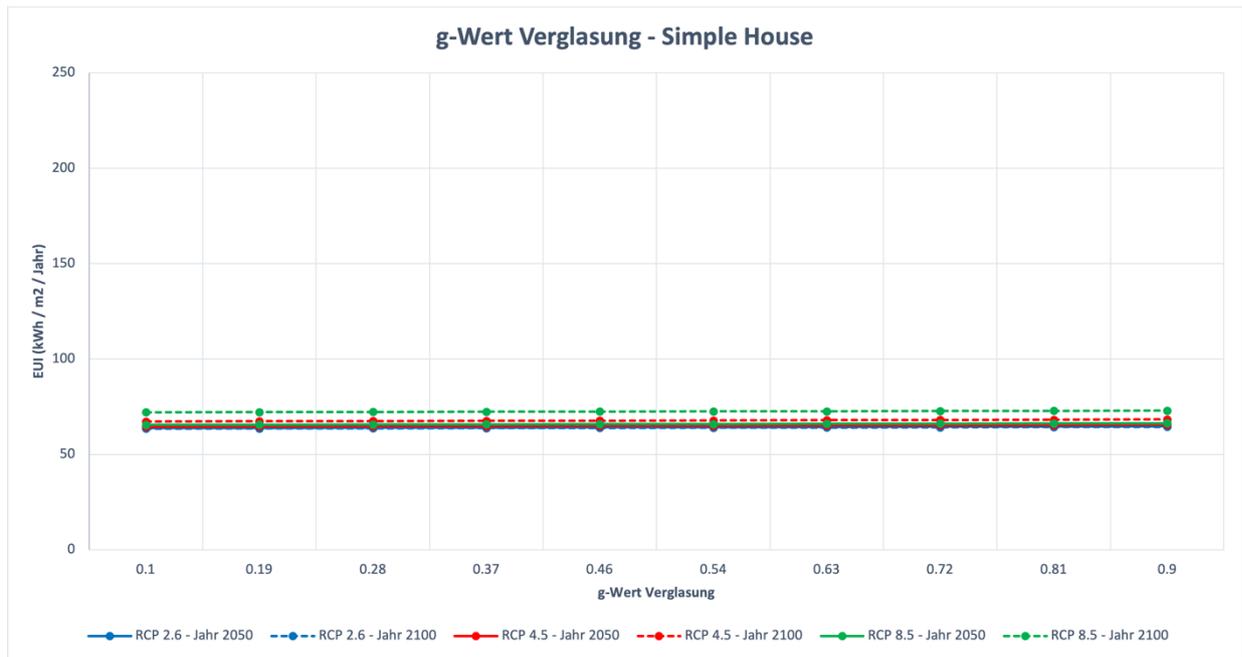


Abbildung 40: g-Wert Verglasung - Simple House - Singapore

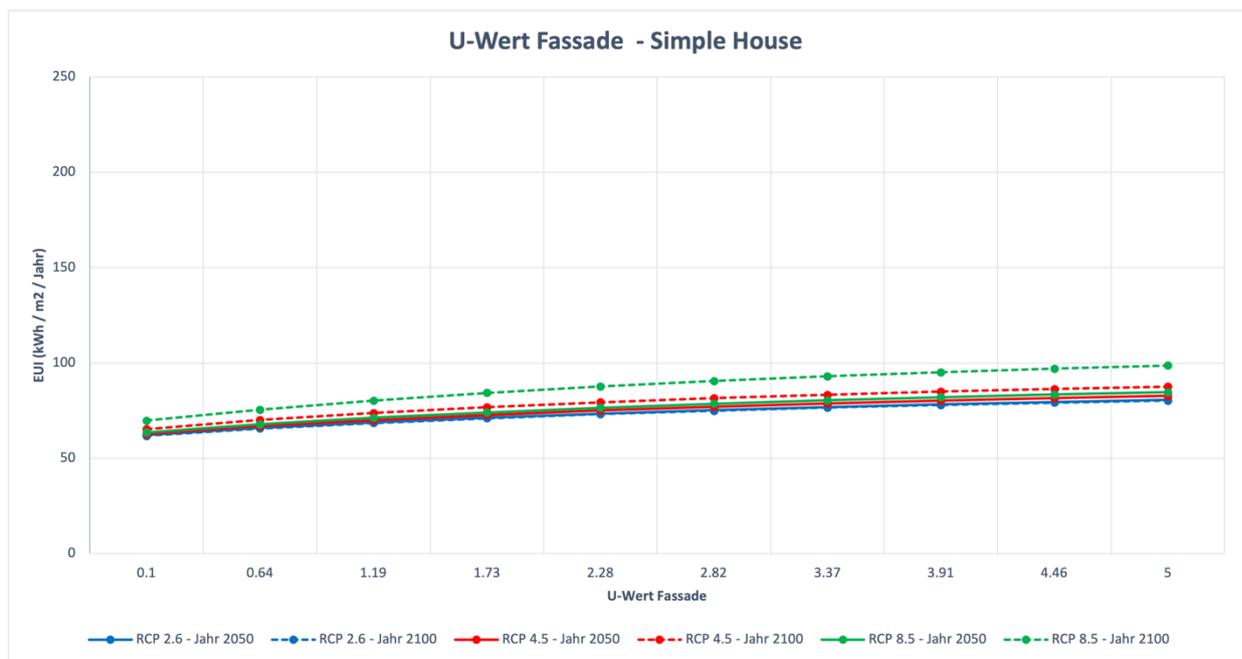


Abbildung 41: U-Wert Fassade - Simple House - Singapore

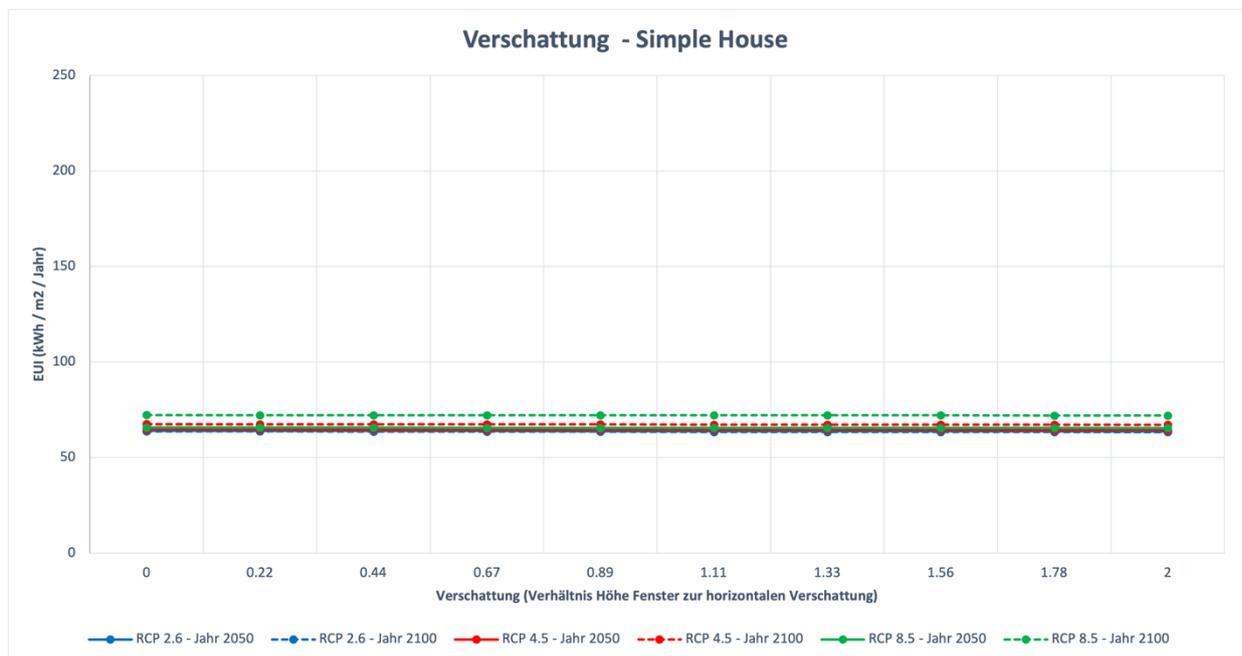


Abbildung 42: Verschattung - Simple House - Singapore

### g-Wert Verglasung

Die Kennlinien zur Verglasung (g-Wert Verglasung) verlaufen horizontal und weisen daher keine Abhängigkeit zum gewählten Klima auf.

### U-Wert Fassade

Die Anpassung der Dämmung an der Gebäudehülle hat die grösste Wirksamkeit unter den gewählten Massnahmen. Vor allem bei den Zukunftsprognosen (RCP 8.5 Jahre 2100) ist ein Anstieg zu verzeichnen. Der durchschnittliche Anstieg zwischen einem U-Wert von  $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$  beträgt ca. 30%. Bei dem RCP 8.5 Szenario sogar fast 70%. Durch die sehr heissen Tage und vor allem auch warmen Nächten (vergleichsweise mit Dubai, wo die Nächte sehr kalt werden können), entsteht bei zunehmendem U-Wert ein Kühlbedarf, welcher abgedeckt werden muss.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien). Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.3.2 Gebäudetyp Office

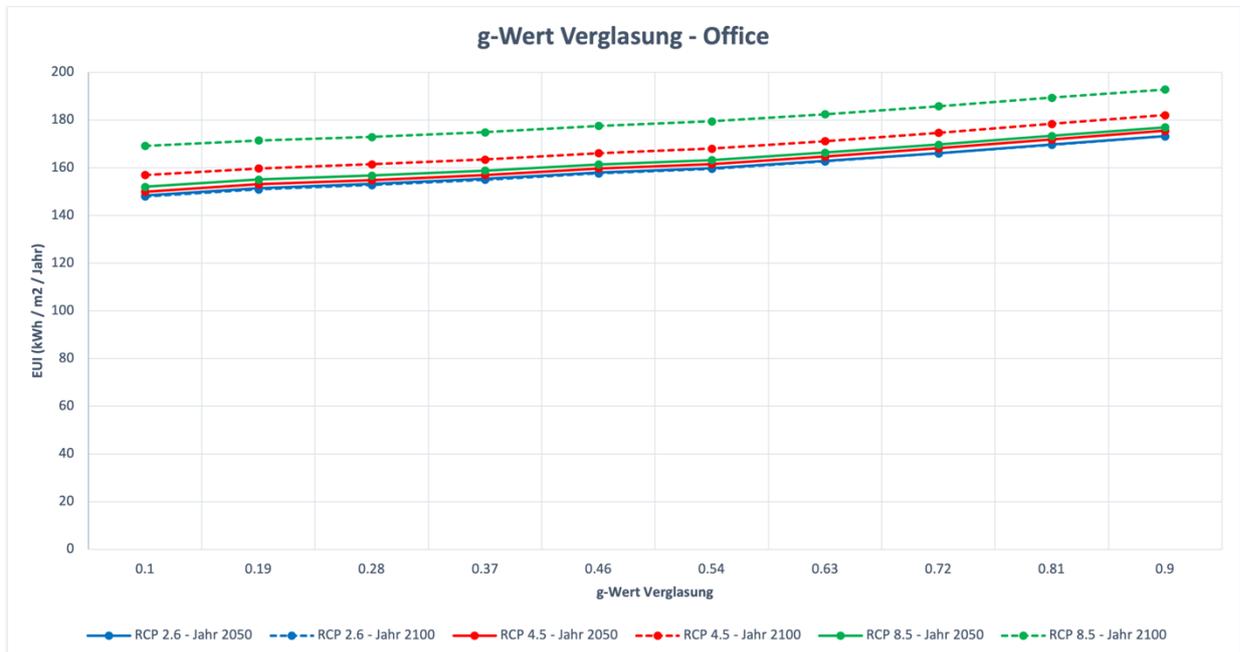


Abbildung 43: g-Wert Verglasung - Office - Singapore

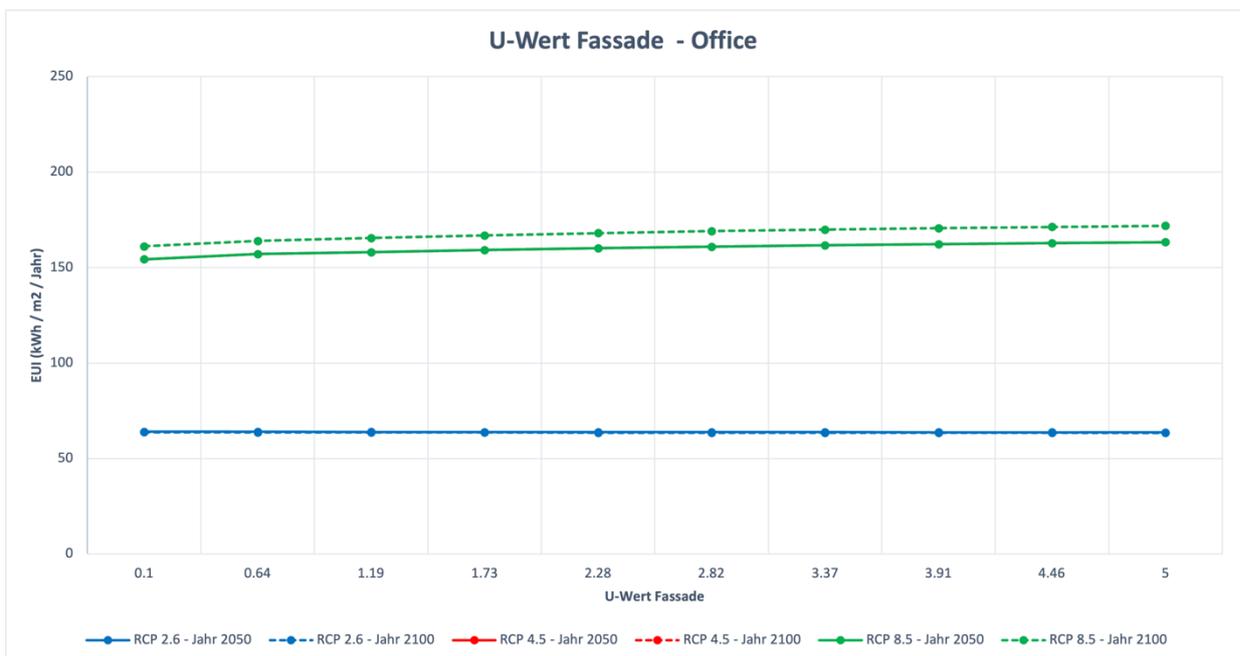


Abbildung 44: U-Wert Fassade - Office - Singapore

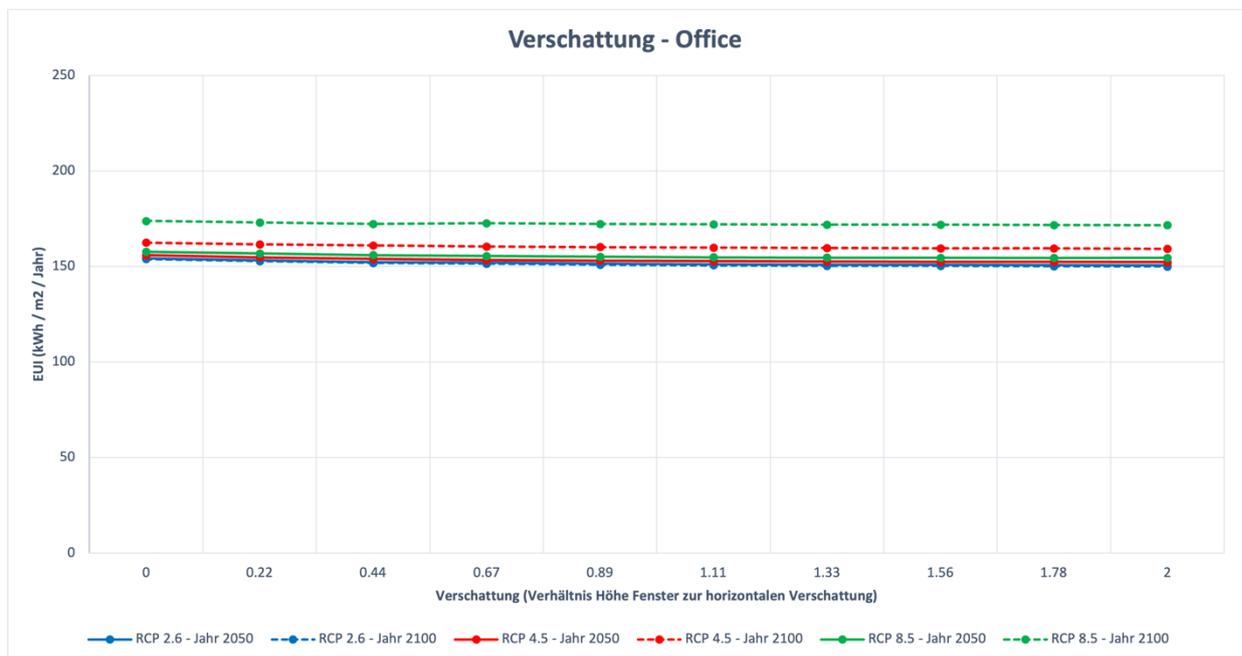


Abbildung 45: Verschattung - Office - Singapore

### g-Wert Verglasung

Mit zunehmendem g-Wert der Verglasung steigt auch der Gesamtenergiebedarf bei allen Klimaszenarien (aktuelles Wetter und alle RCP Szenarien). Der Anstieg ist linear zu verzeichnen. Die höhere Durchlasswirkung an der Verglasung bewirkt eine direkte Aufheizung der Innenraumtemperatur und damit auch einen notwendigen Kühlbedarf, um die Innentemperatur wieder auf einem behaglichen Bereich abzukühlen. Obwohl der Klimastandort Singapore eine grosse Dichte an Bewölkung aufweist, ist die Abhängigkeit der zu veränderbaren Parameter zum Gesamtenergiebedarf

### U-Wert Fassade

Alle Kennlinien zum U-Wert der Fassade verlaufen horizontal. Somit ist keine Abhängigkeit zum gewählten Klima (aktuelles und alle RCP Szenarien) feststellbar. Einen deutlichen Unterschied ist jedoch bei den Kennlinien mit dem RCP Szenario 4.5 und 8.5 festzustellen. Der Gesamtenergiebedarf beträgt fast das dreifache bei dem RCP 8.5 Szenario im Vergleich zum RCP 4.5 Szenario. Diese Werte müssen genauer analysiert werden.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien). Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.4 Klimastandort Dubai

Ermittelt wurde mit einer Parameterstudie der Gesamtenergiebedarf am Klimastandort Dubai. Alle Ergebnisse werden als EUI Faktor definiert.

#### 3.3.4.1 Gebäudetyp Simple House

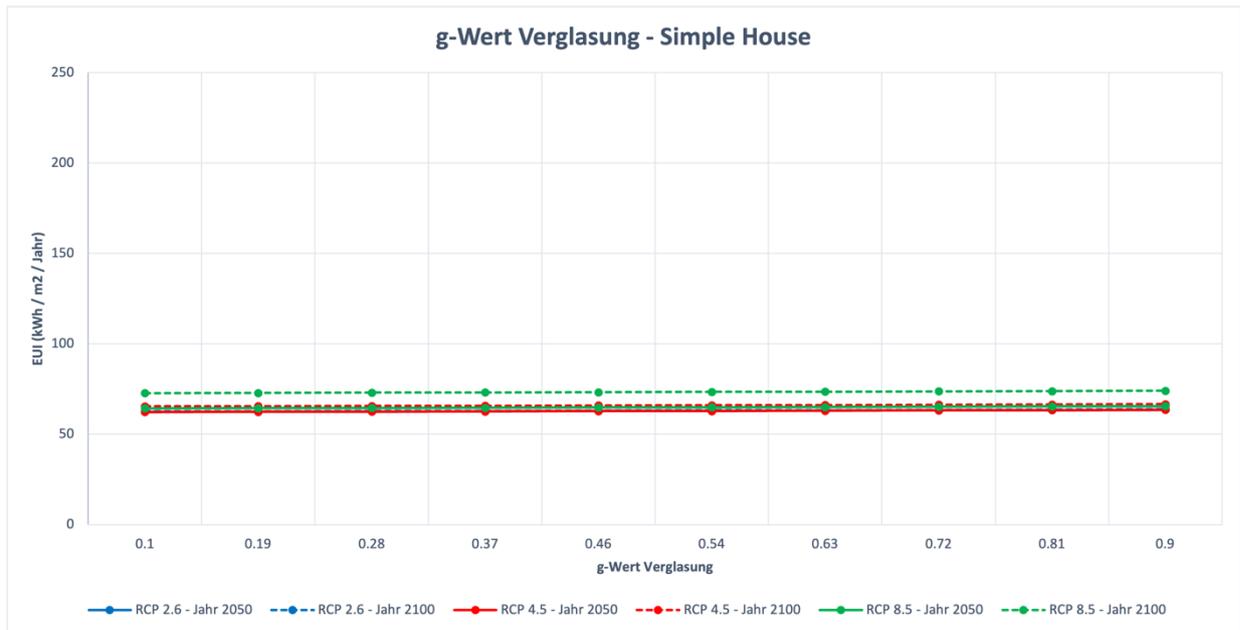


Abbildung 46: g-Wert Verglasung - Simple House - Dubai

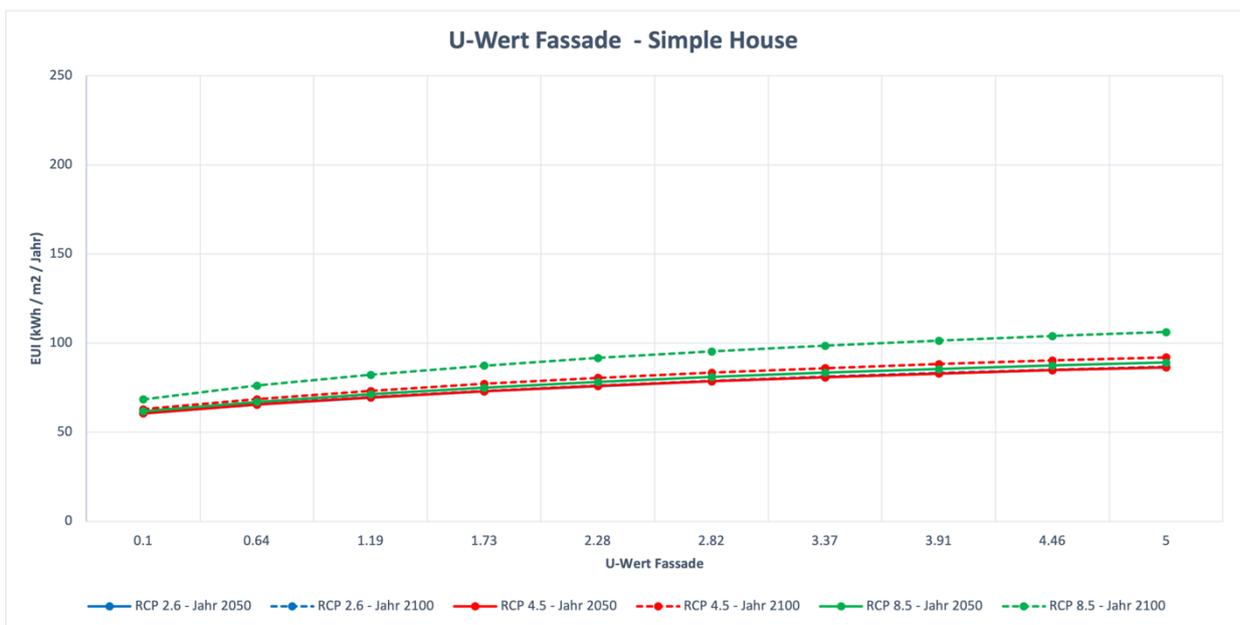


Abbildung 47: U-Wert Fassade - Simple House - Dubai

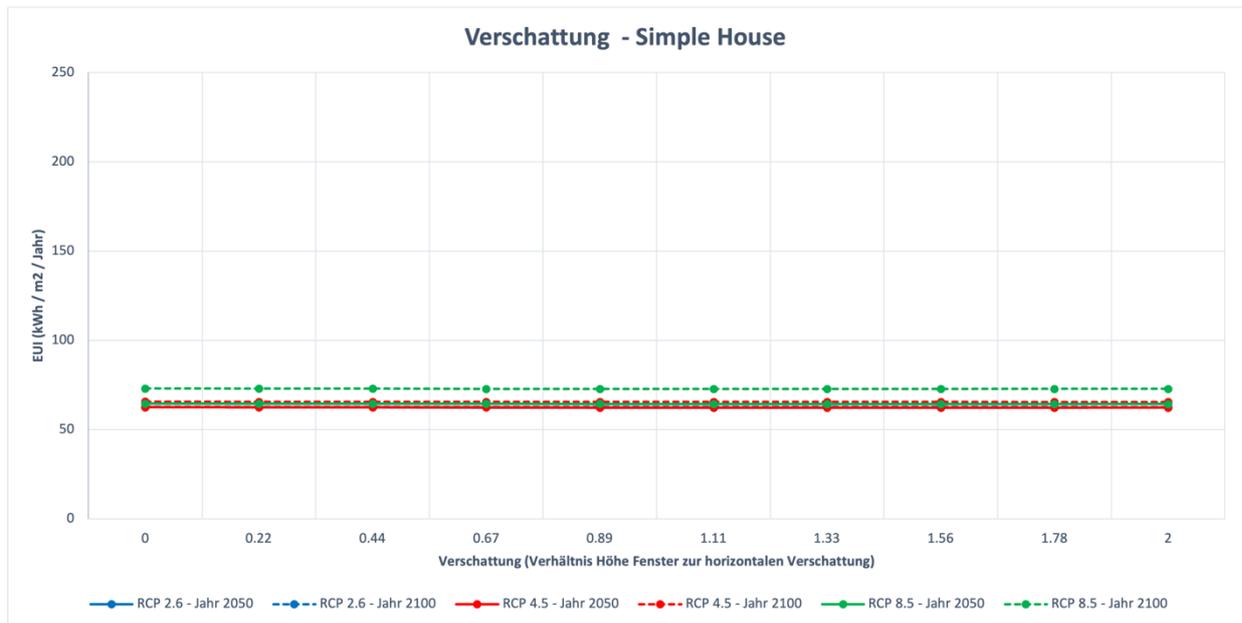


Abbildung 48: Verschattung - Simple House - Dubai

### g-Wert Verglasung

Die Kennlinien zur Verglasung (g-Wert Verglasung) verlaufen horizontal und weisen daher keine Abhängigkeit zum gewählten Klima. Obwohl Dubai eine sehr kleine Dichte an Bewölkung aufweist, und dadurch direkte Solareinstrahlungen stärker auf ein Gebäude einwirken, ist hier keine Abhängigkeit zum Gesamtenergiebedarf vorhanden.

### U-Wert Fassade

Die Anpassung der Dämmung an der Gebäudehülle hat die grösste Wirksamkeit unter den gewählten Massnahmen. Vor allem bei den Zukunftsprognosen (RCP 8.5 Jahre 2100) ist ein Anstieg zu verzeichnen. Der durchschnittliche Anstieg zwischen einem U-Wert von 0.1 W/m<sup>2</sup>K und 5 W/m<sup>2</sup>K beträgt ca. 40%. Bei dem RCP 8.5 Szenario sogar fast 80%.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien). Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.4.2 Gebäudetyp Office

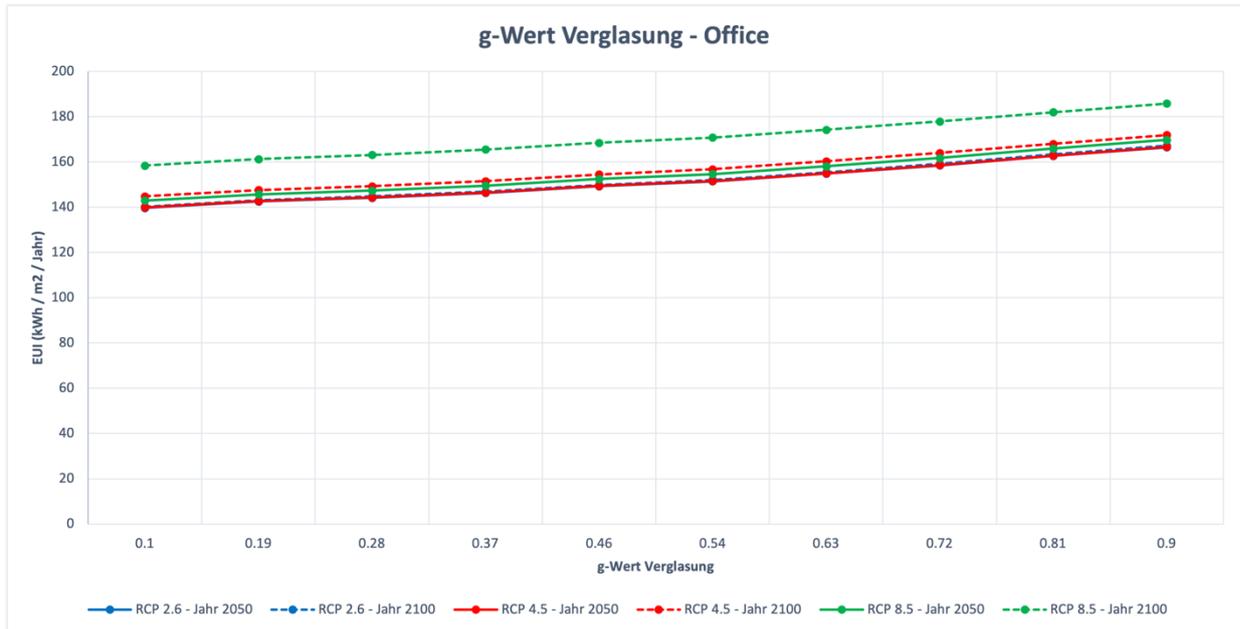


Abbildung 49: g-Wert Verglasung - Office - Dubai

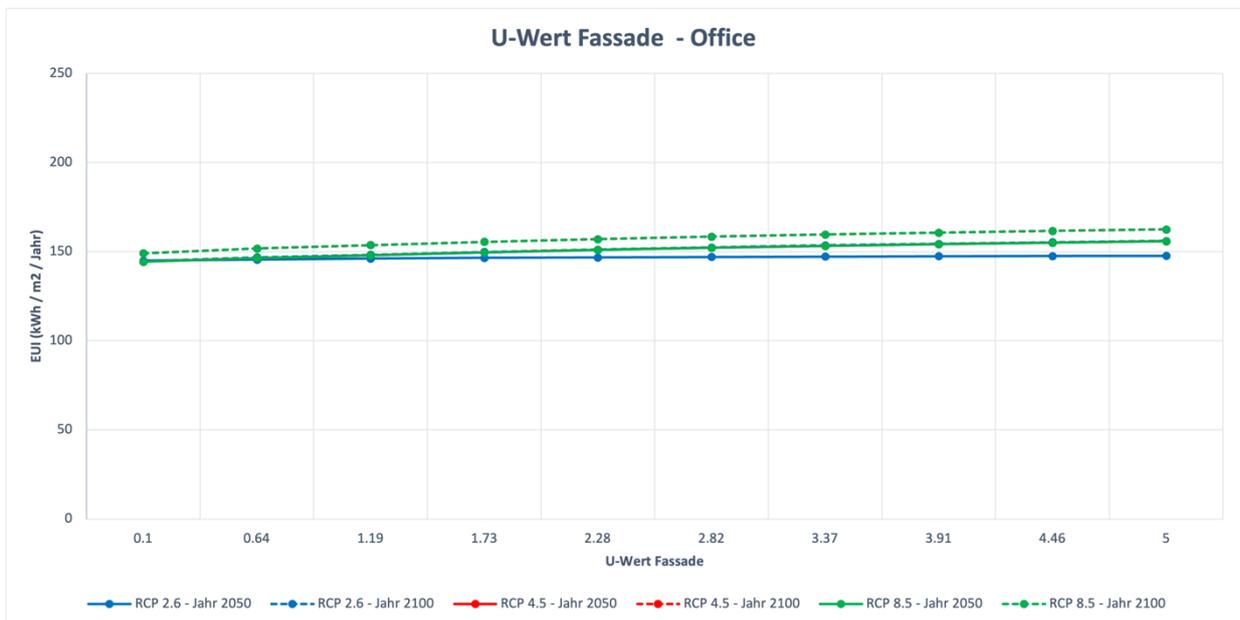


Abbildung 50: U-Wert Fassade - Office - Dubai

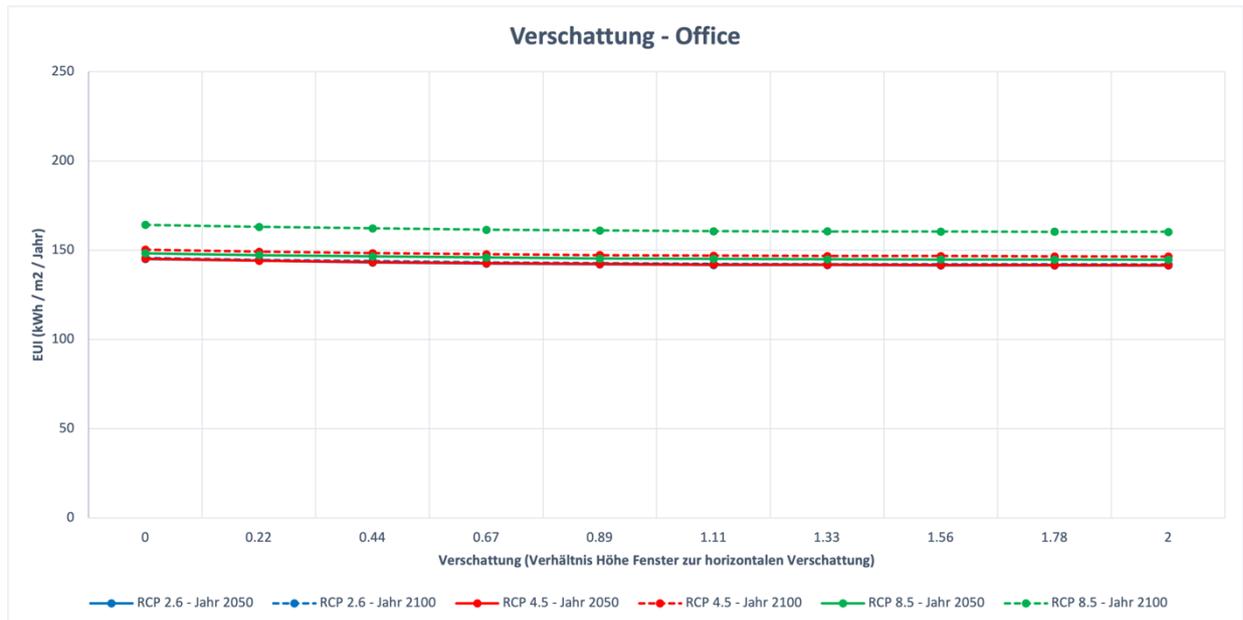


Abbildung 51: Verschattung - Office - Dubai

### g-Wert Verglasung

Mit zunehmendem g-Wert der Verglasung steigt auch der Gesamtenergiebedarf bei allen Klimaszenarien (aktuelles Wetter und alle RCP Szenarien). Der Anstieg ist linear zu verzeichnen. Die höhere Durchlasswirkung an der Verglasung bewirkt eine direkte Aufheizung der Innenraumtemperatur und damit auch einen notwendigen Kühlbedarf, um die Innentemperatur wieder auf einem behaglichen Bereich abzukühlen.

### U-Wert Fassade

Die Kennlinien zur Fassade (U-Wert Fassade) verlaufen horizontal und weisen daher keine Abhängigkeit zum gewählten Klima.

### Verschattung

Die Verschattung zeigt nur eine minimale Abhängigkeit vom gewählten Klima (aktuelles und RCP Szenarien). Es ist aber eine leichte Reduktion des Gesamtenergiebedarfes zu verzeichnen. Dadurch wird die Verschattung als nicht relevant für diesen Klimastandort mit diesem Gebäudetypen angesehen.

### 3.3.5 Vergleichsanalyse detailliert

In den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.5 wurden die Ergebnisse alle mit derselben vordefinierten y-Achse verglichen und analysiert.

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse einzeln analysiert.



Abbildung 52: g-Wert Verglasung Apartment

Der Einfluss der direkten Solareinstrahlung in ein Gebäude wird massgebend vom g-Wert der Verglasung beeinflusst. Dabei ist der Klimastandort und die daraus resultierende Einstrahlung ein wichtiger Faktor in der Analyse des Gesamtenergiebedarfs (EUI). Beim Klimastandort Zürich ist bei einer kleinen Durchlasswirkung der Verglasung ein Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs erkennbar. Dieser Anstieg ist dem notwendigen Heizbedarf in den Wintermonaten zuzuschreiben. Durch die fehlende solare Einstrahlung und die daraus resultierende Erwärmung des Gebäudes wird die Innenraumtemperatur mit einem Heizsystem auf ein behagliches Niveau erwärmt. Bei einem g-Wert der Verglasung von 0.55 (55 % Durchlasswirkung) wird der kleinstmögliche Gesamtenergieverbrauch erreicht. In warmen oder sogar heissen Klimaregionen der Welt ist ein erkennbarer Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs festzustellen. Dieser entsteht durch die notwendige Kühlung, um ein behagliches Klima im Innenraum zu erreichen.

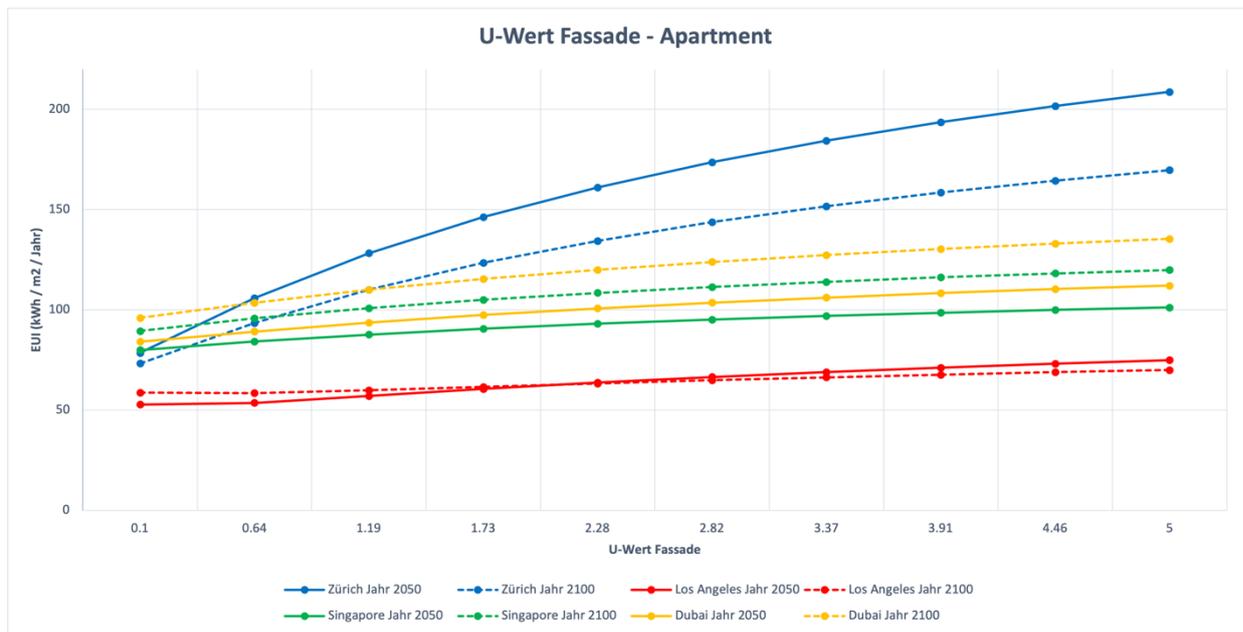


Abbildung 53: U-Wert Fassade Apartment

Der Einfluss des Klimas auf die Fassade ist stark vom U-Wert abhängig. Dieser wird durch die verschiedenen Schichten im Fasadensystem eruiert und berechnet. Die Fassade besitzt neben der Schutzfunktion auch eine thermische Speicherfähigkeit, die einen positiven Effekt auf den Kühlbedarf oder den Heizbedarf hat.

In warmen Klimaregionen wie zum Beispiel Los Angeles steht der veränderbare Parameter des U-Wertes in keiner grossen Abhängigkeit vom Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes. Alle Kennlinien verlaufen linear der x-Achse.

Bei kühleren Klimastandorten, die einen Heizbedarf im Winter aufweisen, spielt der U-Wert eine wesentlich wichtigere Rolle als bei warmem und kontinuierlichem Klima. Der Gesamtenergieverbrauch steigt proportional zum U-Wert der Fassade an. Bei einem kleinen U-Wert ist der Unterschied zwischen zwei Betrachtungszeiträumen (2050 und 2100) klein. Je grösser der U-Wert, desto grösser der Unterschied zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen.

[ 4 ]

Schlussfolgerung

## 4 Schlussfolgerung

### 4.1 Vergleich Klimaparameter

Im Kapitel 3 wurde der Klimawandel anhand der RCP-Szenarios analysiert und untersucht. Dabei wurden vier Klimastandorte (Zürich, Los Angeles, Singapur und Dubai) als Betrachtungspunkte gewählt. Alle Klimastandorte befinden sich in verschiedene Klimaregionen.

#### **Ausstemperatur**

Die Ausstemperatur wird sich in den kommenden Jahren (Betrachtungszeitraum 2050 und 2100) bei allen Klimastandorten deutlich erhöhen. Vor allem die warmen Klimaregionen werden den Klimawandel und die damit verbundene Erhöhung der Ausstemperatur spüren.

#### **Globalstrahlung**

Die Globalstrahlungsintensität wird sich durchschnittlich weltweit um 7–10 % erhöhen. Klimaregionen nahe dem Äquator sind stark von der Zunahme betroffen.

#### **Feuchtigkeit**

Die Feuchtigkeit (relative Feuchtigkeit) wird sich den Klimaprognosen zufolge in den Jahren 2050 und 2100 nicht signifikant verändern. Das Jahresbild bleibt, verglichen mit dem jetzigen Klima, an allen Klimastandorten ähnlich. Der Jahresdurchschnitt wird sich kaum bis minimal verändern. Daher wird die Feuchtigkeit keine massgebende Veränderung bewirken.

#### **Bewölkung**

Die Bewölkung (Dichte der Wolken in Prozent) ist ein sehr wichtiger Fokus für das zukünftige Klima und die daraus resultierenden Berechnungen (Gesamtenergieverbrauch). Durch direkte Sonneneinstrahlung werden Gebäude automatisch erwärmt. Dies hängt aber stark von der jeweiligen Bewölkung ab.

Der Klimastandort Zürich wird mit dem RCP 8.5-Szenario im Jahre 2100 eine deutlich kleinere Dichte an Bewölkung aufweisen, was einen Effekt auf die Heizperiode im Winter hat.

In Dubai wird gemäss den Analysen mit dem RCP 8.5-Szenario eine Erhöhung der Bewölkungsdichte vorausgesagt.

## 4.2 Vergleich Gebäudetypen und Klimastandorte

Für die Vergleichsanalyse der Gebäudetypen mit den einzelnen Klimastandorten und den veränderbaren Parametern (g-Wert, U-Wert und Verschattung) wurde ein Potentialkatalog erstellt. Dieser zeigt das Potential der einzelnen Klimastandorte mit den veränderbaren Parametern und den drei verschiedenen Gebäudetypen (Simple House, Apartment und Office). Damit können einfache Prinzipien hinsichtlich des Gesamtenergieverbrauches formuliert werden. Zusätzlich können Massnahmen für die einzelnen Gebäudetypen geschlussfolgert werden.

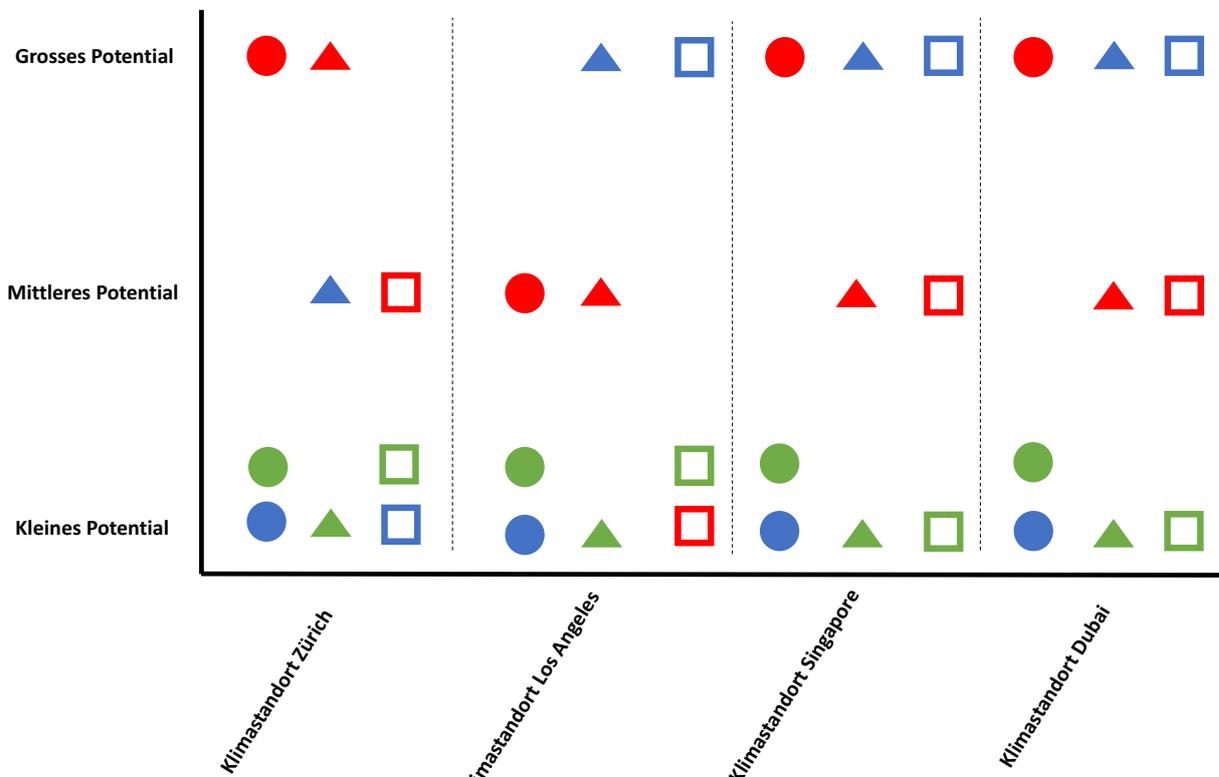


Abbildung 54: Potentialkatalog



Abbildung 55: Potentialkatalog Legende

### **Klimastandort Zürich**

Das Potential am Klimastandort Zürich liegt vor allem bei der Verbesserung des U-Wertes der Fassade. Am meisten profitieren kleine Einfamilienhäuser (Simple House) und Mehrfamilienhäuser (Apartment) von den Anpassungen des U-Wertes. Ein mittleres Potential erbringt die Anpassung des U-Wertes der Fassade bei einem Bürogebäude (Office). Zudem verhilft die Verbesserung der Verglasung bei Mehrfamilienhäusern (Apartment), den Gesamtenergiebedarf zu senken.

Kleines Potential für eine Senkung des Gesamtenergieverbrauches sieht man bei der Verschattung sämtlicher Gebäudetypen und bei der Verglasung von Einfamilienhäusern (Simple House), aufgrund des relativ kleinen Verhältnisses Verglasung zu Fassade.

### **Klimastandort Los Angeles**

Grosses Potential bei der Einsparung des Gesamtenergiebedarfes besteht durch die Verbesserung der Verglasung (g-Wert Verglasung) für die Gebäudetypen Apartment und Office. Beim kleinen Potential sieht die Lage ähnlich aus wie am Klimastandort Zürich. Die Anpassung des U-Wertes an der Fassade bei den Gebäudetypen Simple House und Apartment weist ein mittleres Potential für die Einsparung des Gesamtenergiebedarfs auf.

Durch das konstante milde Klima (Aussentemperaturen unterscheiden sich grundsätzlich kaum zu den Innentemperaturen im Gebäude) entstehen auch keine grosse Wärmeströme in den Bauteilen, dadurch ist im Grundsatz die Abhängigkeit der veränderbaren Parameter zum Gesamtenergiebedarf klein.

### **Klimastandort Singapore**

Das grosse Potential ist ähnlich aufgebaut wie am Klimastandort Los Angeles. Die Gebäudetypen Apartment und Office weisen bei der Verbesserung der Verglasung ein grosses Potential auf. Zusätzlich besteht beim Gebäudetyp Simple House ein grosses Potential bei der Optimierung des U-Wertes der Fassade. Das mittlere und kleine Potential gleicht dem am Klimastandort Los Angeles.

### **Klimastandort Dubai**

Bei der Potentialanalyse unterscheiden sich die Klimastandort Dubai und Los Angeles nicht.

Der Klimastandort Dubai zeichne sich durch die kleine Dichte an Bewölkung und die damit verbundenen direkten Solarstrahlen. Vor allem beim Gebäudetyp Office (grosse Verglasungsflächen) ist der Effekt des Klimas bemerkbar. Die grossen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht konnten in dieser Analyse mit den gewählten Parametern nicht eruiert werden. Durch die Speicherfähigkeit der einzelnen Bauteile, verkleinert sich der Effekt des Temperaturunterschiedes.

Im Grundsatz kann keine Aussage über das Potential einer Optimierung der Parameter (g-Wert Verglasung, U-Wert Fassade und Verschattung) hinsichtlich des Gebäudetypen und der gewählten Klimaregion getroffen werden. Die einzelnen Gebäudetypen könne nur schwer standardisiert werden und daher ist ein Grundsatz über die Optimierung an verschiedenen Klimaregionen nicht möglich zu definieren.

Es müssen jeweils individuelle Simulationen für jedes Vorprojekt oder jede Ausarbeitung erstellt werden. Dadurch können erst genaue Aussagen über das jeweilige Projekt getroffen werden.

## 5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: NUS School of Design Bild 1 .....	12
Abbildung 2: NUS School of Design Bild 2.....	13
Abbildung 3: Greenmaster Plan in China .....	14
Abbildung 4: Villa Slow in Spanien Aussenansicht .....	16
Abbildung 5: Villa Slow in Spanien Innenansicht.....	16
Abbildung 6: Szenario.....	17
Abbildung 7: Änderung Oberflächentemperatur.....	24
Abbildung 8: Aktuelle Temperatur Zürich.....	28
Abbildung 9: Aktuelle Globalstrahlung Zürich.....	28
Abbildung 10: Aktuelle Temperatur Los Angeles .....	29
Abbildung 11: Aktuelle Globalstrahlung Los Angeles.....	29
Abbildung 12: Aktuelle Temperaturen Singapore .....	30
Abbildung 13: Aktuelle Globalstrahlung Singapore .....	30
Abbildung 14: Aktuelle Temperaturen Dubai .....	31
Abbildung 15: Aktuelle Globalstrahlung Dubai.....	31
Abbildung 16: Gebäudety Simple House (Sefeira Output).....	32
Abbildung 17: Gebäudety Apartment (Sefeira Output) .....	33
Abbildung 18: Gebäudety Office (Sefeira Output).....	34
Abbildung 19: Analyse RCP 4.5 – Zürich .....	38
Abbildung 20: Analyse RCP 8.5 – Zürich .....	39
Abbildung 21: Analyse RCP 4.5 – Los Angeles.....	40
Abbildung 22: Analyse RCP 8.5 – Los Angeles .....	41
Abbildung 23: Analyse RCP 4.5 – Singapore .....	42
Abbildung 24: Analyse RCP 8.5 – Singapore .....	43
Abbildung 25: Analyse RCP 4.5 – Dubai.....	44
Abbildung 26: Analyse RCP 8.5 – Dubai.....	45
Abbildung 27: Simulationsmatrix Masterthesis .....	47
Abbildung 28: g-Wert Verglasung - Simple House - Zürich .....	48
Abbildung 29: U-Wert Fassade - Simple House - Zürich .....	48
Abbildung 30: Verschattung - Simple House - Zürich.....	49
Abbildung 31: g-Wert Verglasung - Office - Zürich .....	50
Abbildung 32: U-Wert Fassade - Office - Zürich.....	50
Abbildung 33: Verschattung - Office - Zürich.....	51
Abbildung 34: g-Wert Verglasung - Simple House - Los Angeles .....	52
Abbildung 35: U-Wert Fassade - Simple House - Los Angeles .....	52
Abbildung 36: Verschattung - Simple House - Los Angeles .....	53
Abbildung 37: g-Wert Verglasung - Office - Los Angeles .....	54
Abbildung 38: U-Wert Fassade - Office - Los Angeles.....	54
Abbildung 39: Verschattung - Office - Los Angeles .....	55
Abbildung 40: g-Wert Verglasung - Simple House - Singapore .....	56
Abbildung 41: U-Wert Fassade - Simple House - Singapore.....	56

Abbildung 42: Verschattung - Simple House - Singapore.....	57
Abbildung 43: g-Wert Verglasung - Office - Singapore .....	58
Abbildung 44: U-Wert Fassade - Office - Singapore.....	58
Abbildung 45: Verschattung - Office - Singapore.....	59
Abbildung 46: g-Wert Verglasung - Simple House - Dubai.....	60
Abbildung 47: U-Wert Fassade - Simple House - Dubai.....	60
Abbildung 48: Verschattung - Simple House - Dubai.....	61
Abbildung 49: g-Wert Verglasung - Office - Dubai.....	62
Abbildung 50: U-Wert Fassade - Office - Dubai .....	62
Abbildung 51: Verschattung - Office - Dubai .....	63
Abbildung 52: g-Wert Verglasung Apartment.....	64
Abbildung 53: U-Wert Fassade Apartment .....	65
Abbildung 54: Potentialkatalog.....	68
Abbildung 55: Potentialkatalog Legende.....	68

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: RCP Szenario - Entwicklung.....	19
Tabelle 2: RCP Szenario gemäss NCCS.....	19
Tabelle 3: Kennwerte Simple House .....	32
Tabelle 4: Kennwerte Apartment .....	33
Tabelle 5: Kennwerte Office .....	34

## 7 Literaturverzeichnis

- Albers, K.-J., Recknagel, H., & Sprenger, E. (2018). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Essen: Vulkan-Verlag.
- ASHRAE 91.1. (2013). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE).
- ASHRAE 169. (2013). *Climatic Data for Building Design Standards* (ASHRAE).
- ASHRAE 55. (2010). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE).
- Betschart, W. (2015). *Nutzeranforderung: Mensch und das Raumklima*. Horw: Vorlesungsskript HSLU.
- BFE [A]. (2002). *Wärmebrückenkatalog*. Bern: BBL.
- BFE [B]. (Oktober 2014). *Energiegerecht sanieren*. Von Ratgeber für Bauherrschaften: <https://pubddb.bfe.admin.ch/de/publication/download/5324> abgerufen
- BFS [A]. (16. Dezember 2016). *Wohnungen nach Heizungsart sowie Energieträger der Heizung und Bauperiode*. Von Bau- und Wohnungswesen: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/1642796/master> abgerufen
- BFS [B]. (10. Oktober 2019). *Allgemeine Übersicht Gebäude*. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bauwohnungswesen.assetdetail.9767630.html> abgerufen
- BFS [C]. (10. Oktober 2019). *Bewohnte Wohnungen nach Zimmerzahl und nach Kanton*. Von Bau- und Wohnungswesen: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9767747/master> abgerufen
- BFS [D]. (10. Oktober 2019). *Durchschnittliche Wohnfläche nach Zimmerzahl und Kanton*. Von Bau- und Wohnungswesen: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9767685/master> abgerufen
- BFS [E]. (25. Juli 2019). *Endenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen*. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9306234/master> abgerufen
- BFS [F]. (10. Oktober 2019). *Wohndichte nach Zimmerzahl und nach Kanton*. Von Bau- und Wohnungswesen: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9767671/master> abgerufen
- BFS [G]. (10. Oktober 2019). *Wohngebäude nach Bauperiode und Anzahl Wohnungen im Gebäude*. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9767651/master> abgerufen
- BFS [H]. (10. Oktober 2019). *Wohnungen nach Bauperiode und Gebäudekategorie*. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/9767646/master> abgerufen
- BFS [I]. (07. April 2020). *Bau- und Wohnungswesen 2018*. Von <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/12507412/master> abgerufen
- Buchal, C., & Schönwiese, C.-D. (2010). *Klima: Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten*. Köln: MIC.
- Climate Service Center Germany, (2019) *Klima-Ausblick für die Region Norddeutschland*

- eco bau. (kein Datum). *Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau*. Von Graue Energie:  
<https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=21&ID=92> abgerufen
- e-genius. (kein Datum). *Bewertung der thermischen Behaglichkeit*. Von <https://www.e-genius.at/lernfelder/themenfeld-energieeffiziente-gebaeudekonzepte/thermische-behaglichkeit/bewertung-der-thermischen-behaglichkeit> abgerufen
- EnDK. (20. April 2018). *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n)*. Von [https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/MuKE n2014\\_d-2018-04-20.pdf](https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/MuKE n2014_d-2018-04-20.pdf) abgerufen
- Formelsammlung Universität Duisburg - Essen. *Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Wärme - Feuchte Übertitel Bauphysik*
- Formelsammlung Universität Oldenburg. *Abteilung technische Chemie und Physik - Übertitel Wärmeübertragung*
- Glas Trösch AG. (29. November 2013). *Datentabelle Silverstar E-Line*. Von [https://www.glastroesch.ch/uploads/tx\\_lwproductdatabase/datentabelle\\_silverstar\\_e-linie\\_de.pdf](https://www.glastroesch.ch/uploads/tx_lwproductdatabase/datentabelle_silverstar_e-linie_de.pdf) abgerufen
- IPCC Bericht (Februar 2022). Hauptbericht  
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/IPCC2007-SYR-german.pdf>
- Keller Vertriebs AG. (Januar 2020). *Wärmedämmendes Einsteinmauerwerk*. Von <https://keller-unternehmungen.ch/files/media/files/96c4ddc74265d16c84d0fd105d3988fa/Sortiment%20Imbrex%20Z7.pdf> abgerufen
- Keller, B., & Rutz, S. (2007). *Pinpoint: Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Kemmler, A., & Spillmann, T. (Oktober 2019). *BFE*. Von Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 – 2018:  
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9855> abgerufen
- Kraus, H. (2004). *Die Atmosphäre der Erde: eine Einführung in die Meteorologie*. Berlin: Springer.
- Manz, H. (2017). *Bauphysik II: Aussenklima, Thermischer Komfort, Wärme, Luftaustausch, Energie*. Horw: Vorlesungsskript HSLU.
- Marek, R., & Klaus, N. (2019). *Praxis der Wärmeübertragung*. München: Carl Hanser Verlag.
- NCCS Emissionsszenarien, Bundesamt. (22. April 2022). <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html> abgerufen
- Meteotest AG. (kein Datum). *Meteonorm*. Bern.
- Meteonorm 8, Handbook part 1: Software
- Meteonorm 8, Handbook Theorie Wetterdaten, Klimadaten
- Ragonesi, M., Paulus, A., Plüss, I., Notter, G., Ettlin, M., Burkhardt, D., . . . Zurflüh, B. (2016). *Bautechnik der Gebäudehülle*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

- Schneider, S., Khoury, J., Lachal, B., & Hollmuller, P. (06. Juni 2016). *Geo-dependent heat demand model of the Swiss building stock*. Von <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:84240> abgerufen
- Schweizerischer Verband für Wohnungswesen. (August 1960). *Kleine Geschichte der Heizung. das wohnen*.
- Seerig, A. (kein Datum). *Ablauf Simulation*. Horw.
- Settembrini, G., Domingo-Irigoyen, S., Heim, T., Jurt, D., Zakovorotnyi, A., Seerig, A., . . . Menti, U.-P. (29. Dezember 2017). *ClimaBau–Planen angesichts des Klimawandels*. Von Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100: [https://www.minergie.ch/media/501318\\_hslu\\_sb\\_climabau.pdf](https://www.minergie.ch/media/501318_hslu_sb_climabau.pdf) abgerufen
- SIA 180. (2014). *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SIA. (03. Juli 2015). *Modernisierung des Gebäudeparks Schweiz*. Von <https://www.sia.ch/de/themen/energie/modernisierung-gebäudepark/> abgerufen
- SIA 380. (2015). *Grundlage für energetische Berechnungen von Gebäuden*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SIA 380/1. (2016). *Heizwärmebedarf*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SIA MB 2024. (2015). *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SIA MB 2028. (2010). *Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SIA MB 2032. (2010). *Graue Energie von Gebäuden*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- SN EN ISO 10456. (2007). *Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO 10456:2007)*. Zürich: schweizerischer ingenieur- und architektenverein (SIA).
- Vertiefungsmodul 1 - Titel: *Planungsgrundlagen für Nutzungs- und Komfortbedingungen in warmen Klimaregionen*. Autor: Matej Glavas (2021)
- Vertiefungsmodul 2 - Titel: *Wie fest unterscheiden sich die einzelnen Wärmeströme (unterschiedliche Bauteile) in Abhängigkeit zu den Klimaregionen / Klimazonen?* Autor: Matej Glavas (2022)
- Villa Slow - Bericht Low-Tech Gebäude (März 2021) <https://villaslow.com/villa-slow/#>
- Zürcher, C., & Frank, T. (2018). *Bauphysik: Bau & Energie*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

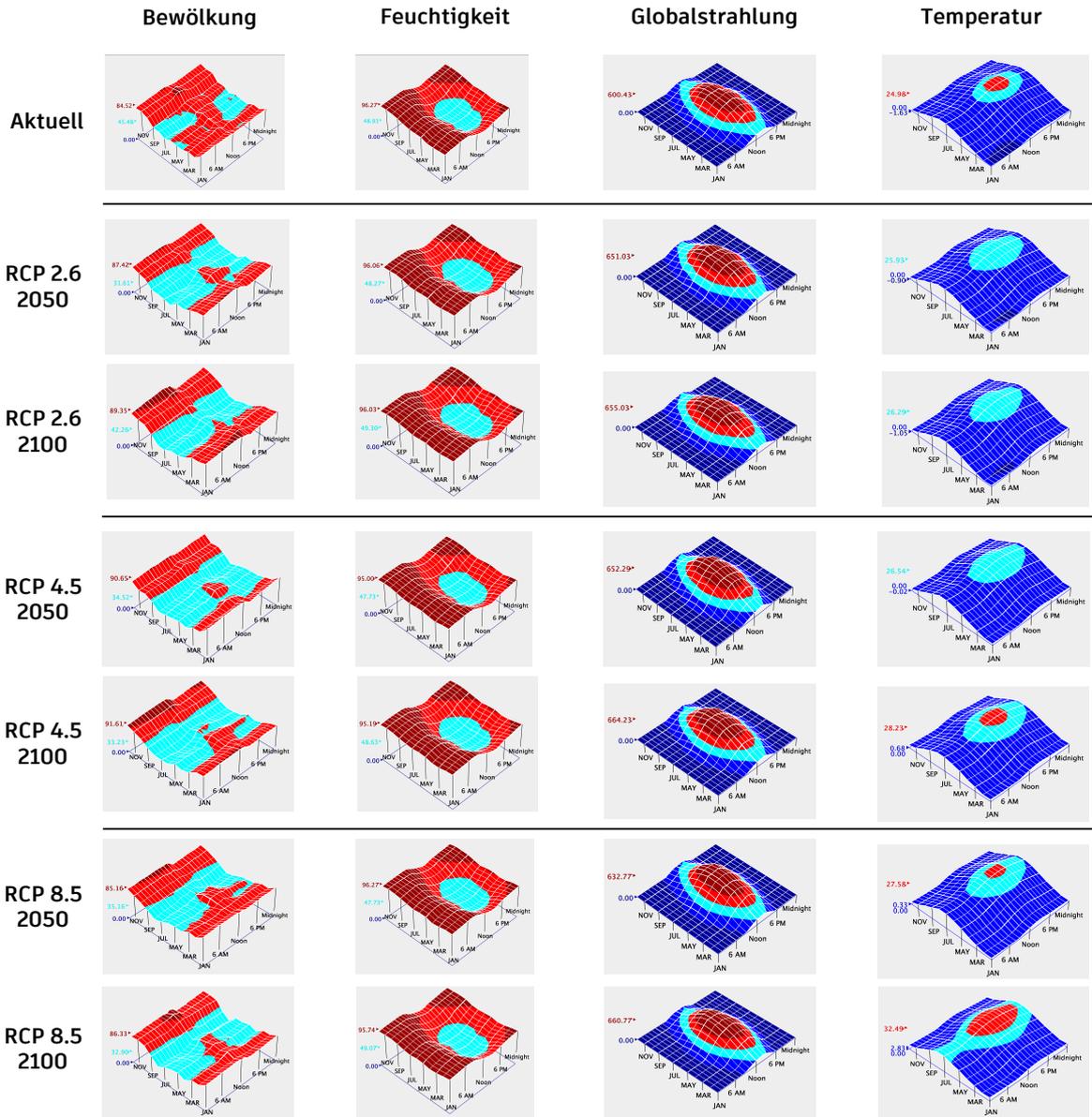
## **8 Anhang**

<b>A.1</b>	<b>KLIMADIAGRAMME</b>	<b>2</b>
<b>A.1.1</b>	<b>ZÜRICH</b>	<b>2</b>
<b>A.1.2</b>	<b>LOS ANGELES</b>	<b>3</b>
<b>A.1.3</b>	<b>SINGAPORE</b>	<b>4</b>
<b>A.1.4</b>	<b>DUBAI</b>	<b>5</b>
<b>A.1.5</b>	<b>FEUCHTIGKEIT</b>	<b>6</b>
<b>A.1.6</b>	<b>TEMPERATUR</b>	<b>7</b>
<b>A.1.7</b>	<b>GLOBALSTRAHLUNG</b>	<b>8</b>
<b>A.1.8</b>	<b>BEWÖLKUNG</b>	<b>9</b>
<b>A.2</b>	<b>DIAGRAMME GESAMTENERGIEBEDARF</b>	<b>10</b>
<b>A.2.1</b>	<b>RCP 2.6</b>	<b>10</b>
<b>A.2.2</b>	<b>RCP 4.5</b>	<b>18</b>
<b>A.2.3</b>	<b>RCP 8.5</b>	<b>26</b>
<b>A.3</b>	<b>BERECHNUNGSGRUNDLAGEN</b>	<b>34</b>
<b>A.3.1</b>	<b>GESAMTENERGIEVERBRAUCH – SZENARIO RCP 2.6</b>	<b>34</b>
<b>A.3.2</b>	<b>GESAMTENERGIEVERBRAUCH – SZENARIO RCP 4.5</b>	<b>37</b>
<b>A.3.3</b>	<b>GESAMTENERGIEVERBRAUCH – SZENARIO RCP 8.5</b>	<b>40</b>
<b>A.1.9</b>	<b>DIVERSE DIAGRAMME IN GROSSER AUSFÜHRUNG</b>	<b>43</b>

# A.1 Klimadiagramme

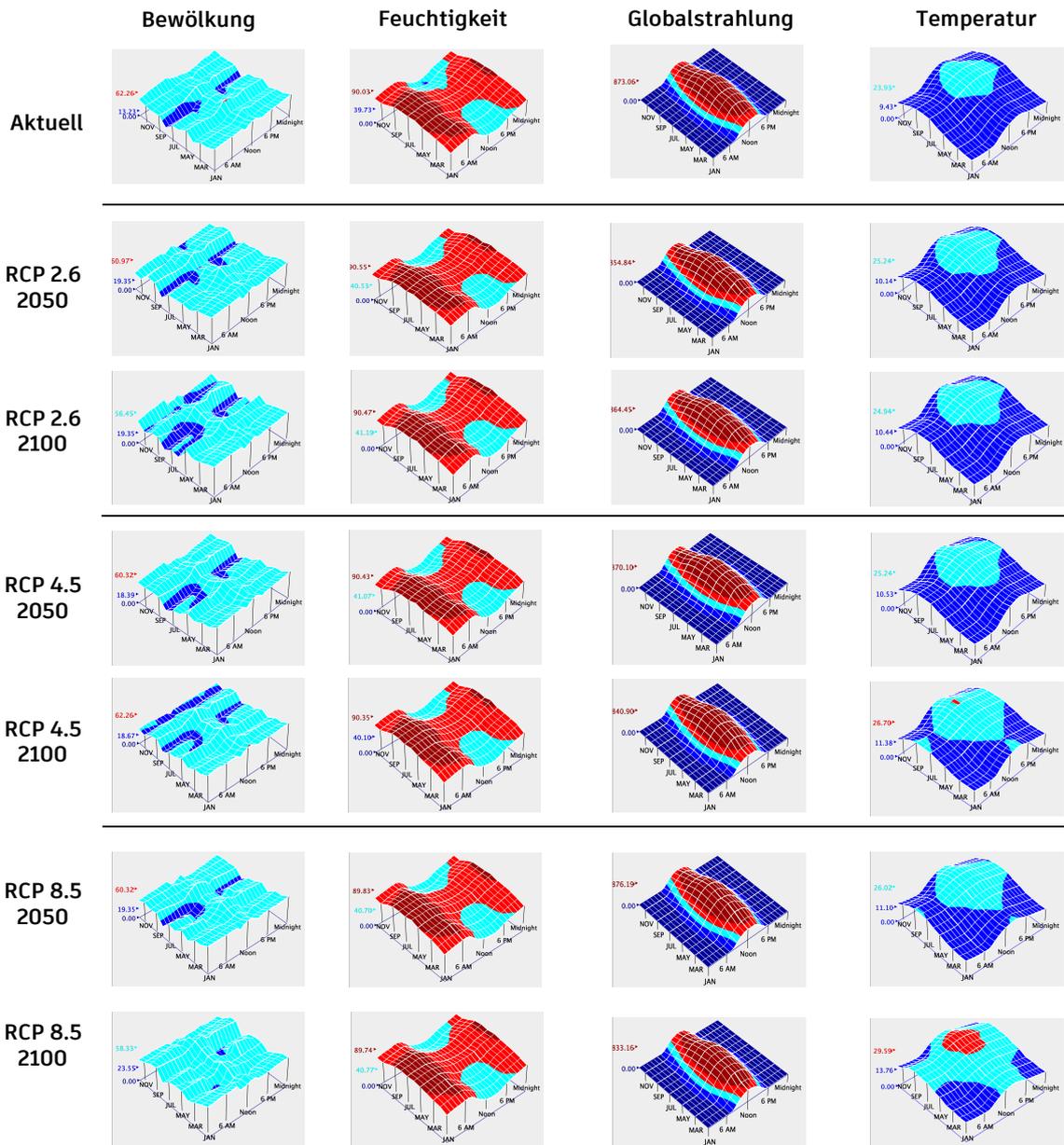
## A.1.1 Zürich

### Standort Zürich



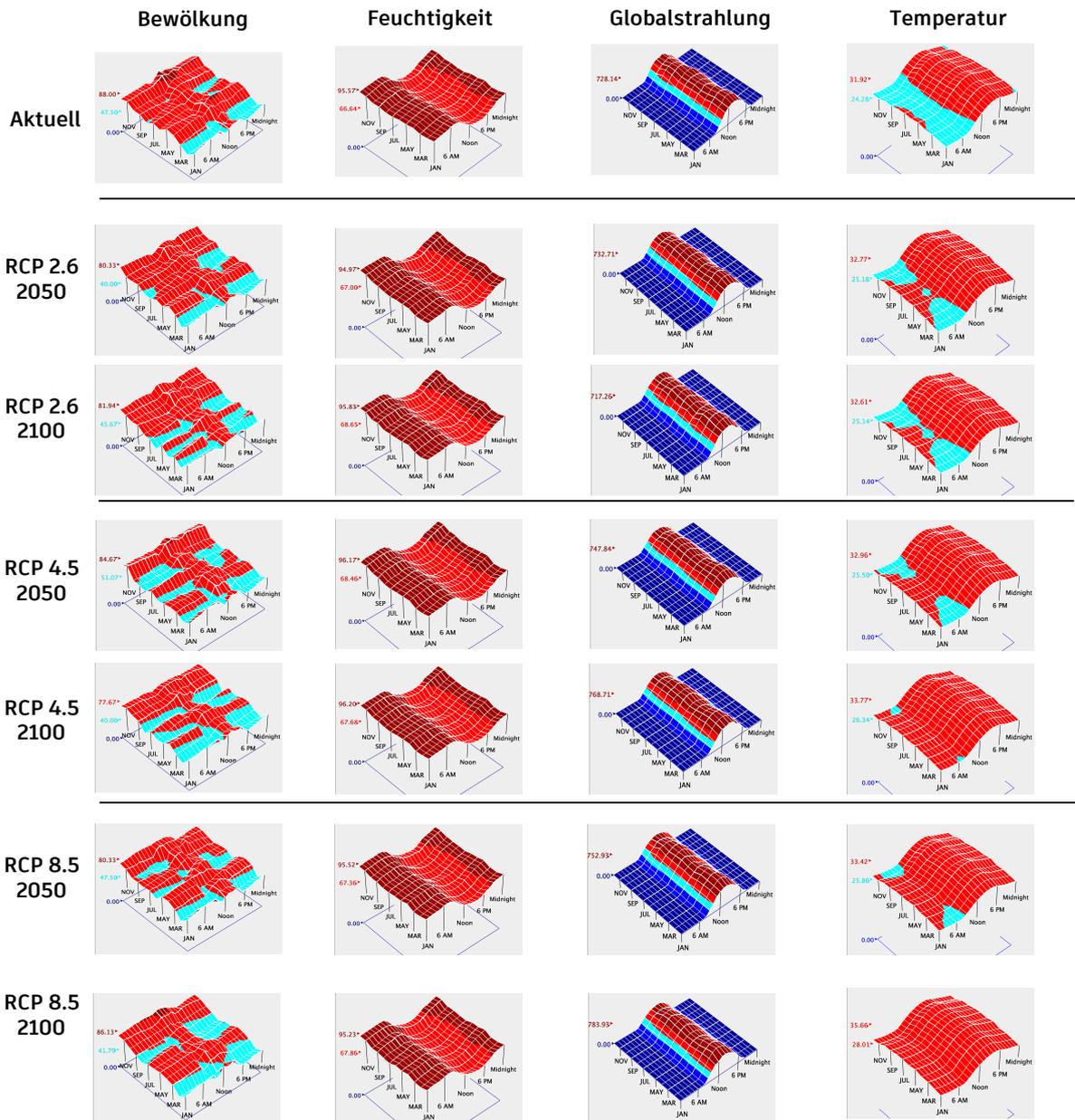
## A.1.2 Los Angeles

### Standort Los Angeles



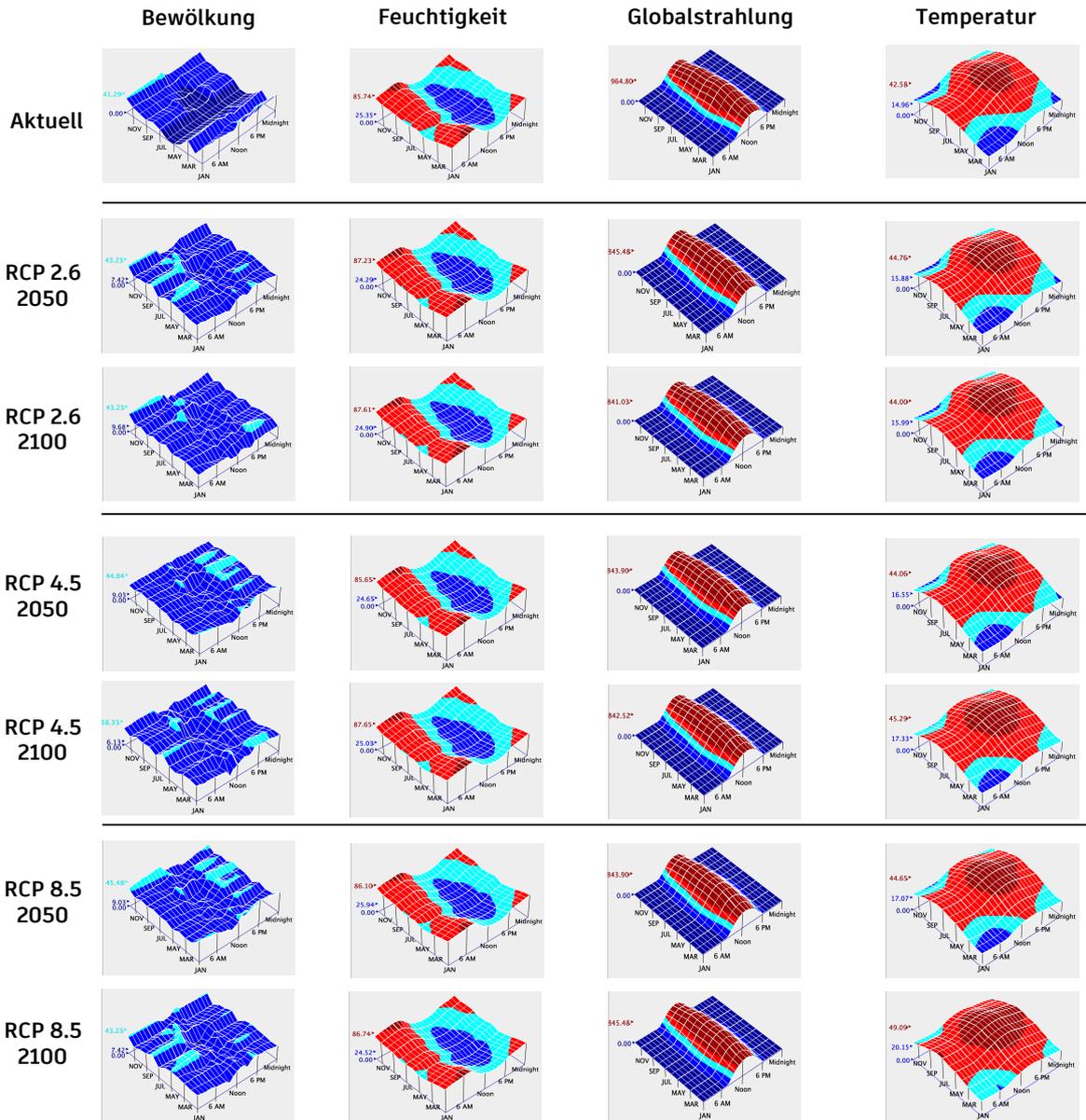
## A.1.3 Singapore

### Standort Singapore



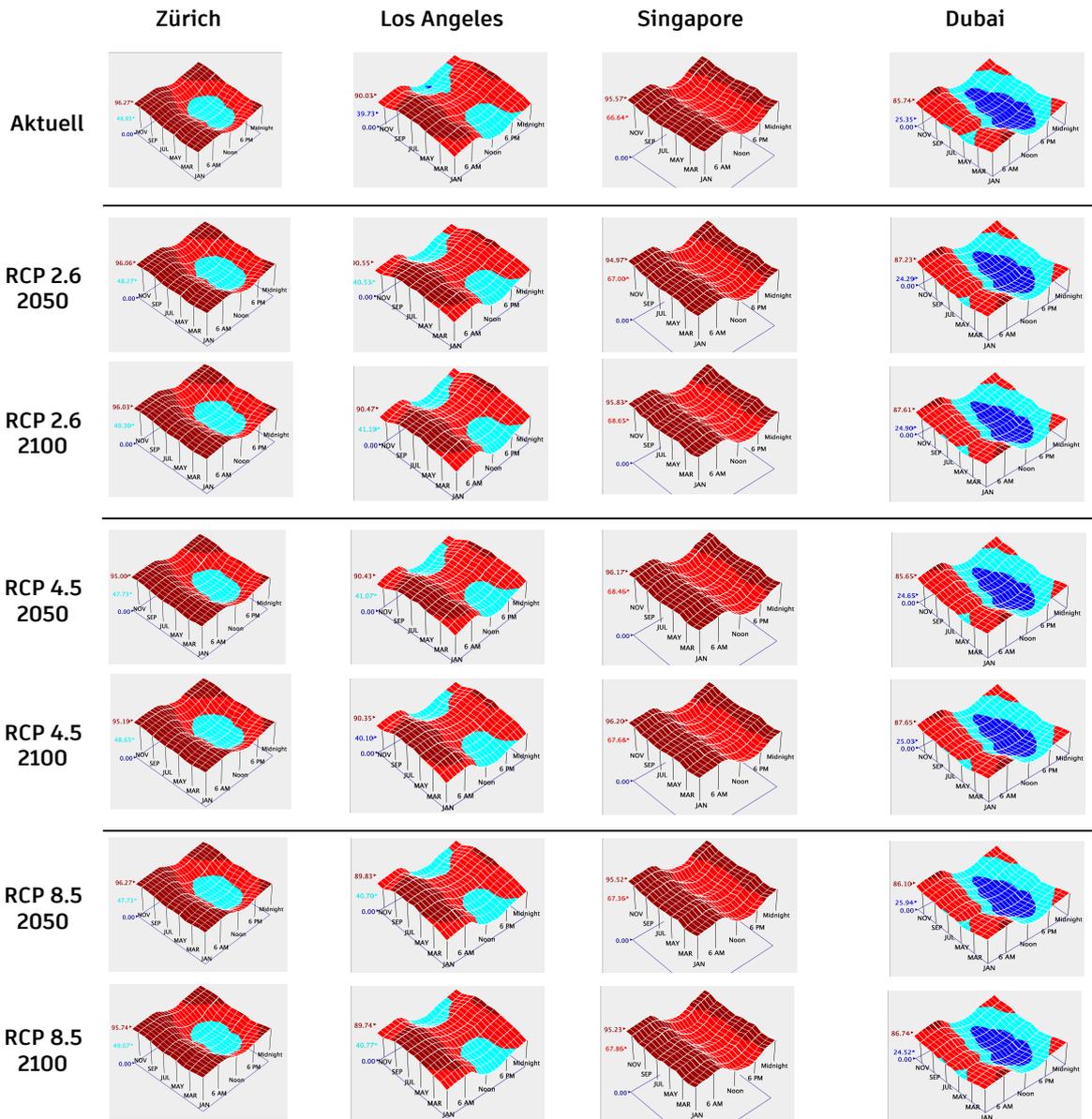
## A.1.4 Dubai

### Standort Dubai



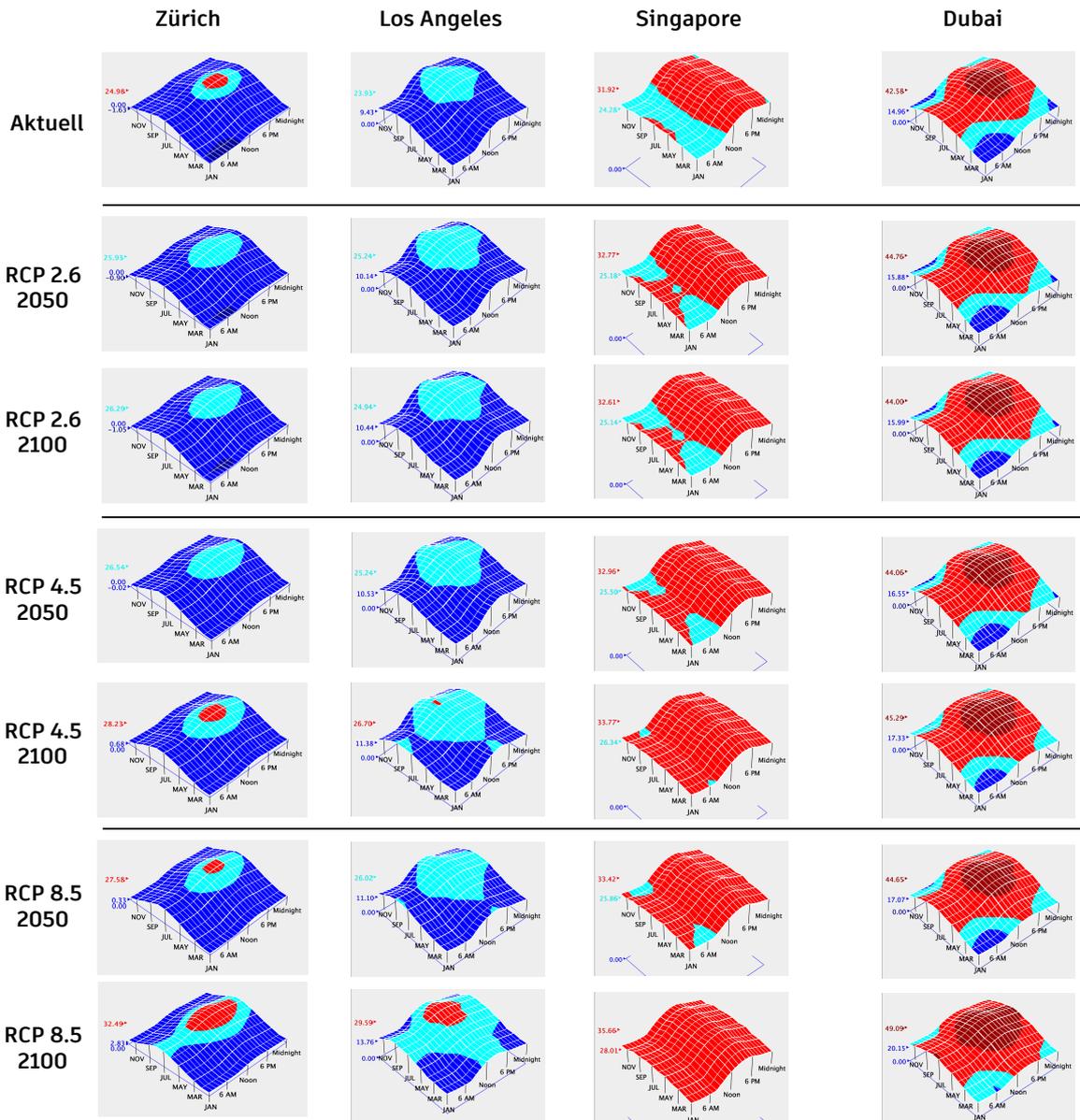
## A.1.5 Feuchtigkeit

### Feuchtigkeit



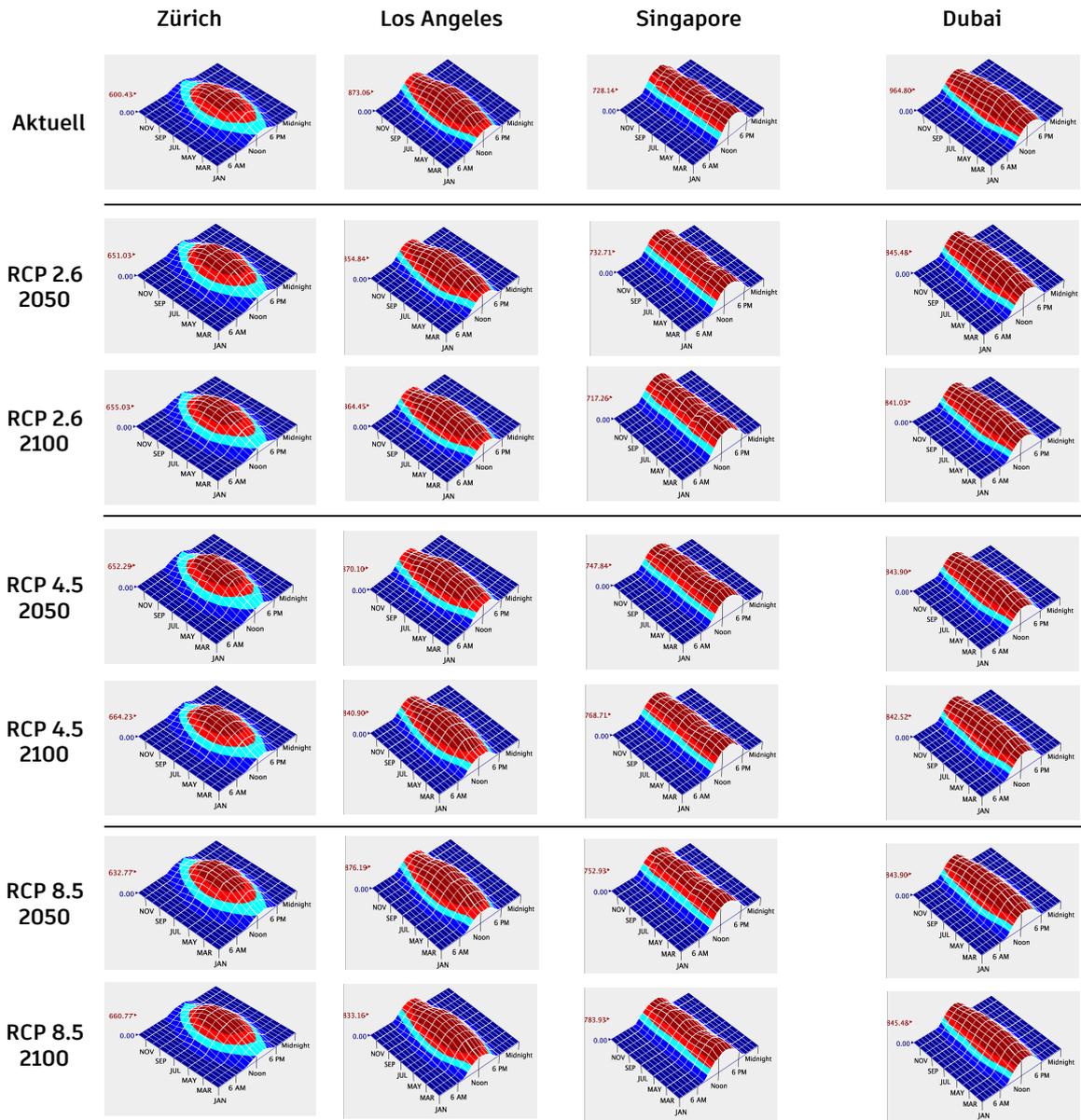
## A.1.6 Temperatur

### Temperatur



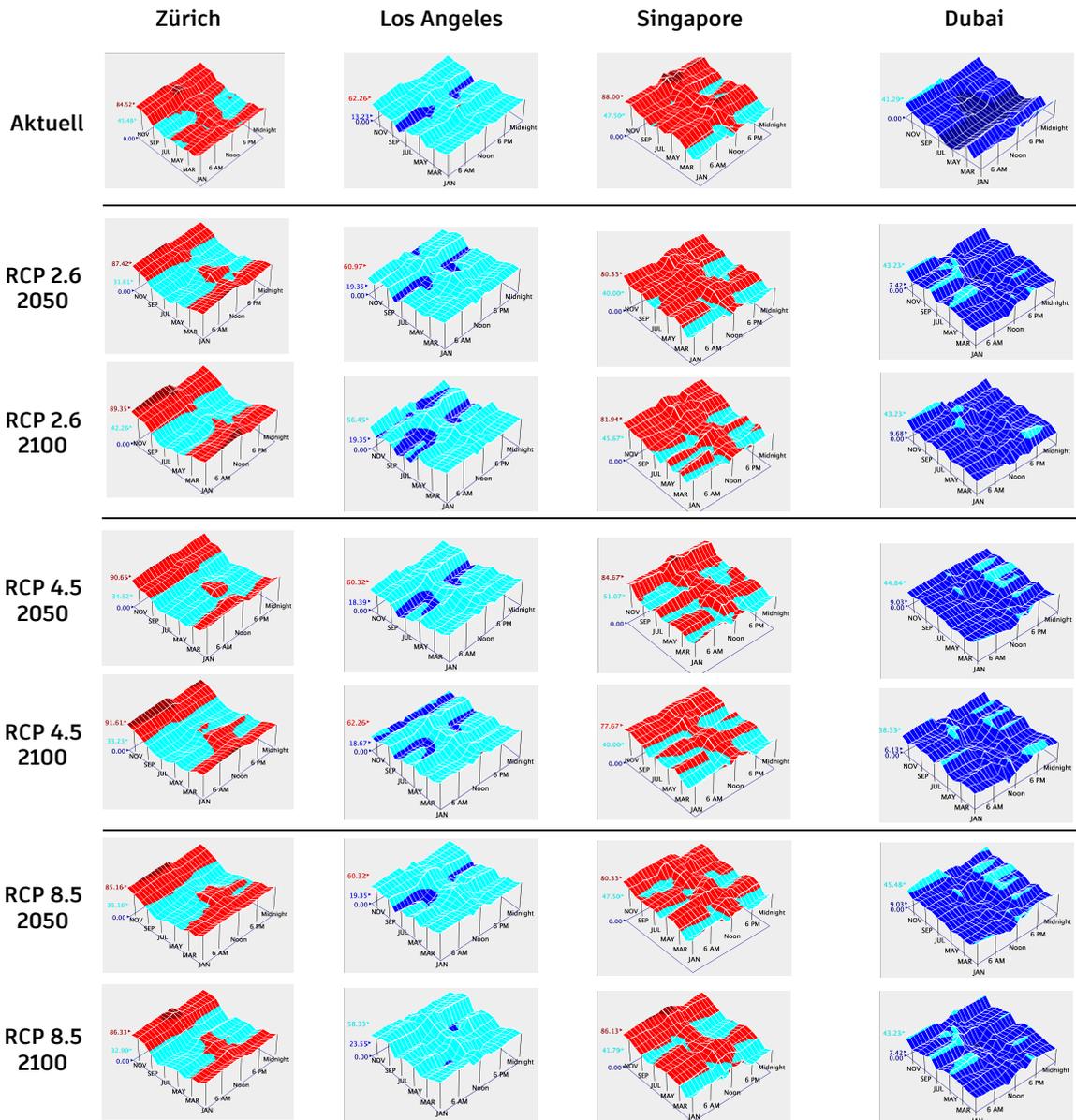
## A.1.7 Globalstrahlung

### Globalstrahlung



## A.1.8 Bevölkerung

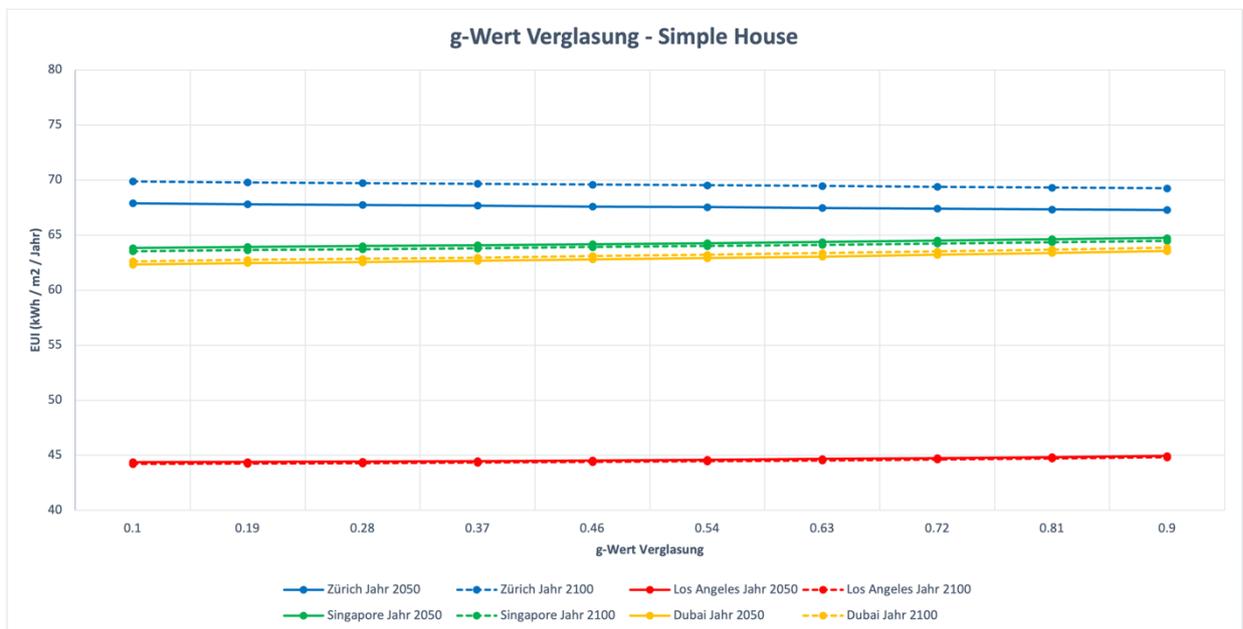
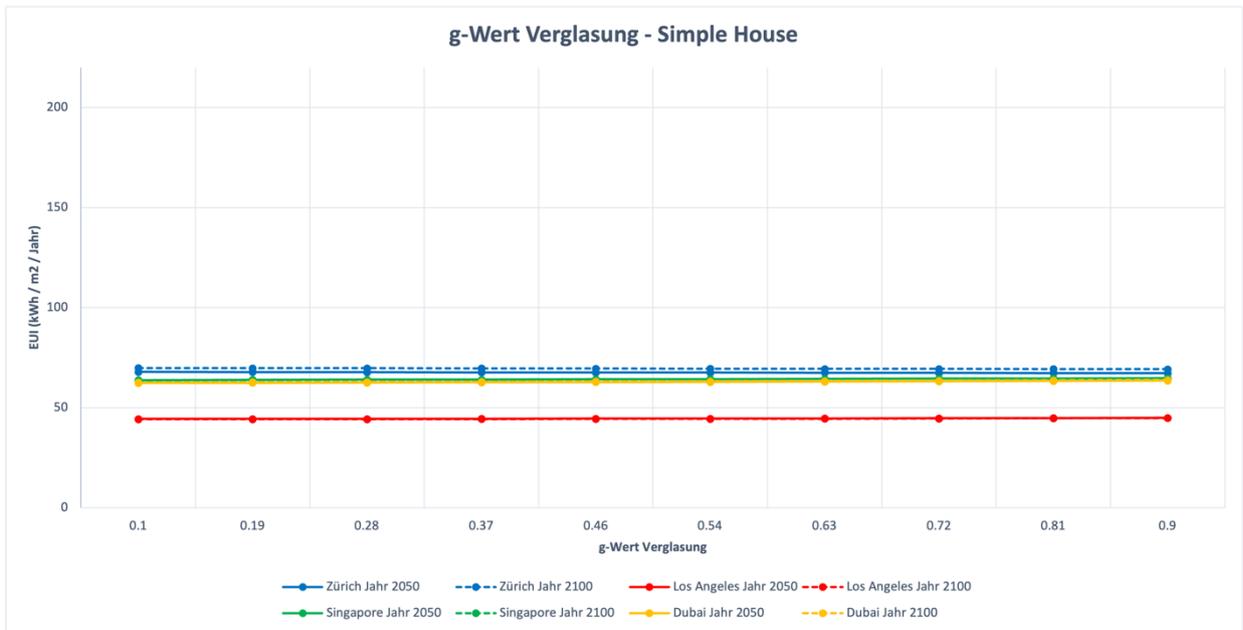
### Bewölkung

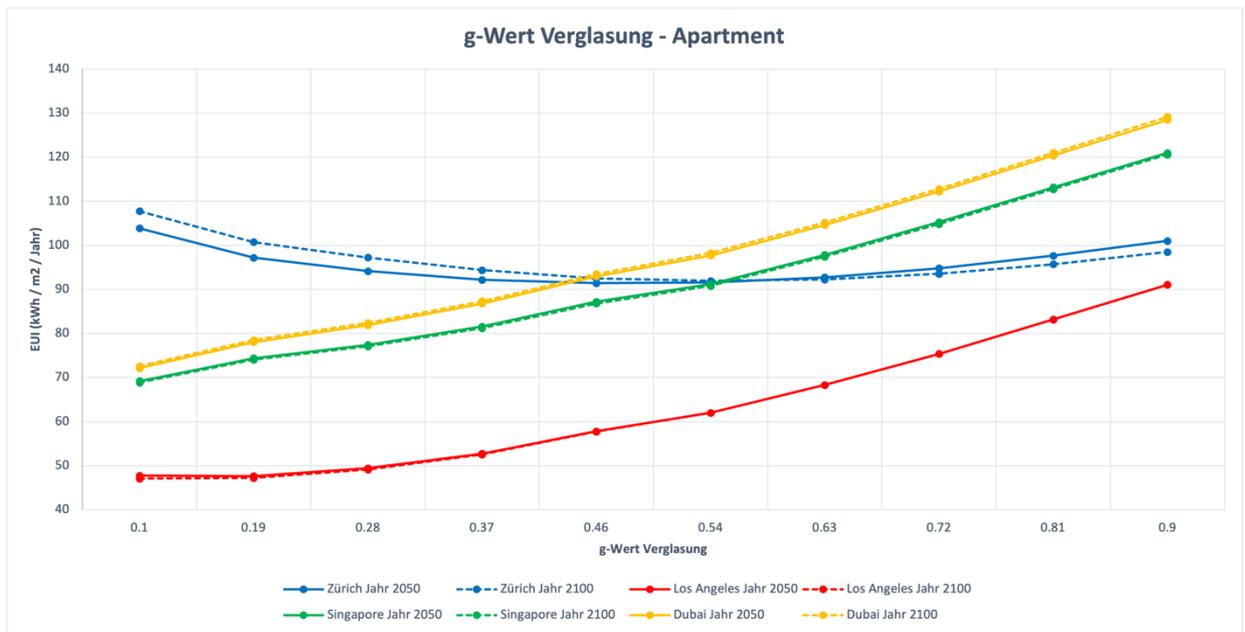
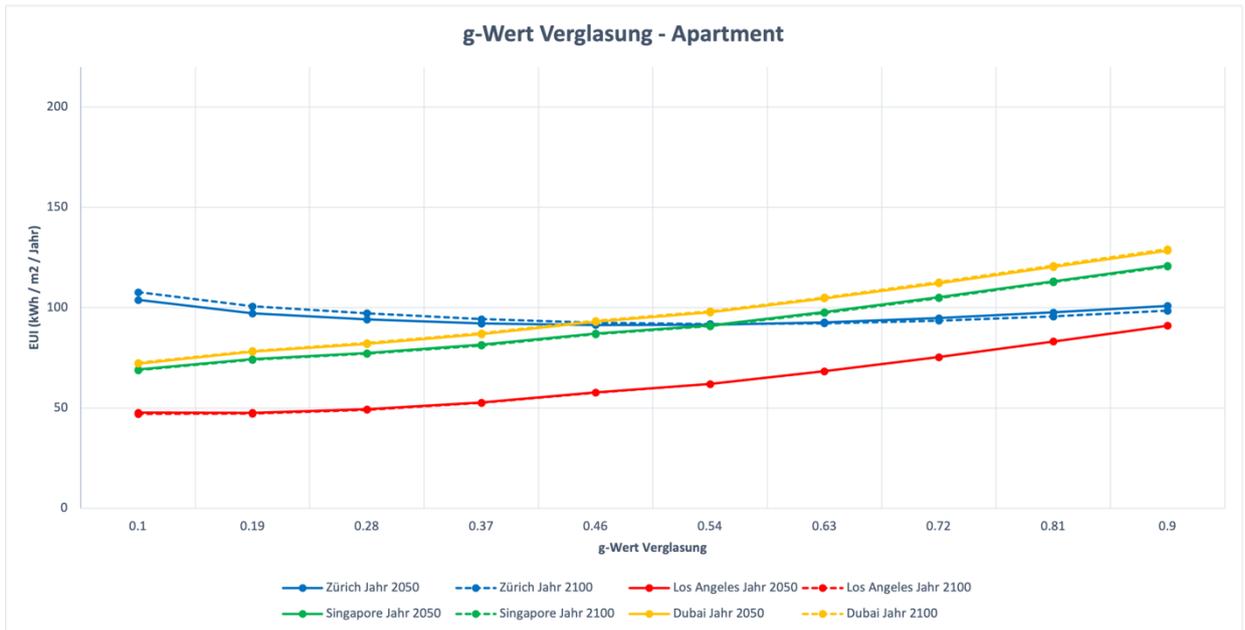


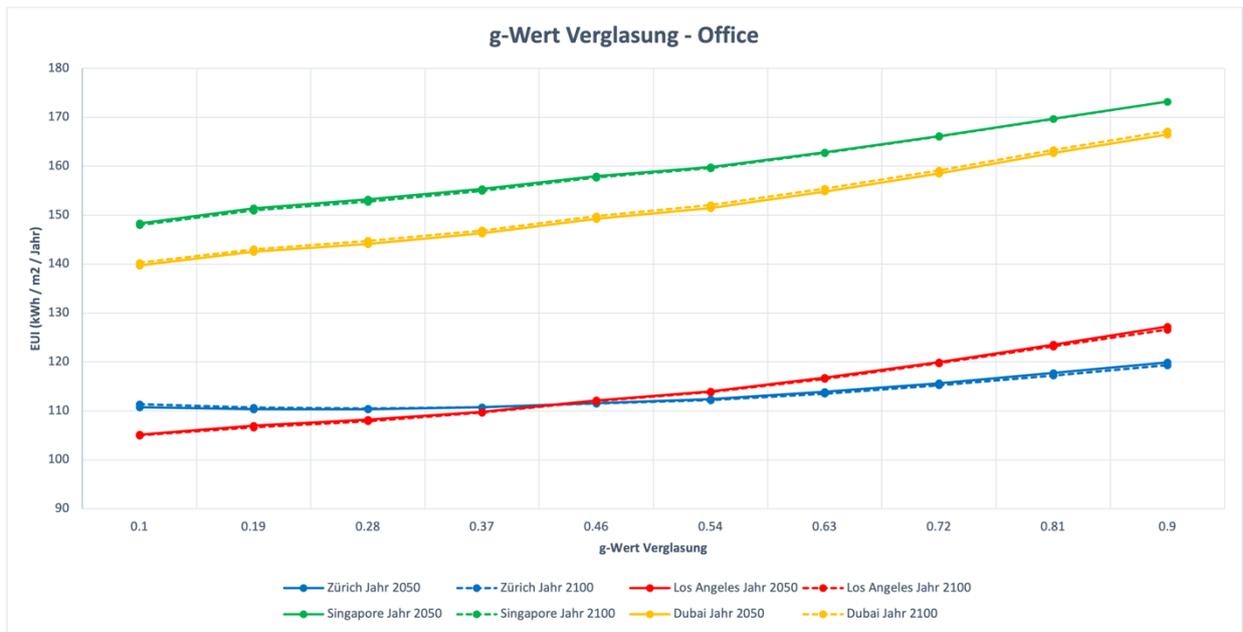
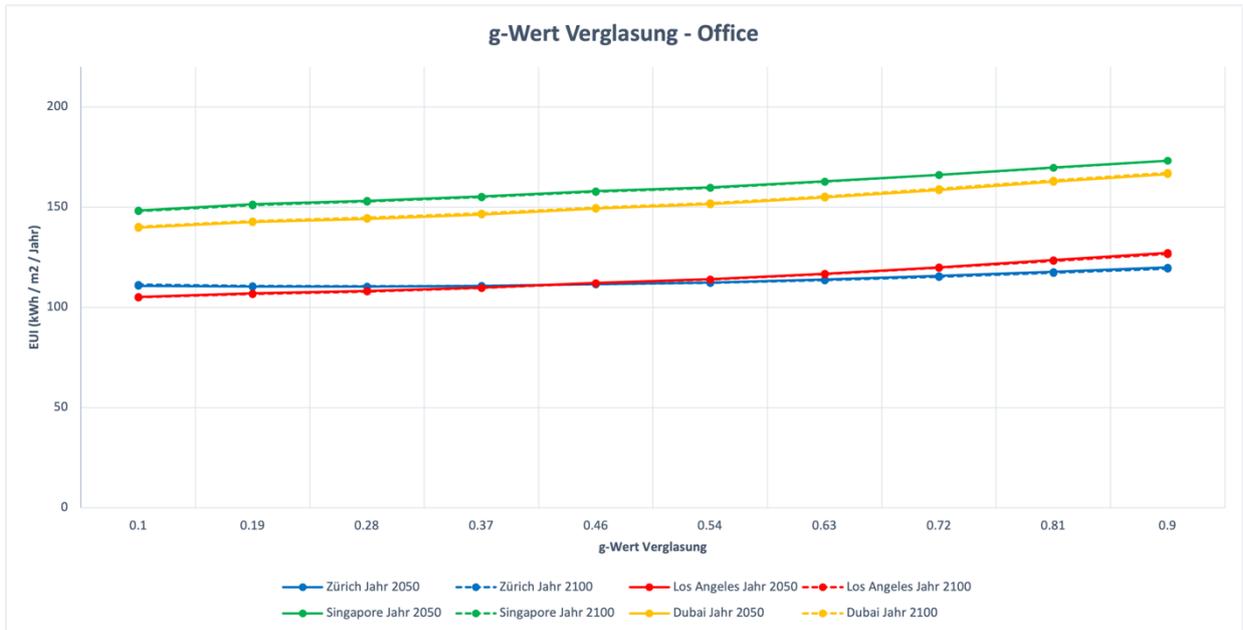
## A.2 Diagramme Gesamtenergiebedarf

### A.2.1 RCP 2.6

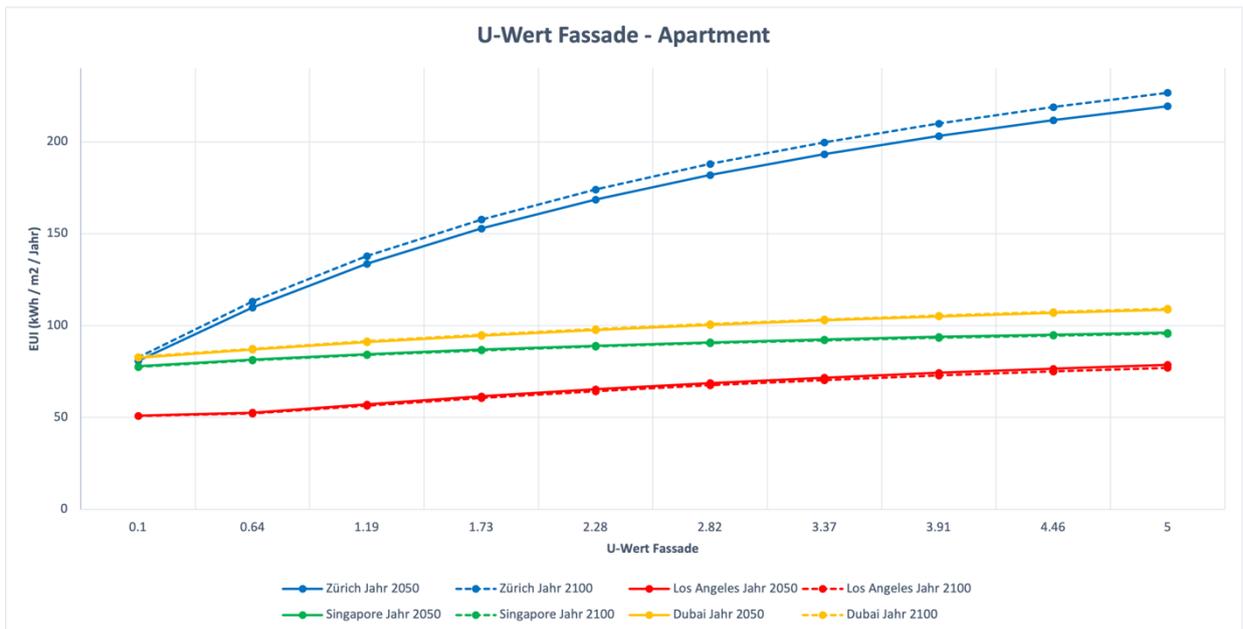
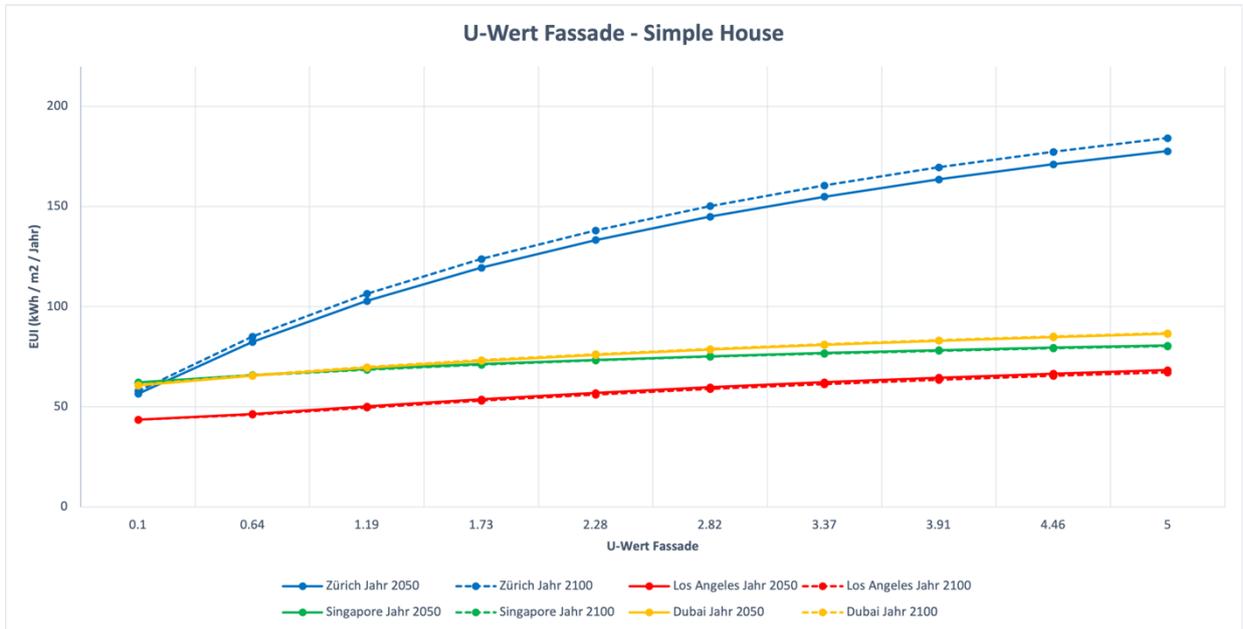
#### g-Wert Verglasung

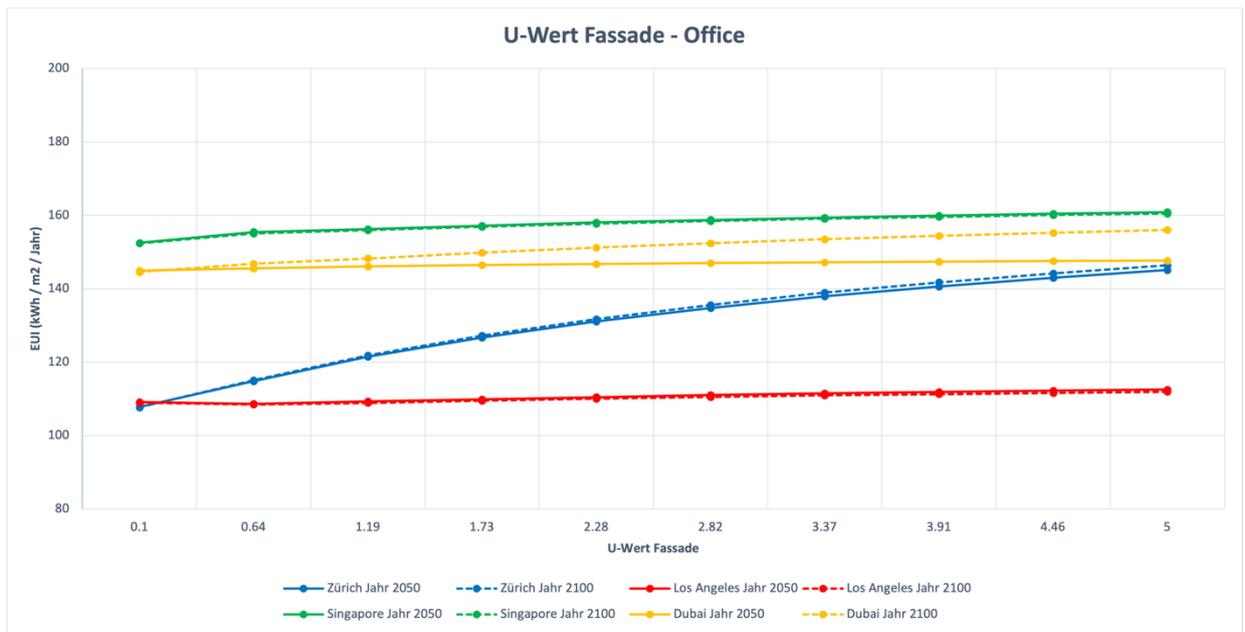
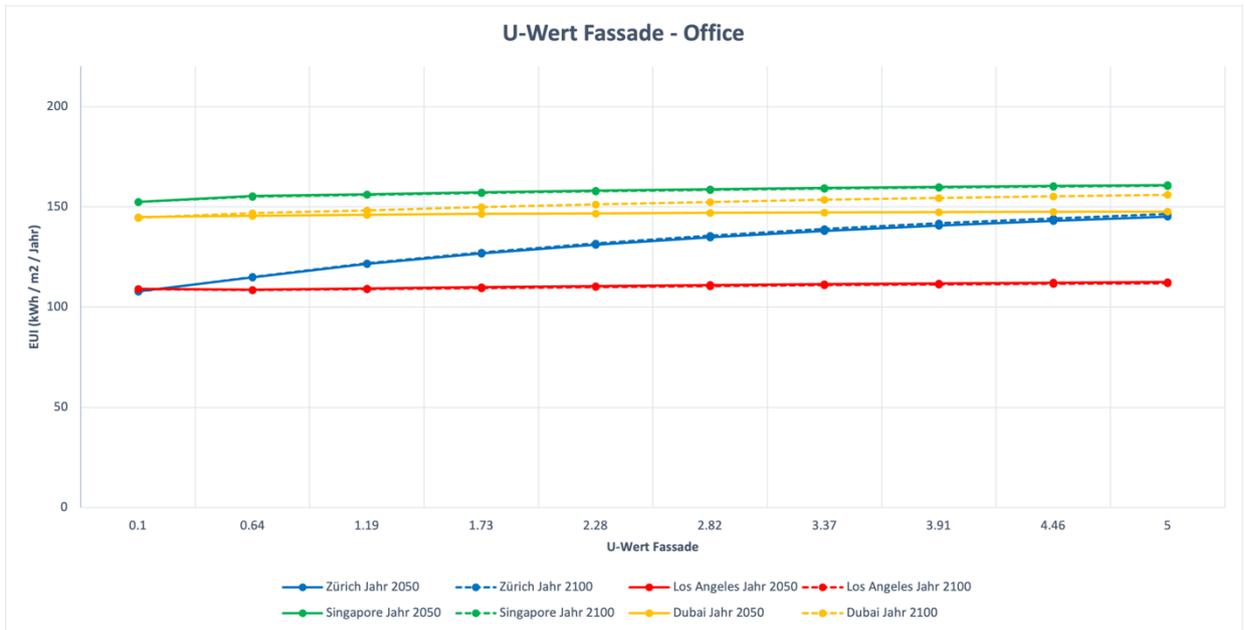




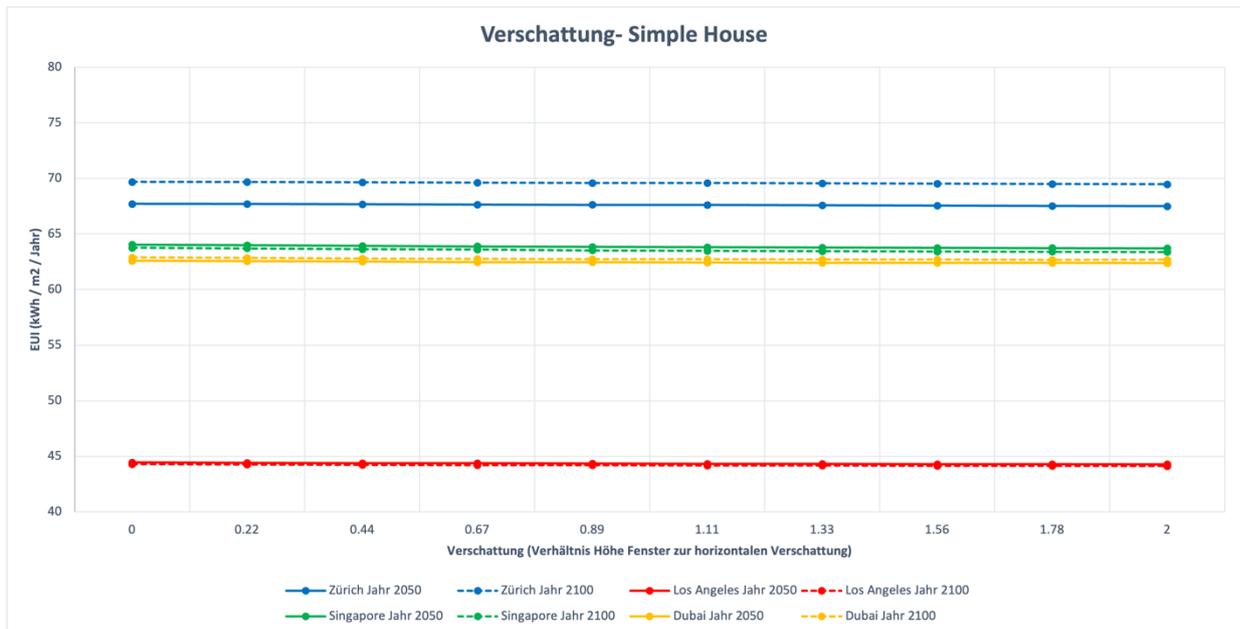
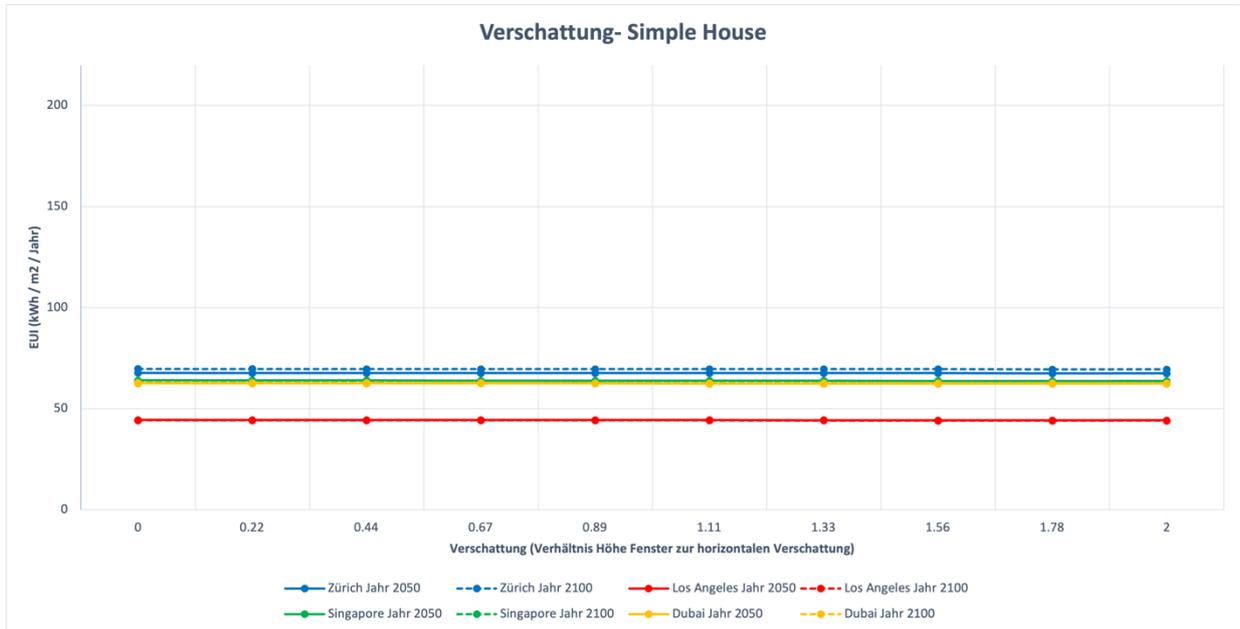


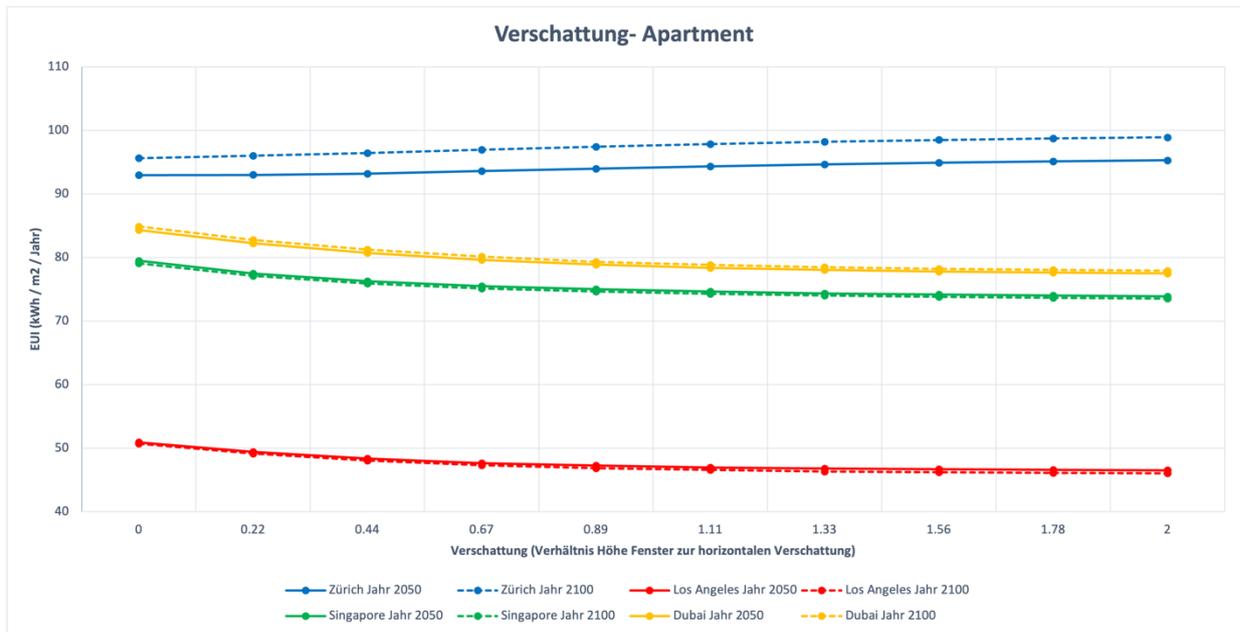
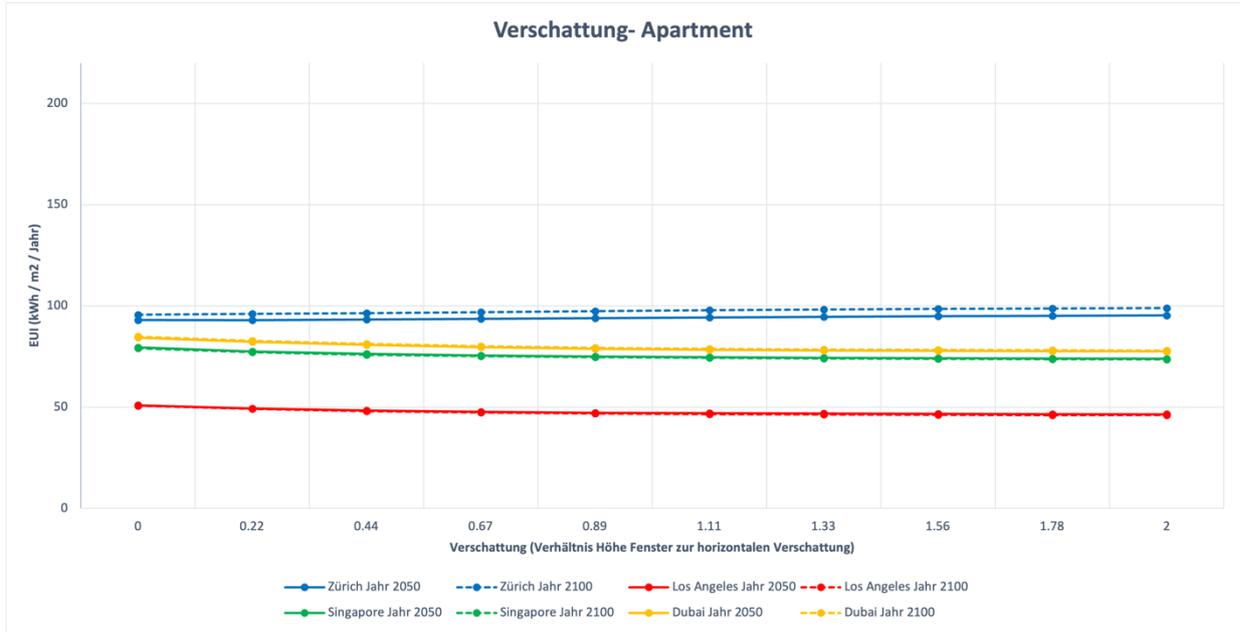
## U-Wert Fassade

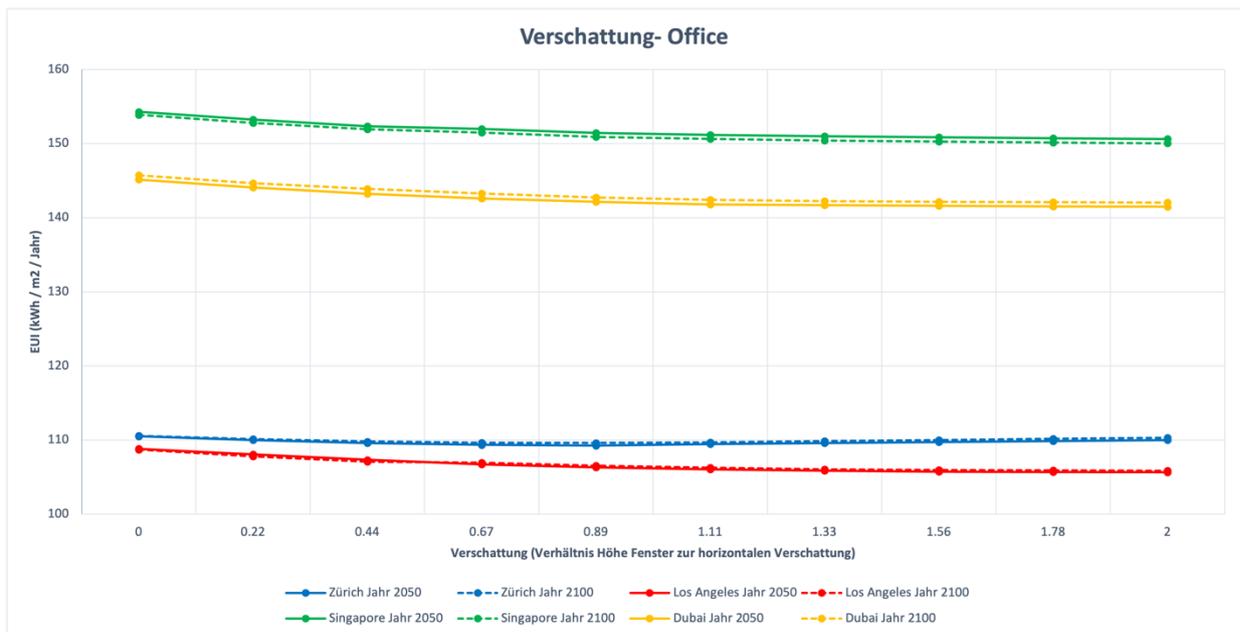
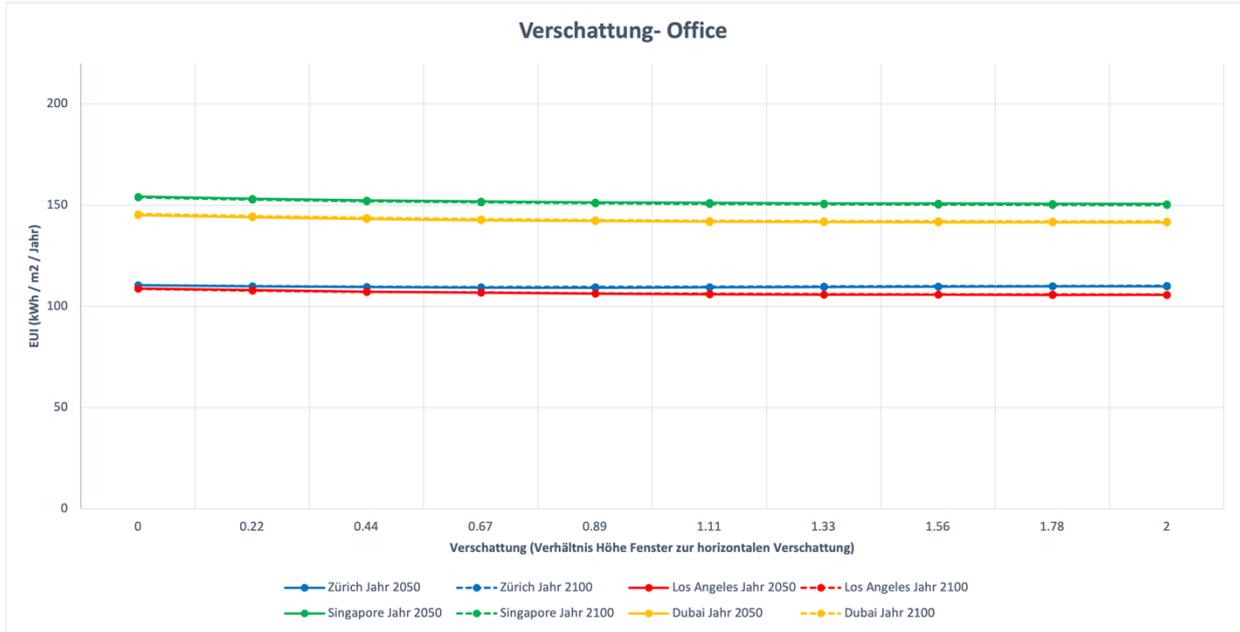




## Verschattung

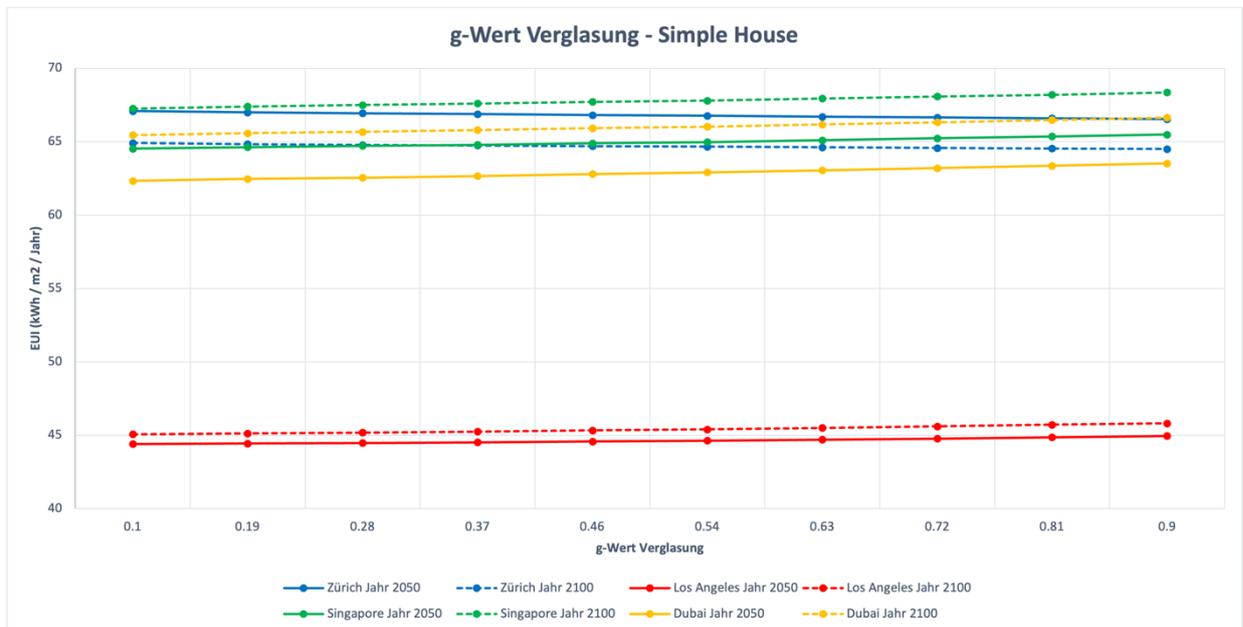
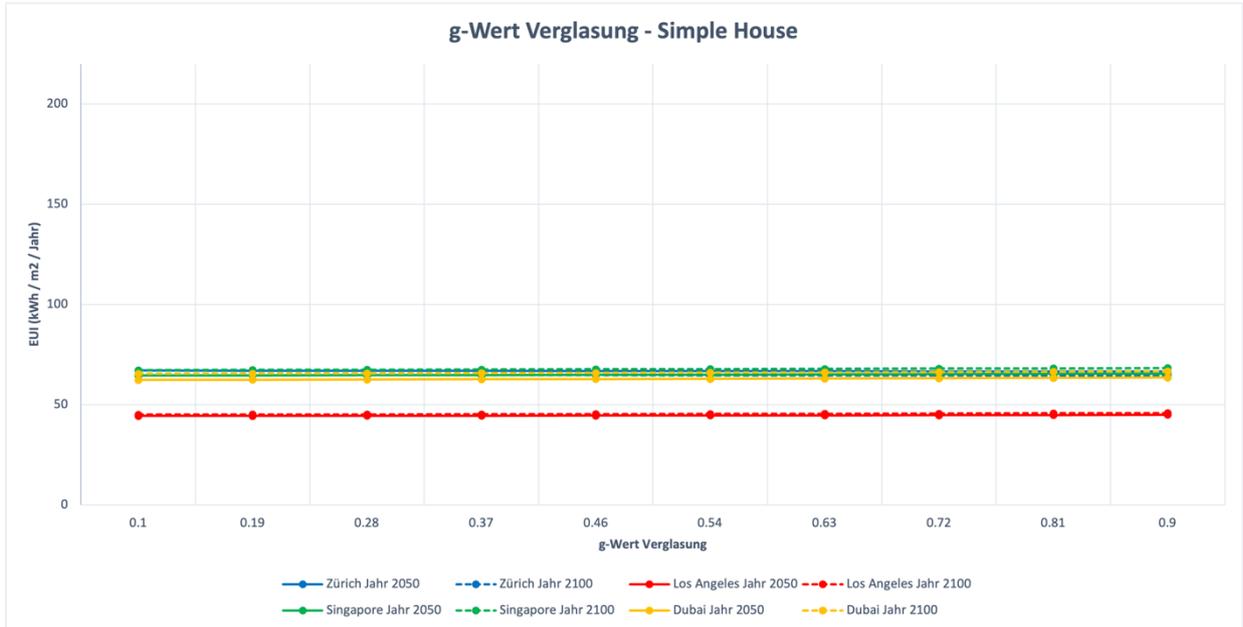


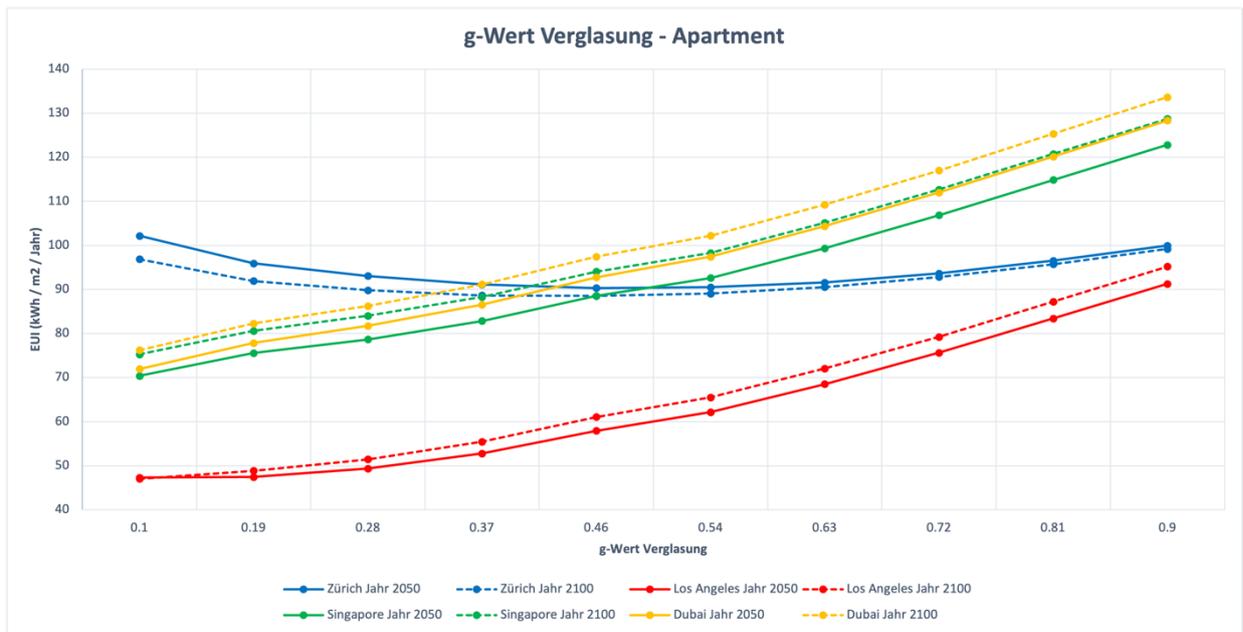


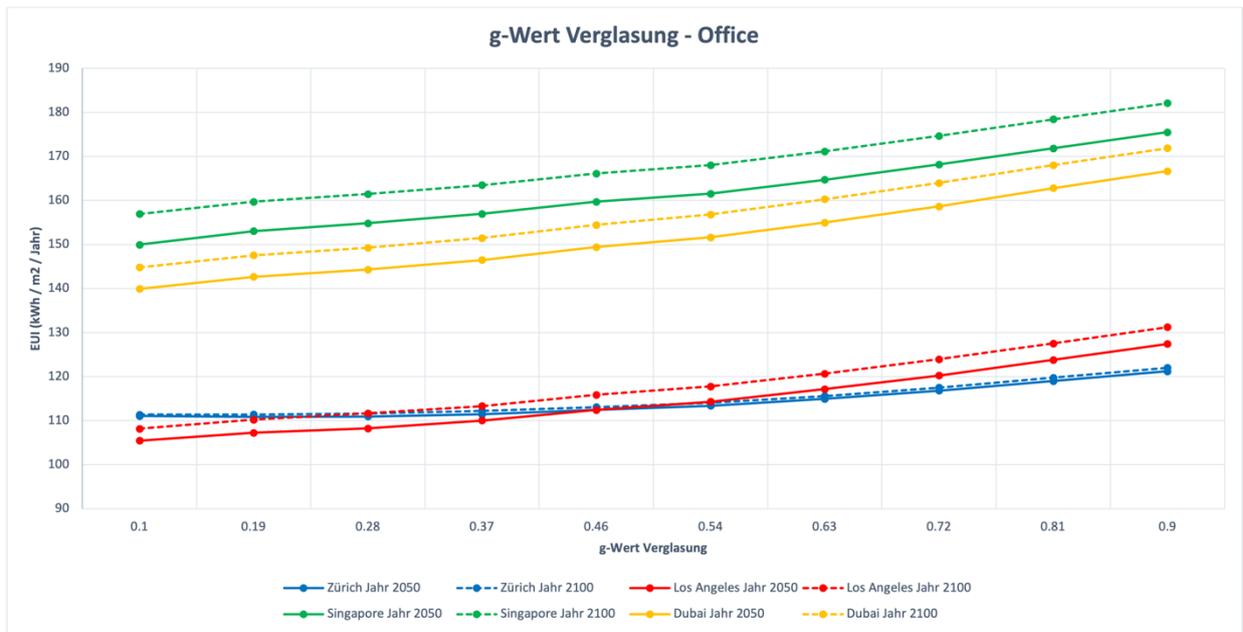
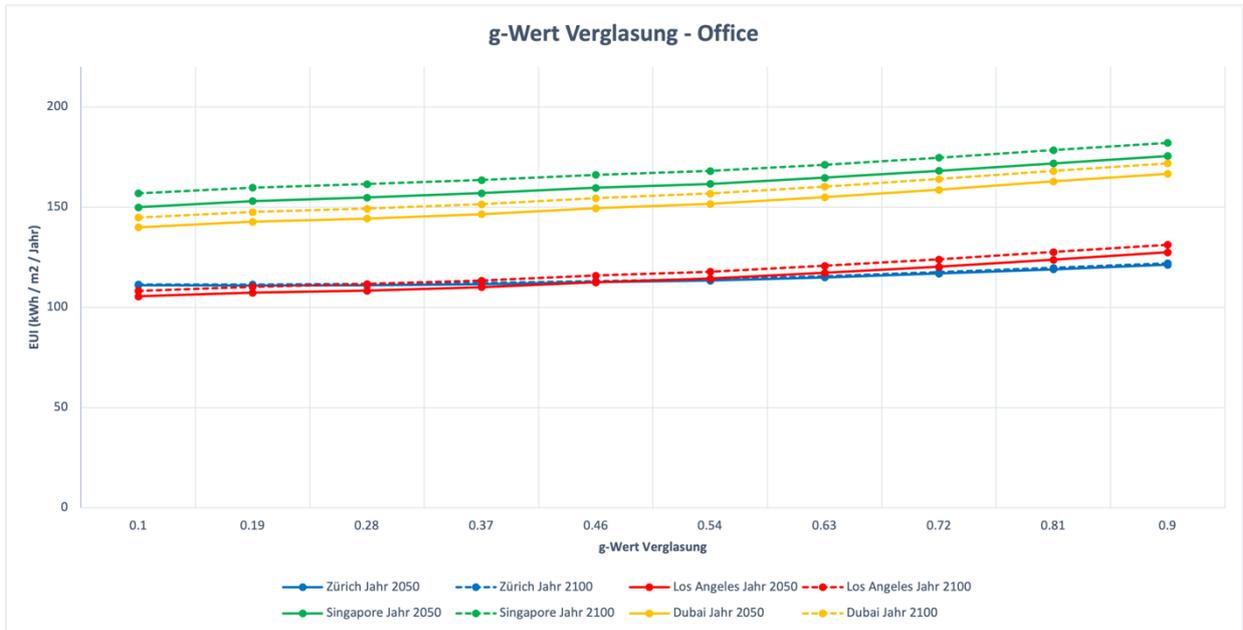


## A.2.2 RCP 4.5

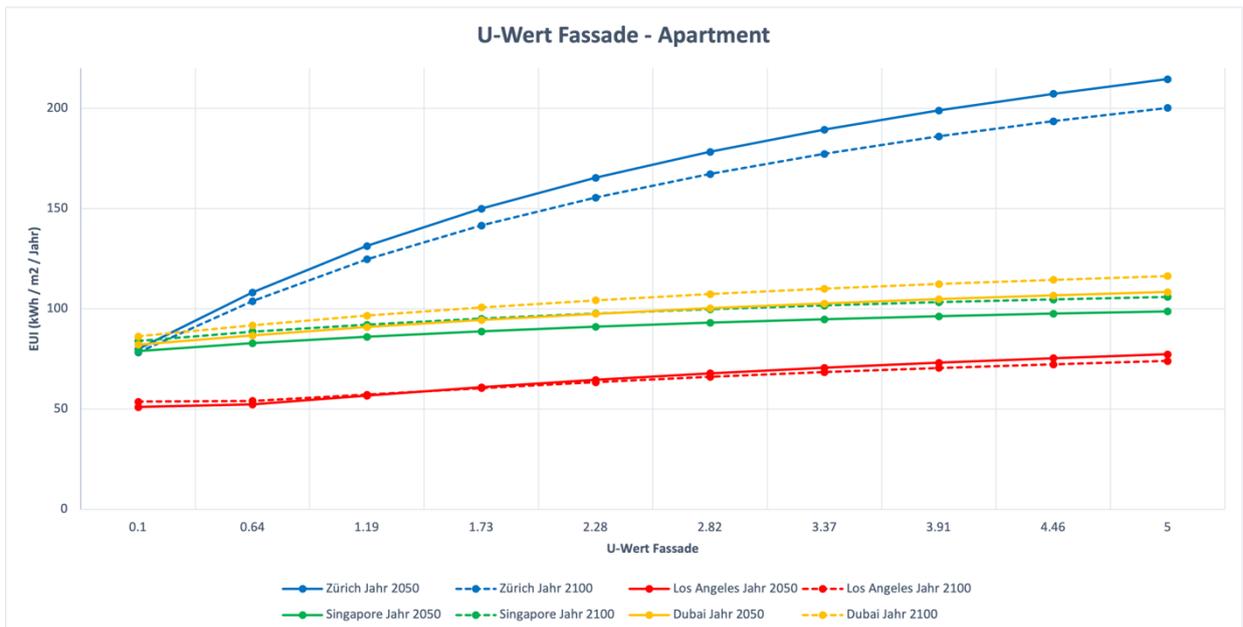
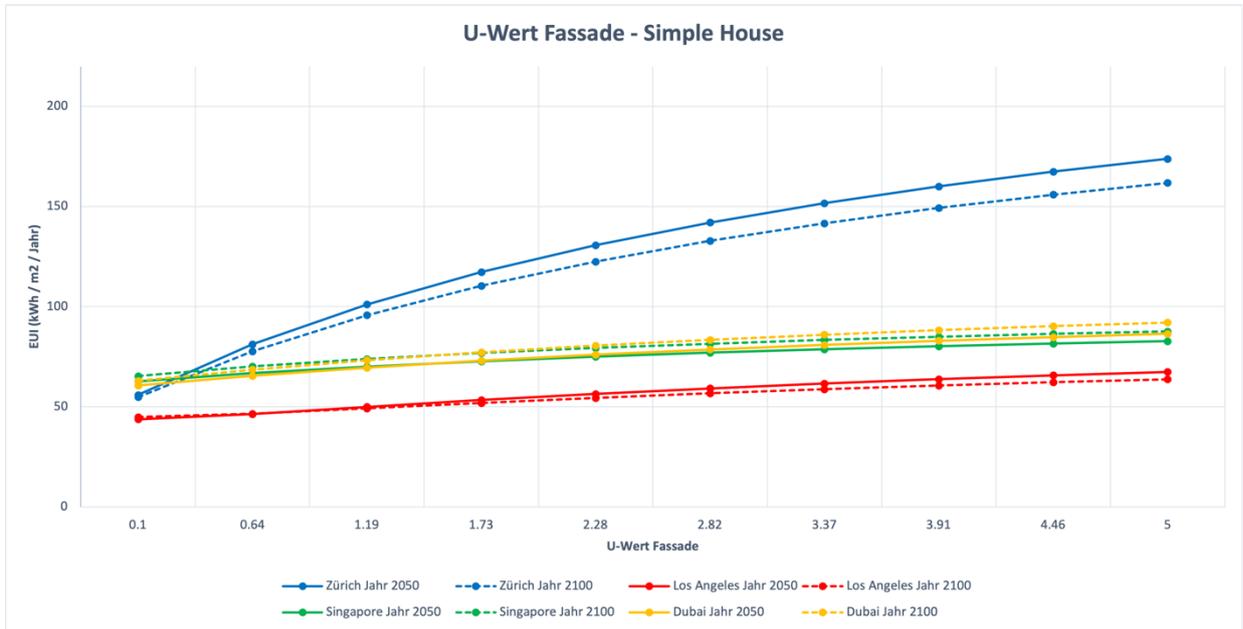
### g-Wert Verglasung

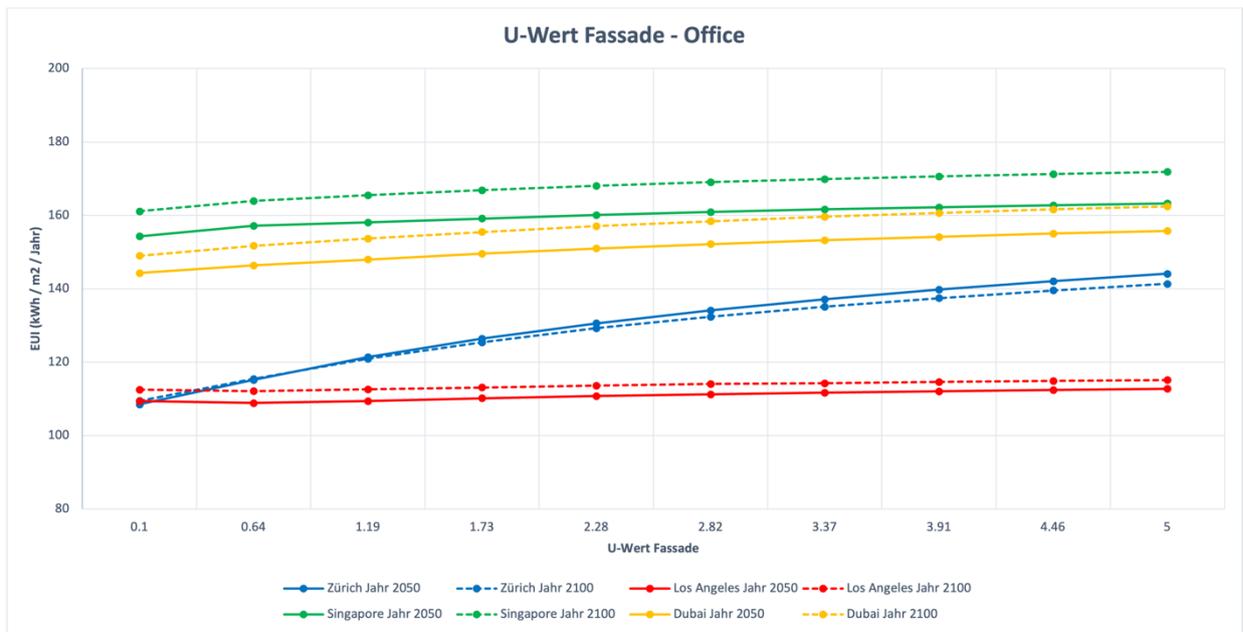
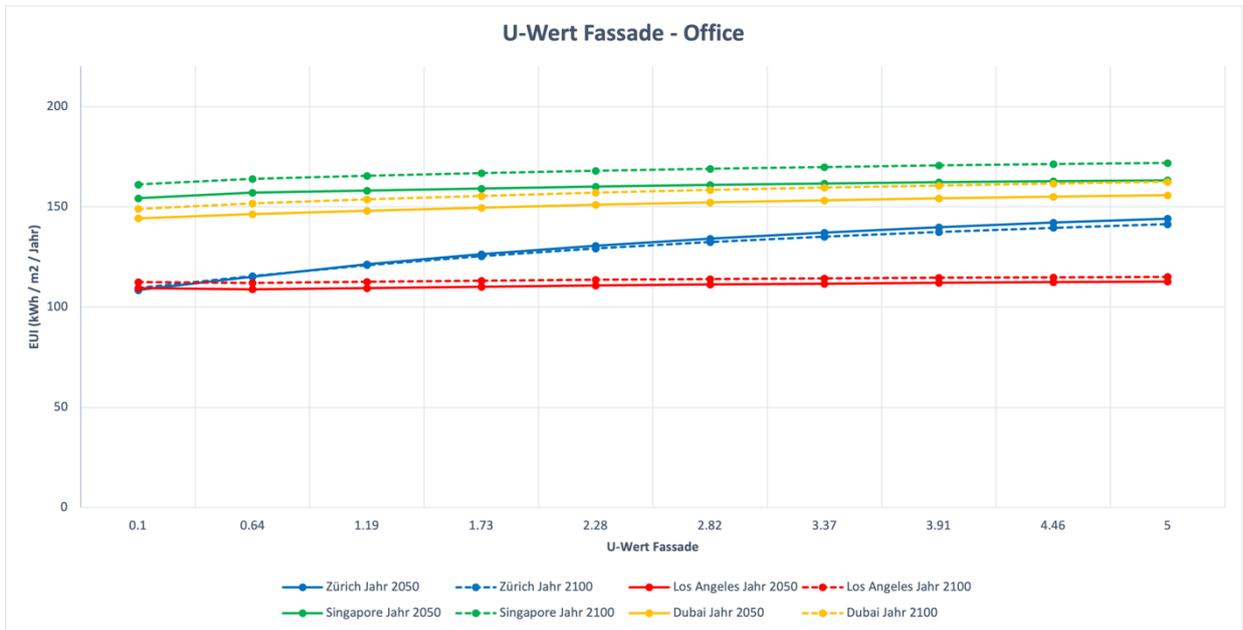




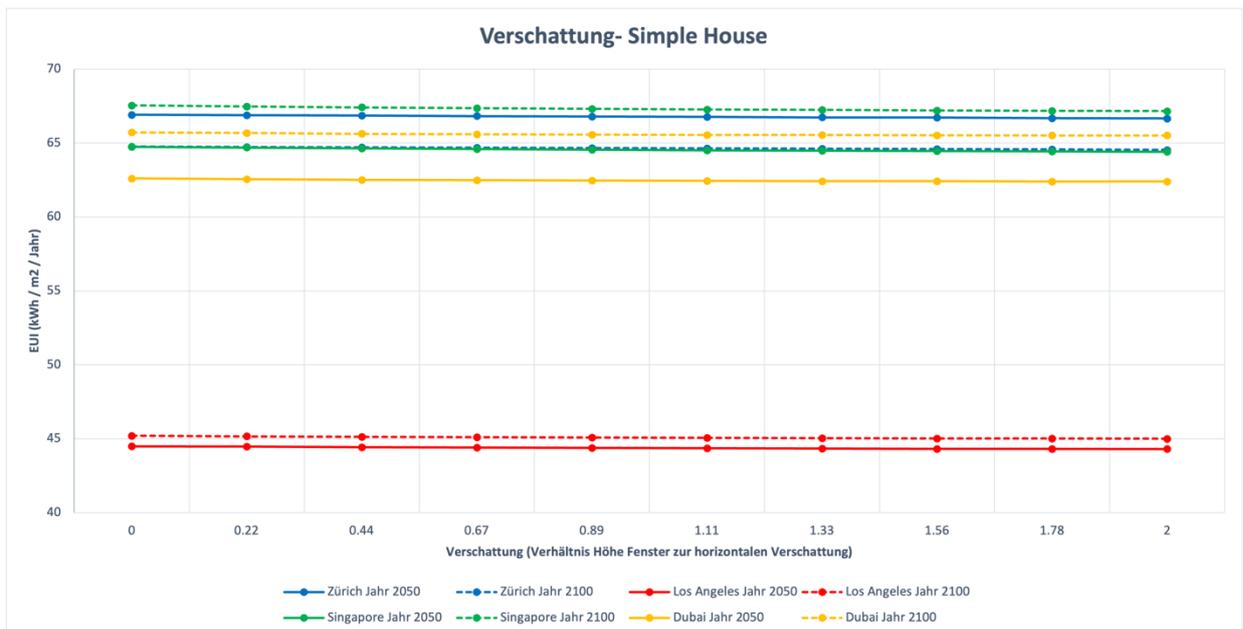
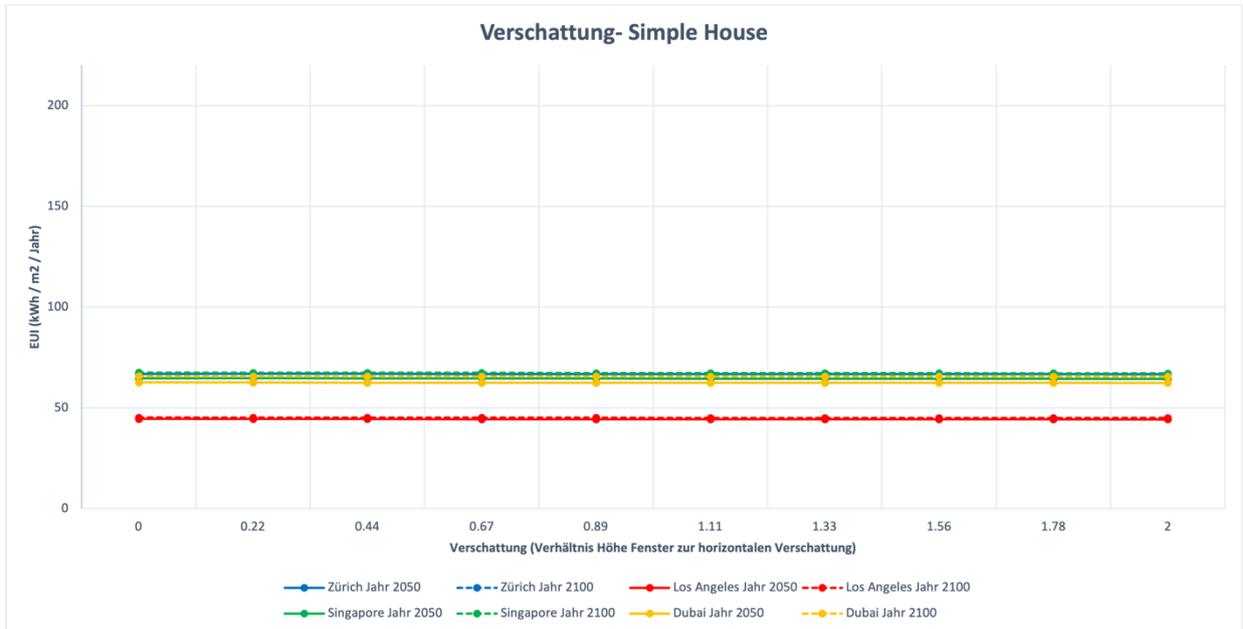


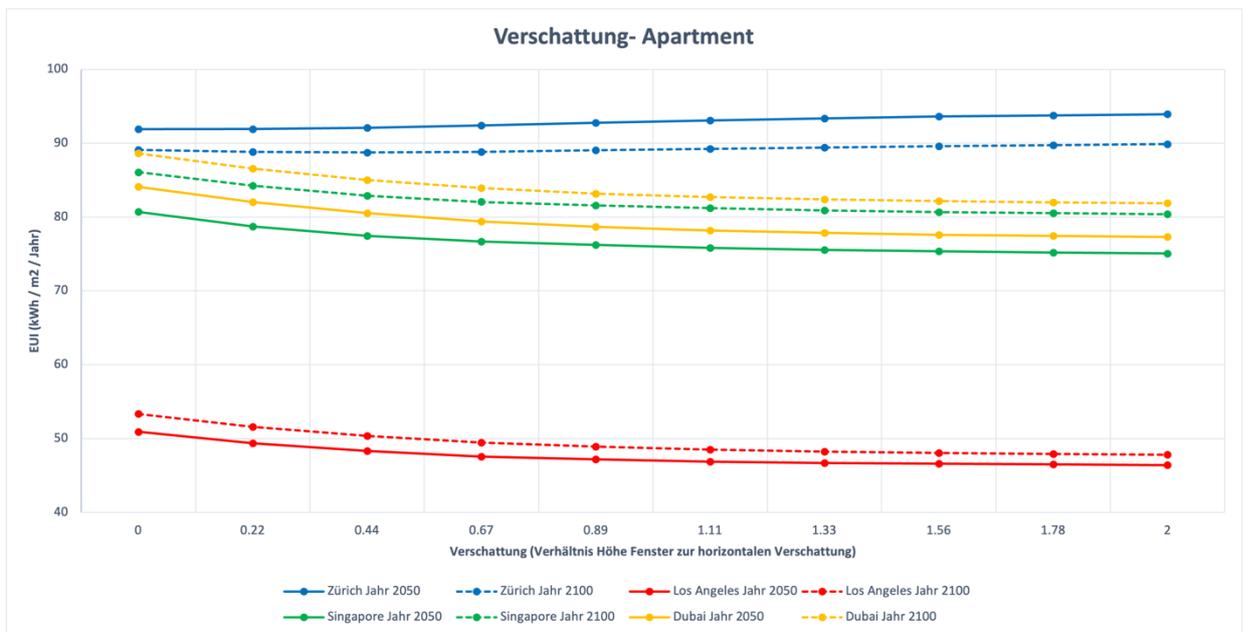
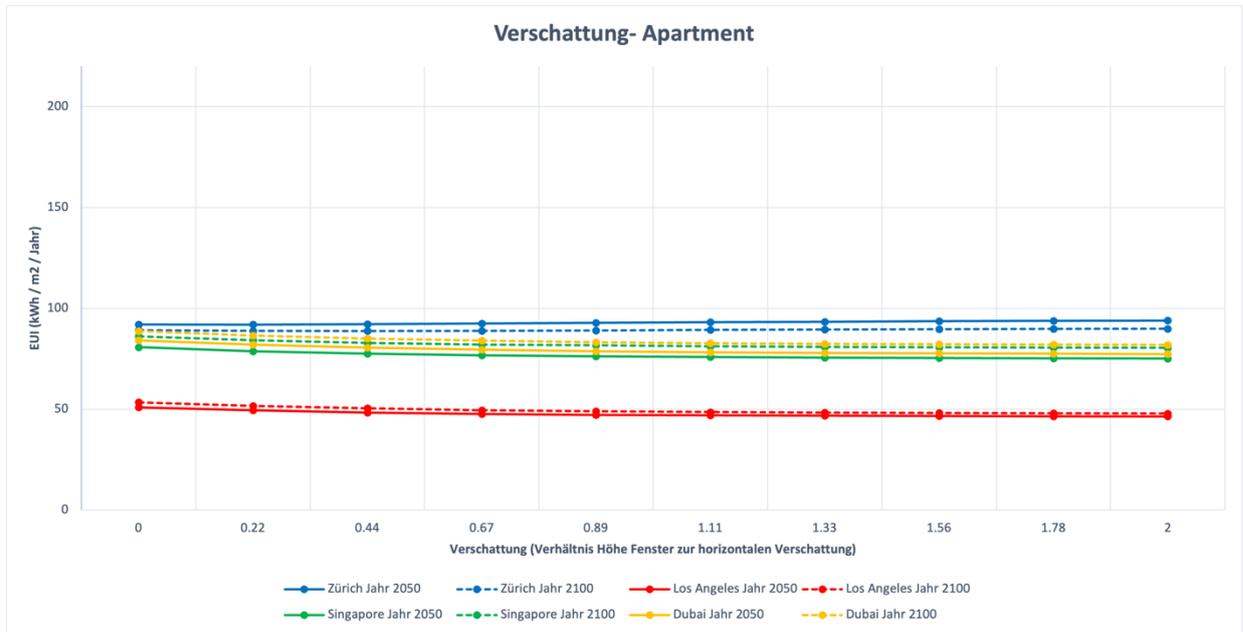
## U-Wert Fassade

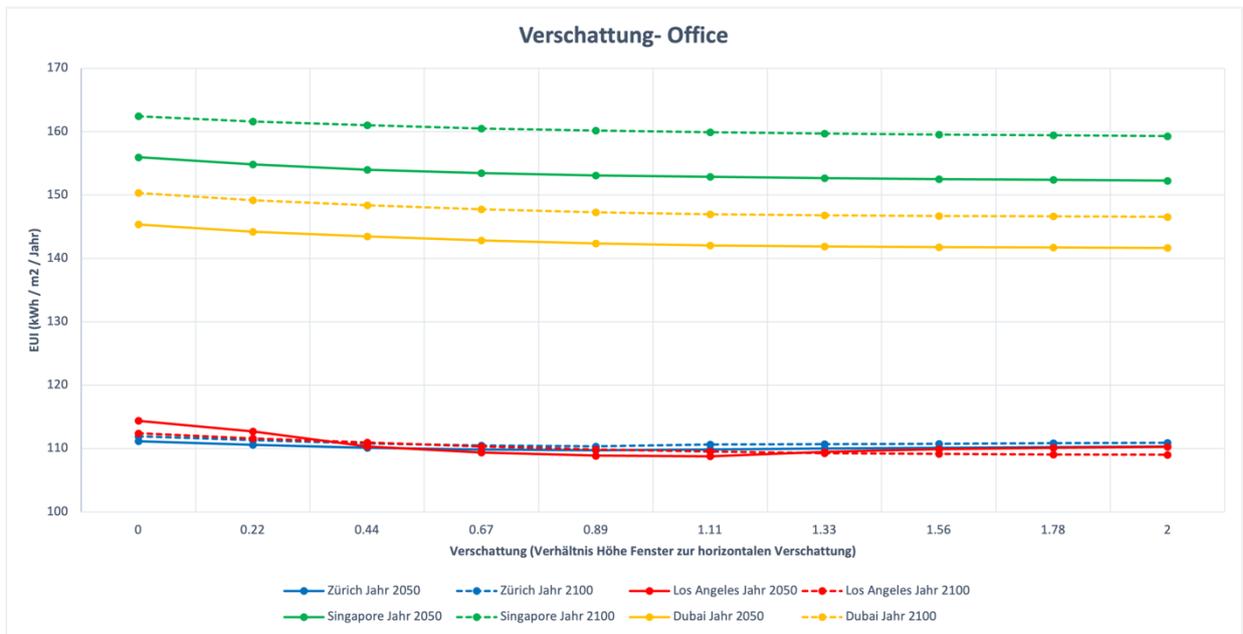
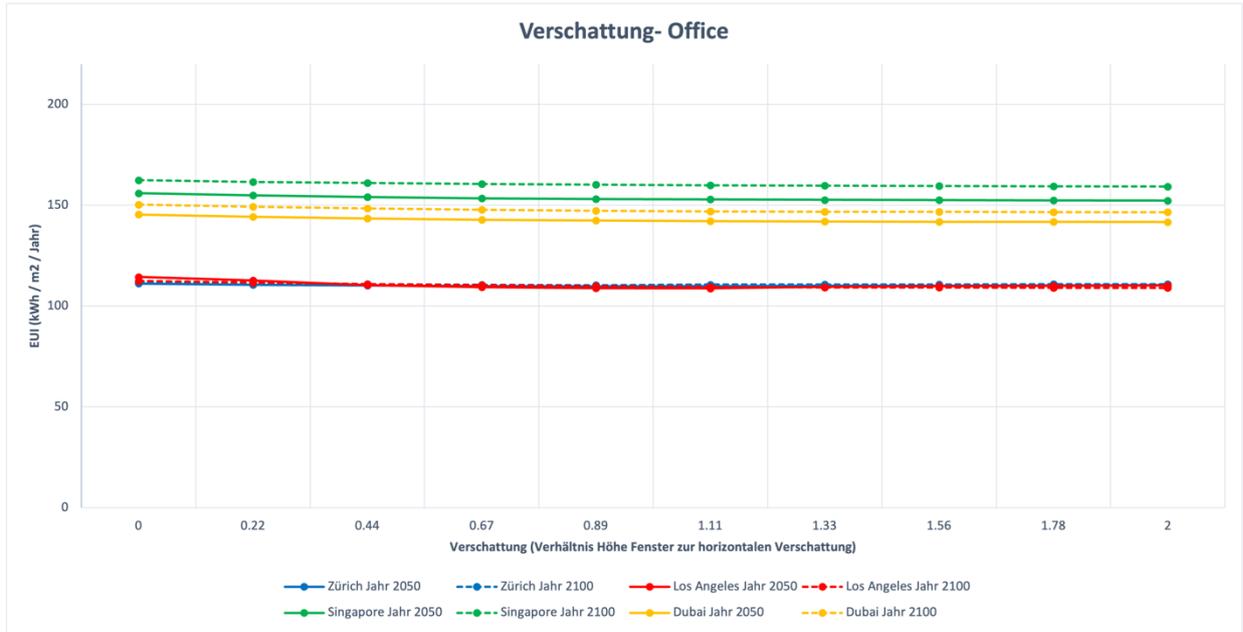




## Verschattung

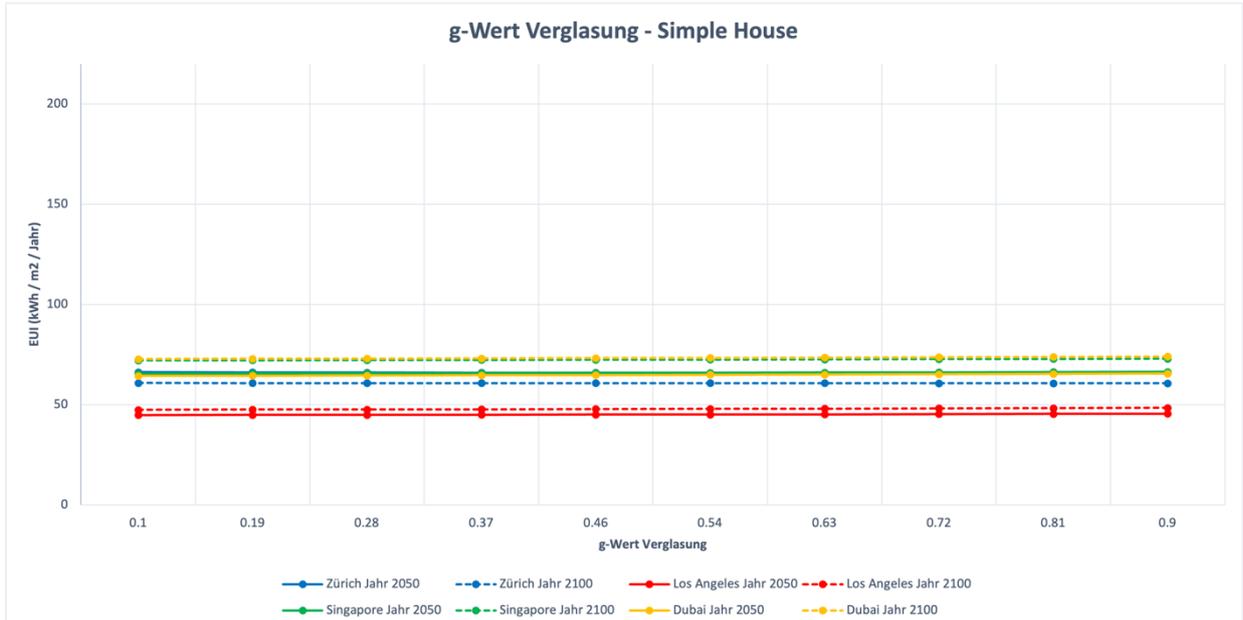


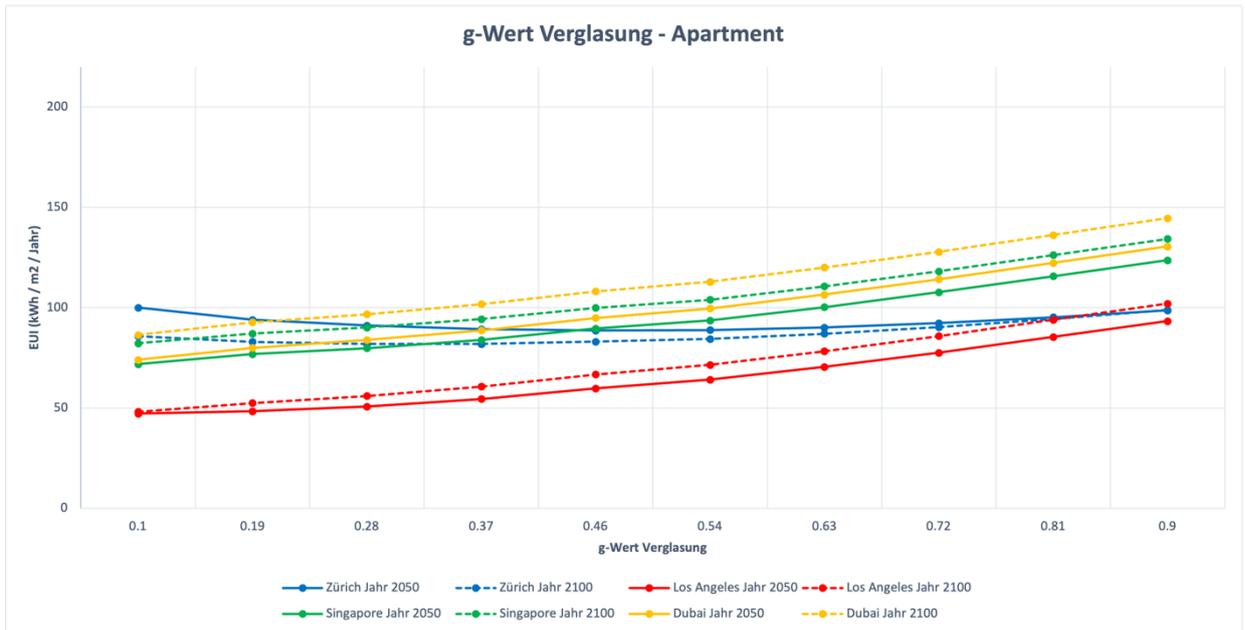


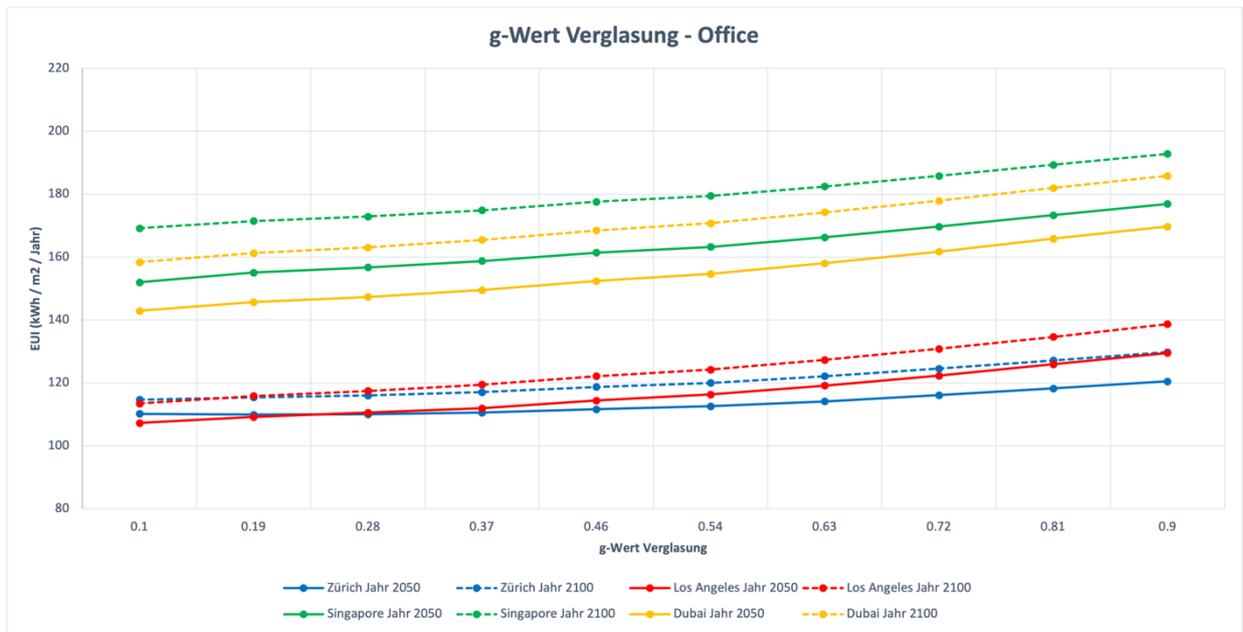
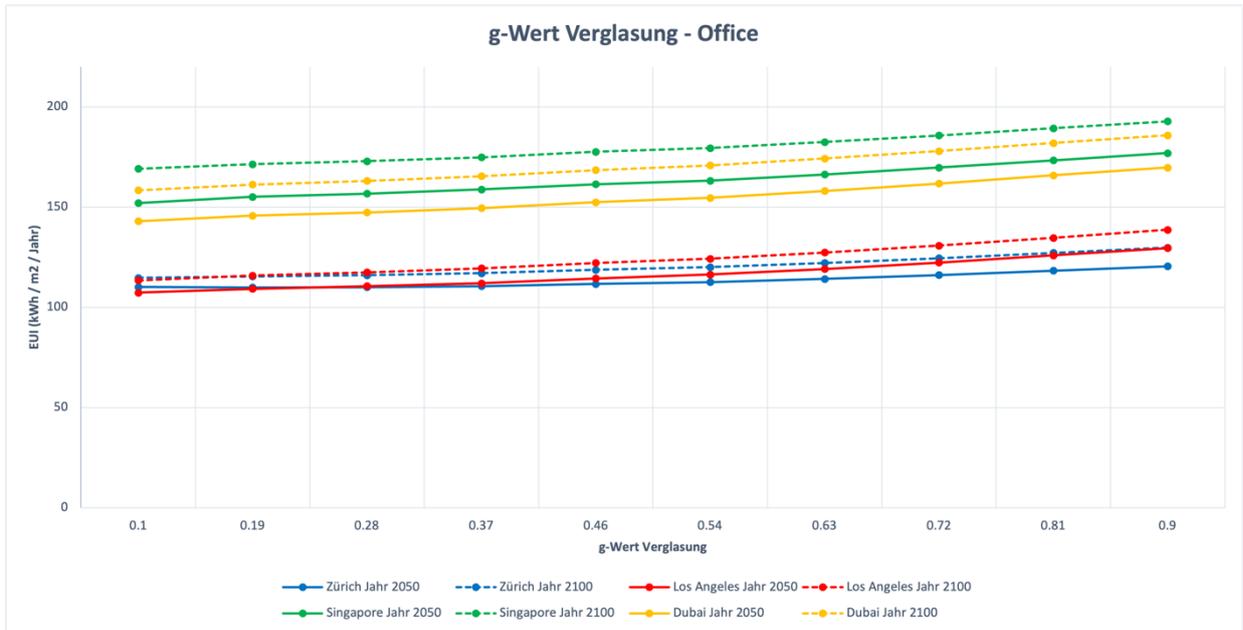


### A.2.3 RCP 8.5

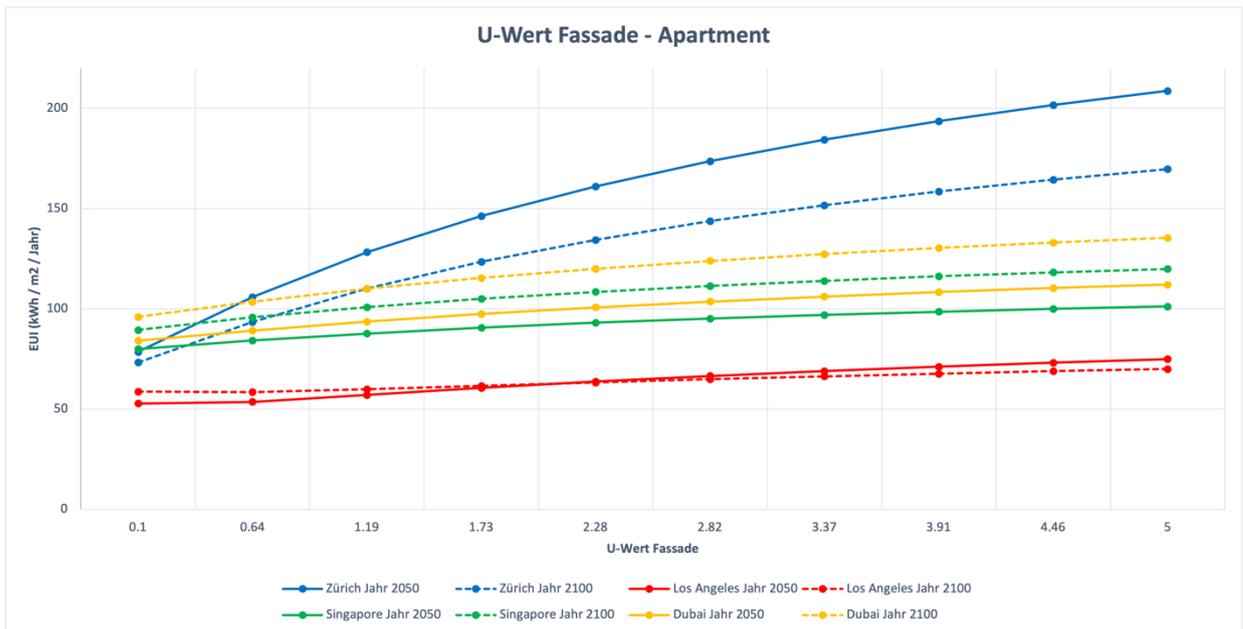
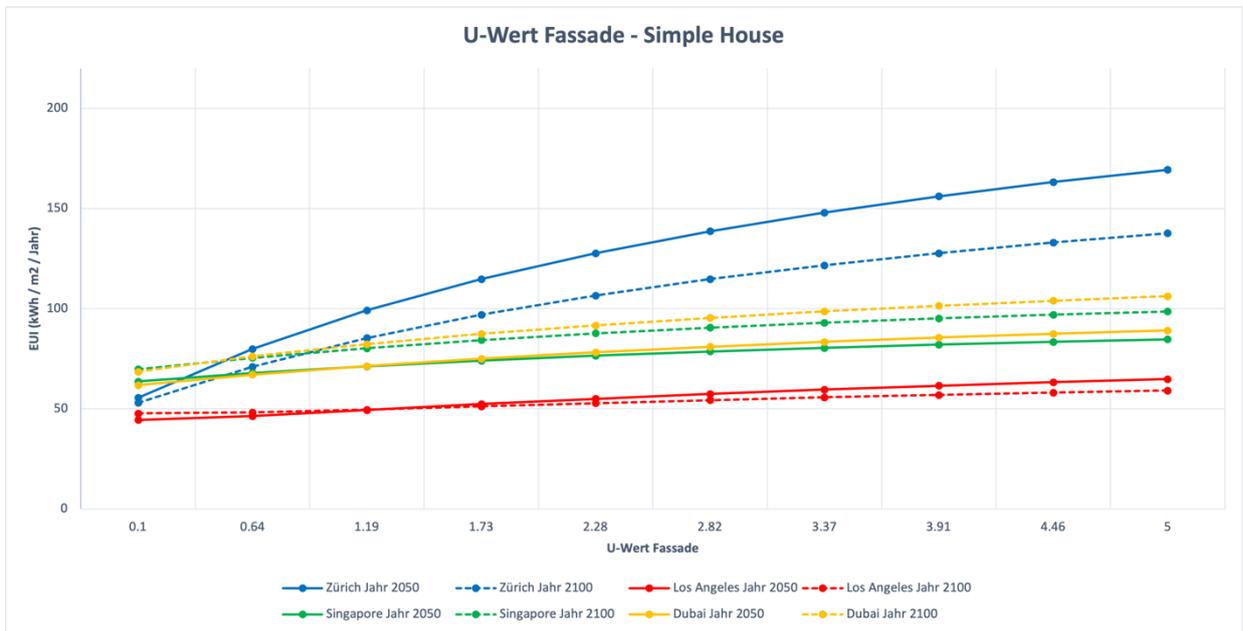
#### g-Wert Verglasung

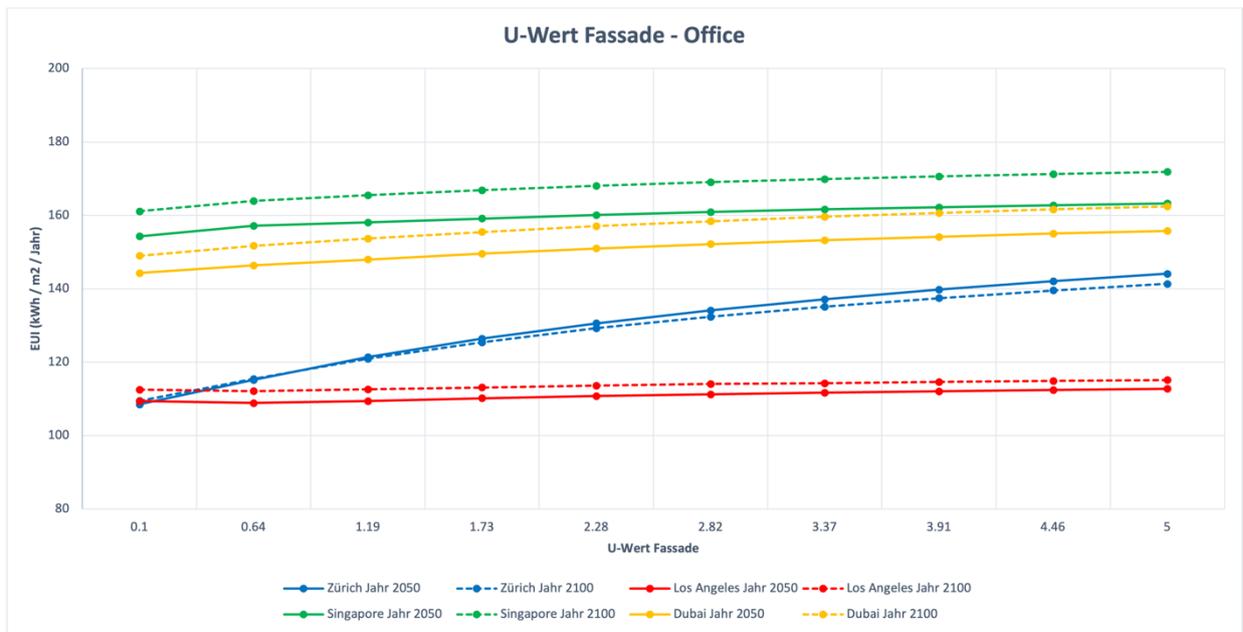
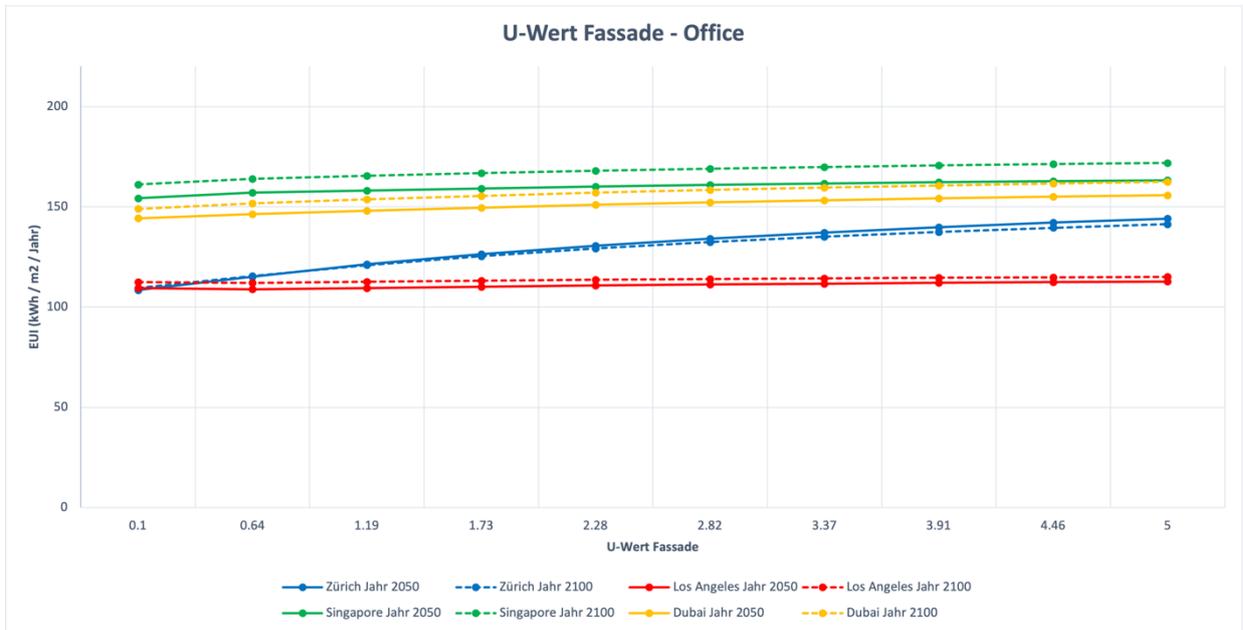




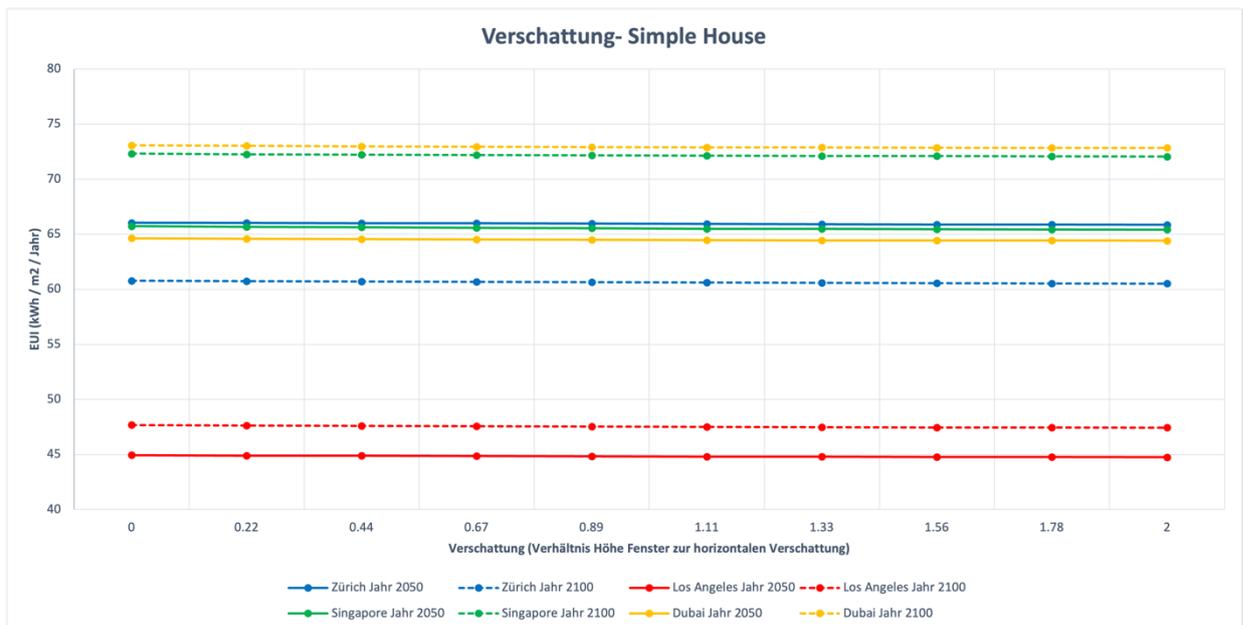
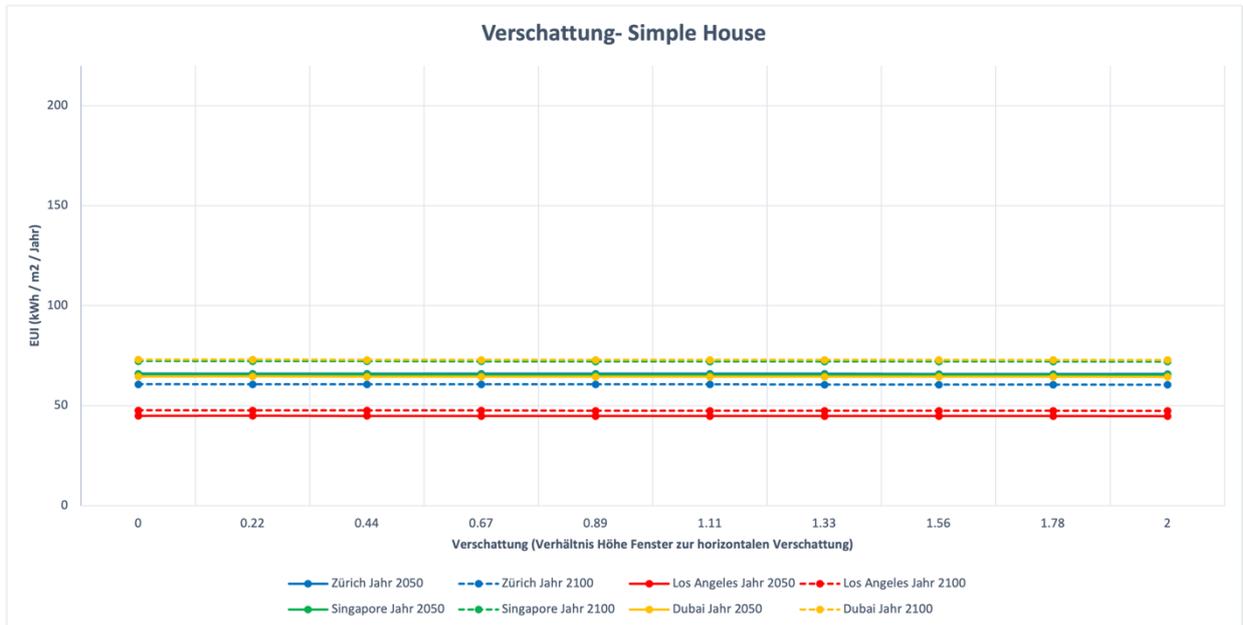


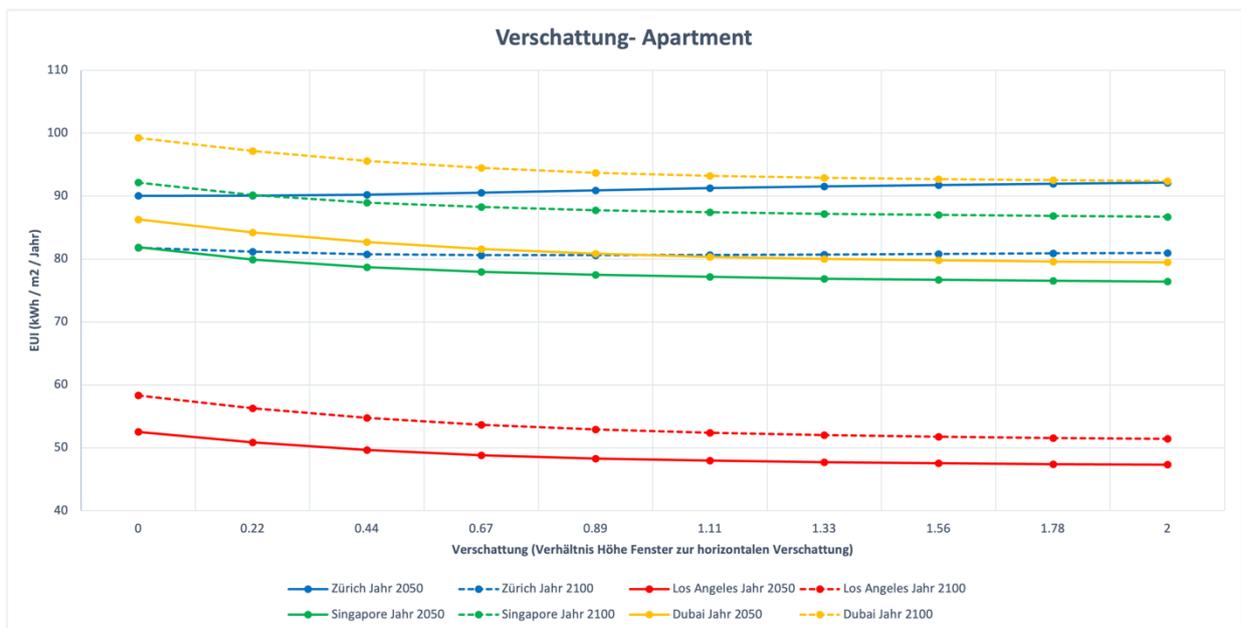
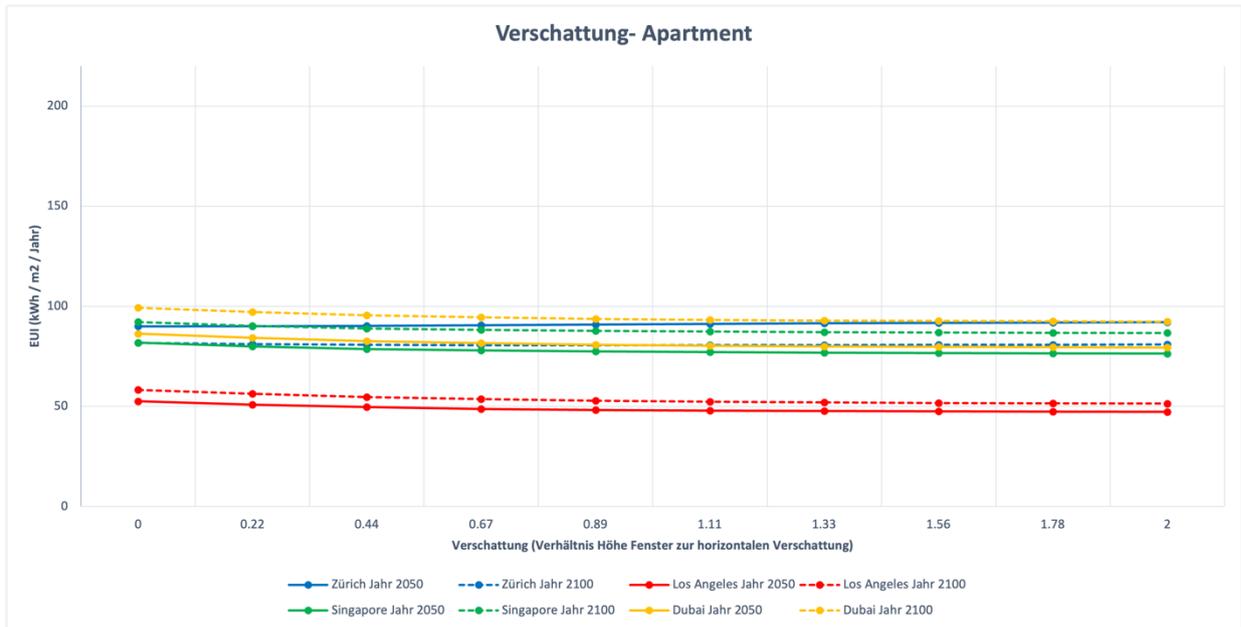
## U-Wert Fassade

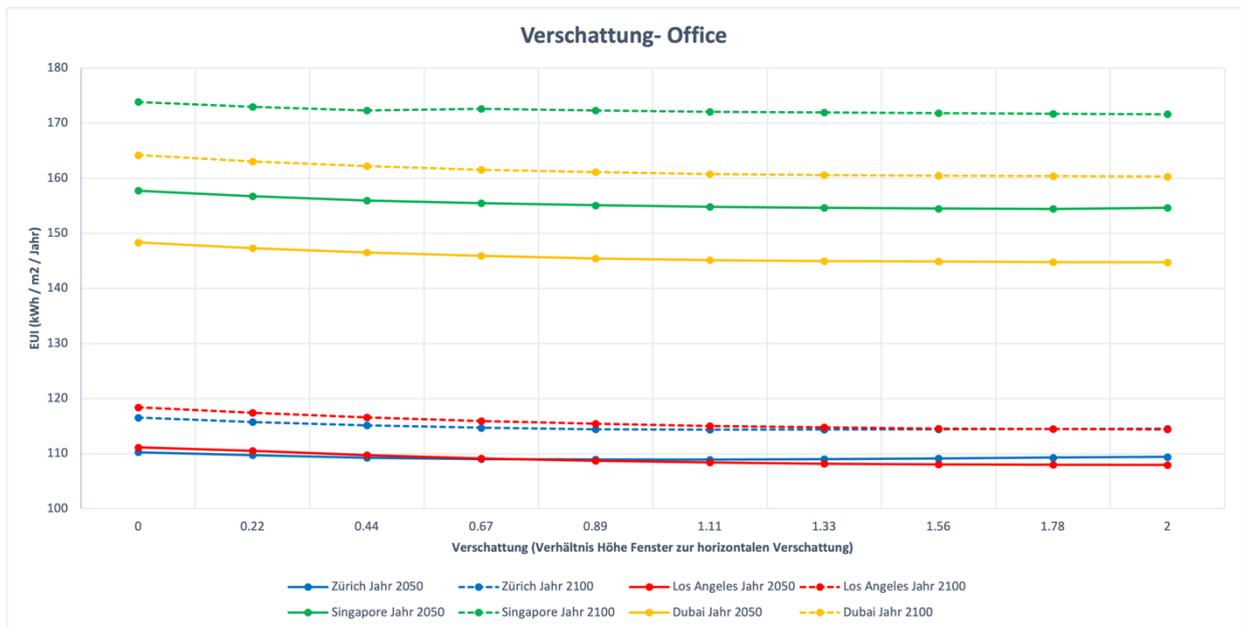
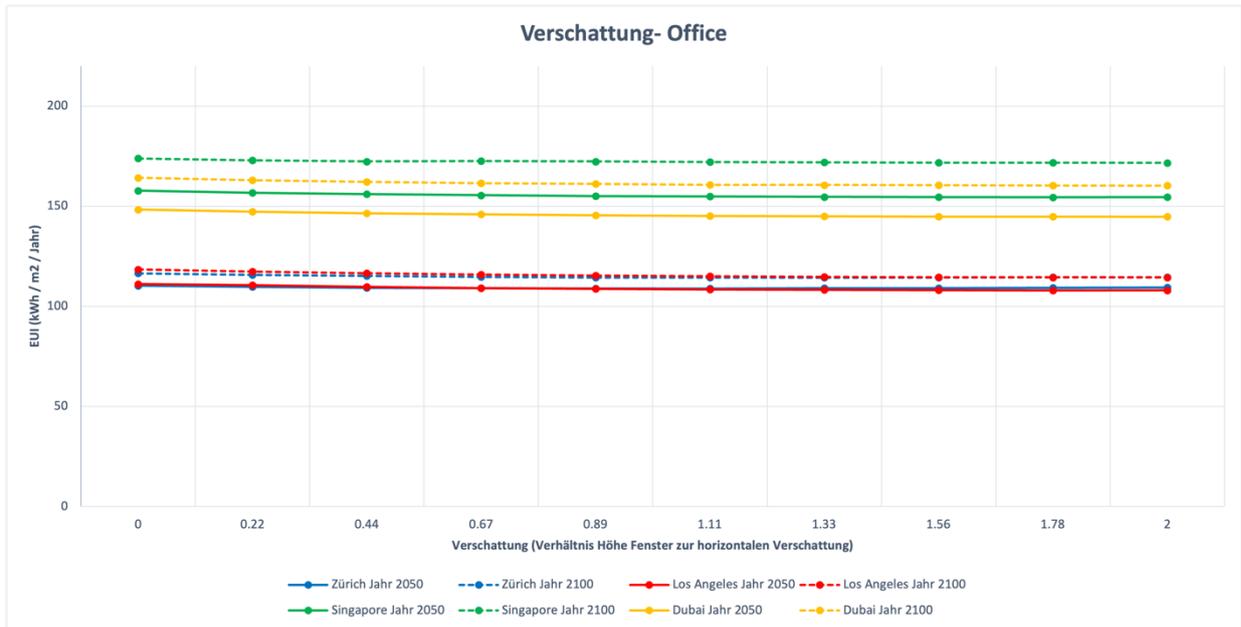




## Verschattung







## A.3 Berechnungsgrundlagen

### A.3.1 Gesamtenergieverbrauch – Szenario RCP 2.6

<b>Simple House</b>										
<b>g-Wert Verglasung</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>g-Wert Verglasung - Simple House</b>										
Zürich Jahr 2050	67.9	67.8	67.74	67.68	67.59	67.54	67.47	67.4	67.33	67.28
Zürich Jahr 2100	69.88	69.78	69.72	69.66	69.58	69.53	69.46	69.39	69.32	69.25
Los Angeles Jahr 205	44.38	44.4	44.43	44.48	44.54	44.59	44.67	44.75	44.84	44.94
Los Angeles Jahr 210	44.22	44.25	44.28	44.33	44.39	44.45	44.53	44.62	44.72	44.82
Singapore Jahr 2050	63.82	63.93	64.01	64.08	64.18	64.26	64.38	64.51	64.63	64.74
Singapore Jahr 2100	63.53	63.64	63.72	63.8	63.91	64	64.12	64.24	64.36	64.48
Dubai Jahr 2050	62.33	62.46	62.55	62.66	62.8	62.91	63.05	63.21	63.38	63.55
Dubai Jahr 2100	62.62	62.76	62.85	62.96	63.11	63.22	63.36	63.52	63.69	63.85
<b>Apartment</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	103.9	97.19	94.18	92.17	91.43	91.59	92.75	94.81	97.67	101
Zürich Jahr 2100	107.76	100.74	97.25	94.37	92.51	91.94	92.27	93.57	95.74	98.51
Los Angeles Jahr 205	47.77	47.65	49.42	52.75	57.8	62.03	68.32	75.39	83.21	91.09
Los Angeles Jahr 210	47.09	47.24	49.14	52.58	57.72	61.99	68.32	75.39	83.2	91.07
Singapore Jahr 2050	69.22	74.39	77.45	81.59	87.21	91.22	97.87	105.29	113.18	120.98
Singapore Jahr 2100	68.87	74.03	77.08	81.21	86.81	90.79	97.43	104.84	112.77	120.59
Dubai Jahr 2050	72.16	78.05	81.9	86.81	92.99	97.7	104.63	112.22	120.36	128.48
Dubai Jahr 2100	72.59	78.53	82.41	87.33	93.53	98.27	105.19	112.82	121.01	129.19
<b>Office</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	110.77	110.33	110.36	110.77	111.61	112.41	113.89	115.67	117.73	119.92
Zürich Jahr 2100	111.35	110.68	110.5	110.74	111.49	112.21	113.54	115.24	117.23	119.34
Los Angeles Jahr 205	105.18	106.96	108.2	109.79	112.17	114	116.8	119.97	123.55	127.21
Los Angeles Jahr 210	104.98	106.64	107.9	109.66	112	113.84	116.54	119.72	123.18	126.6
Singapore Jahr 2050	148.33	151.41	153.21	155.34	157.96	159.81	162.82	166.15	169.71	173.2
Singapore Jahr 2100	148	150.96	152.76	154.97	157.68	159.6	162.68	166.04	169.65	173.2
Dubai Jahr 2050	139.71	142.53	144.12	146.31	149.25	151.44	154.85	158.49	162.69	166.49
Dubai Jahr 2100	140.26	143.04	144.76	146.88	149.81	152.04	155.41	159.14	163.33	167.15

<b>Simple House</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	56.49	82.47	102.93	119.53	133.31	144.97	154.94	163.56	171.09	177.73
Zürich Jahr 2100	57.88	85.15	106.47	123.79	138.15	150.27	160.63	169.58	177.39	184.28
Los Angeles Jahr 205	43.53	46.42	50.18	53.74	56.95	59.79	62.31	64.57	66.55	68.34
Los Angeles Jahr 210	43.58	46.12	49.63	53.05	56.13	58.89	61.34	63.52	65.45	67.17
Singapore Jahr 2050	62.26	65.91	68.8	71.3	73.44	75.3	76.91	78.3	79.53	80.62
Singapore Jahr 2100	61.81	65.68	68.54	71.01	73.13	74.98	76.56	77.95	79.18	80.26
Dubai Jahr 2050	60.67	65.47	69.48	72.93	75.92	78.57	80.91	82.98	84.82	86.46
Dubai Jahr 2100	60.96	65.79	69.82	73.3	76.29	78.93	81.25	83.31	85.17	86.81
<b>Apartment</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	80.84	109.79	133.65	152.78	168.6	181.93	193.33	203.18	211.77	219.34
Zürich Jahr 2100	82.72	113.14	137.84	157.67	174.08	187.9	199.72	209.93	218.83	226.67
Los Angeles Jahr 205	50.93	52.65	57.19	61.52	65.38	68.74	71.69	74.29	76.59	78.62
Los Angeles Jahr 210	50.88	52.18	56.41	60.57	64.26	67.5	70.34	72.85	75.07	77.05
Singapore Jahr 2050	77.86	81.47	84.43	86.96	89.08	90.89	92.47	93.86	95.06	96.13
Singapore Jahr 2100	77.48	81.08	84.02	86.52	88.65	90.46	92.01	93.37	94.57	95.63
Dubai Jahr 2050	82.47	86.91	90.97	94.5	97.62	100.38	102.82	104.98	106.93	108.66
Dubai Jahr 2100	82.98	87.42	91.52	95.06	98.17	100.91	103.34	105.51	107.46	109.19
<b>Office</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	107.8	114.84	121.48	126.7	131.08	134.77	137.93	140.63	143.02	145.11
Zürich Jahr 2100	107.7	115.07	121.83	127.27	131.78	135.61	138.95	141.77	144.21	146.41
Los Angeles Jahr 205	109.17	108.68	109.32	109.91	110.47	111.05	111.49	111.88	112.23	112.53
Los Angeles Jahr 210	109	108.49	108.92	109.52	110.04	110.52	110.94	111.3	111.63	111.95
Singapore Jahr 2050	152.53	155.49	156.29	157.2	158.07	158.78	159.39	159.96	160.45	160.89
Singapore Jahr 2100	152.4	155.04	156	156.92	157.75	158.45	159.07	159.6	160.1	160.51
Dubai Jahr 2050	144.92	145.54	146.08	146.46	146.77	147.03	147.22	147.42	147.56	147.68
Dubai Jahr 2100	144.57	146.82	148.26	149.85	151.22	152.45	153.51	154.44	155.28	156.05

<b>Simple House</b>										
<b>Verschattung</b>	<b>0</b>	<b>0.22</b>	<b>0.44</b>	<b>0.67</b>	<b>0.89</b>	<b>1.11</b>	<b>1.33</b>	<b>1.56</b>	<b>1.78</b>	<b>2</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	67.71	67.7	67.67	67.65	67.63	67.61	67.59	67.55	67.53	67.5
Zürich Jahr 2100	69.69	69.68	69.65	69.63	69.6	69.58	69.55	69.53	69.51	69.48
Los Angeles Jahr 205	44.46	44.43	44.4	44.38	44.36	44.34	44.33	44.31	44.3	44.29
Los Angeles Jahr 210	44.31	44.28	44.25	44.22	44.2	44.19	44.17	44.16	44.14	44.13
Singapore Jahr 2050	64.05	63.99	63.94	63.89	63.85	63.82	63.79	63.76	63.74	63.72
Singapore Jahr 2100	63.76	63.71	63.63	63.6	63.53	63.49	63.46	63.43	63.41	63.39
Dubai Jahr 2050	62.6	62.56	62.52	62.48	62.46	62.43	62.42	62.41	62.4	62.39
Dubai Jahr 2100	62.9	62.85	62.81	62.78	62.75	62.73	62.72	62.7	62.69	62.68
<b>Apartment</b>										
<b>U-Wert Fassade</b>	<b>0.1</b>	<b>0.64</b>	<b>1.19</b>	<b>1.73</b>	<b>2.28</b>	<b>2.82</b>	<b>3.37</b>	<b>3.91</b>	<b>4.46</b>	<b>5</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	92.99	93.02	93.22	93.61	94	94.35	94.67	94.94	95.14	95.31
Zürich Jahr 2100	95.66	96.01	96.44	96.98	97.45	97.87	98.22	98.52	98.74	98.92
Los Angeles Jahr 205	50.92	49.41	48.37	47.63	47.24	46.97	46.8	46.69	46.59	46.53
Los Angeles Jahr 210	50.71	49.14	48.07	47.31	46.87	46.56	46.34	46.22	46.11	46.05
Singapore Jahr 2050	79.49	77.51	76.27	75.51	75.02	74.65	74.37	74.18	74.03	73.89
Singapore Jahr 2100	79.1	77.14	75.9	75.14	74.66	74.3	74.01	73.82	73.68	73.54
Dubai Jahr 2050	84.34	82.27	80.76	79.66	78.88	78.38	78.06	77.8	77.64	77.5
Dubai Jahr 2100	84.89	82.8	81.27	80.16	79.34	78.83	78.5	78.24	78.07	77.93
<b>Office</b>										
<b>U-Wert Fassade</b>	<b>0.1</b>	<b>0.64</b>	<b>1.19</b>	<b>1.73</b>	<b>2.28</b>	<b>2.82</b>	<b>3.37</b>	<b>3.91</b>	<b>4.46</b>	<b>5</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	110.5	110	109.58	109.35	109.26	109.46	109.58	109.72	109.86	109.99
Zürich Jahr 2100	110.57	110.13	109.8	109.65	109.62	109.69	109.86	110.02	110.17	110.3
Los Angeles Jahr 205	108.82	108.09	107.33	106.73	106.33	106.05	105.86	105.75	105.7	105.66
Los Angeles Jahr 210	108.72	107.81	107.1	106.95	106.55	106.26	106.07	105.96	105.91	105.87
Singapore Jahr 2050	154.29	153.22	152.35	151.99	151.46	151.19	150.99	150.85	150.73	150.62
Singapore Jahr 2100	153.89	152.77	151.92	151.49	150.91	150.63	150.43	150.28	150.15	150.05
Dubai Jahr 2050	145.15	144.08	143.22	142.59	142.13	141.79	141.68	141.61	141.54	141.48
Dubai Jahr 2100	145.73	144.67	143.9	143.26	142.75	142.42	142.26	142.17	142.1	142.05

### A.3.2 Gesamtenergieverbrauch – Szenario RCP 4.5

<b>Simple House</b>										
<b>g-Wert Verglassung</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>g-Wert Verglasung - Simple House</b>										
Zürich Jahr 2050	67.08	66.99	66.94	66.88	66.81	66.77	66.7	66.65	66.59	66.54
Zürich Jahr 2100	64.91	64.83	64.78	64.74	64.69	64.66	64.61	64.57	64.53	64.5
Los Angeles Jahr 205	44.41	44.44	44.48	44.52	44.58	44.64	44.7	44.77	44.86	44.96
Los Angeles Jahr 210	45.07	45.13	45.18	45.25	45.33	45.4	45.5	45.61	45.72	45.81
Singapore Jahr 2050	64.52	64.63	64.72	64.79	64.89	64.97	65.1	65.23	65.36	65.48
Singapore Jahr 2100	67.26	67.39	67.5	67.6	67.71	67.8	67.94	68.08	68.19	68.36
Dubai Jahr 2050	62.33	62.46	62.55	62.66	62.8	62.91	63.05	63.2	63.36	63.52
Dubai Jahr 2100	65.45	65.57	65.67	65.79	65.92	66.02	66.17	66.32	66.48	66.64
<b>Apartment</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	102.16	95.92	93.06	91.1	90.33	90.49	91.59	93.64	96.52	99.95
Zürich Jahr 2100	96.88	91.93	89.84	88.65	88.53	89.07	90.55	92.82	95.74	99.2
Los Angeles Jahr 205	47.32	47.46	49.34	52.79	57.94	62.18	68.52	75.63	83.42	91.27
Los Angeles Jahr 210	47.05	48.86	51.45	55.47	61.04	65.51	72.07	79.25	87.22	95.2
Singapore Jahr 2050	70.41	75.56	78.65	82.85	88.55	92.61	99.35	106.84	114.86	122.8
Singapore Jahr 2100	75.26	80.62	84.01	88.28	94.06	98.29	105.15	112.7	120.75	128.74
Dubai Jahr 2050	71.95	77.84	81.72	86.55	92.74	97.42	104.36	111.98	120.17	128.33
Dubai Jahr 2100	76.23	82.28	86.23	91.15	97.44	102.21	109.27	117	125.32	133.62
<b>Office</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	111.1	110.84	110.95	111.45	112.47	113.39	114.96	116.83	118.98	121.24
Zürich Jahr 2100	111.39	111.43	111.62	112.27	113.1	114.03	115.61	117.52	119.75	122.04
Los Angeles Jahr 205	105.48	107.26	108.28	110.05	112.45	114.31	117.15	120.26	123.79	127.44
Los Angeles Jahr 210	108.2	110.26	111.7	113.32	115.87	117.77	120.69	123.95	127.56	131.25
Singapore Jahr 2050	149.95	153.06	154.83	156.99	159.71	161.57	164.71	168.16	171.85	175.5
Singapore Jahr 2100	156.95	159.74	161.49	163.49	166.13	168.01	171.15	174.66	178.44	182.09
Dubai Jahr 2050	139.95	142.67	144.33	146.48	149.43	151.62	154.98	158.66	162.81	166.65
Dubai Jahr 2100	144.81	147.57	149.26	151.49	154.48	156.8	160.28	163.99	168.01	171.88

<b>Simple House</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	55.91	81.25	101.11	117.29	130.7	142.03	151.72	160.1	167.41	173.84
Zürich Jahr 2100	54.83	77.76	95.75	110.38	122.56	132.85	141.66	149.3	155.97	161.85
Los Angeles Jahr 205	43.74	46.37	49.94	53.37	56.45	59.18	61.63	63.78	65.71	67.42
Los Angeles Jahr 210	44.84	46.48	49.17	51.93	54.45	56.74	58.8	60.63	62.26	63.72
Singapore Jahr 2050	62.7	66.84	69.99	72.7	75.03	77.03	78.75	80.27	81.6	82.79
Singapore Jahr 2100	65.31	70.15	73.83	76.86	79.38	81.51	83.36	84.97	86.39	87.64
Dubai Jahr 2050	60.63	65.47	69.54	73	75.98	78.62	80.93	82.99	84.81	86.45
Dubai Jahr 2100	62.96	68.58	73.26	77.18	80.53	83.45	86.01	88.28	90.3	92.11
<b>Apartment</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	79.93	108.23	131.37	149.98	165.38	178.32	189.39	198.95	207.29	214.63
Zürich Jahr 2100	78.29	103.85	124.75	141.61	155.52	167.27	177.32	186	193.59	200.28
Los Angeles Jahr 205	51.09	52.43	56.76	60.93	64.63	67.88	70.72	73.22	75.43	77.4
Los Angeles Jahr 210	53.74	54.13	57.24	60.52	63.51	66.14	68.49	70.56	72.4	74.03
Singapore Jahr 2050	78.93	82.92	86.1	88.83	91.14	93.12	94.83	96.31	97.62	98.75
Singapore Jahr 2100	84.06	88.69	92.13	95.19	97.74	99.87	101.71	103.31	104.73	105.99
Dubai Jahr 2050	82.19	86.73	90.93	94.47	97.57	100.31	102.71	104.84	106.75	108.46
Dubai Jahr 2100	86.3	91.8	96.69	100.78	104.3	107.33	110.03	112.4	114.52	116.42
<b>Office</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich										
Zürich Jahr 2050	108.52	115.22	121.37	126.45	130.6	134.16	137.17	139.82	142.1	144.13
Zürich Jahr 2100	109.5	115.46	120.96	125.4	129.25	132.4	135.1	137.47	139.57	141.39
Los Angeles Jahr 205	109.45	108.87	109.44	110.2	110.79	111.27	111.71	112.1	112.43	112.76
Los Angeles Jahr 210	112.55	112.12	112.64	113.13	113.64	114.06	114.27	114.6	114.9	115.15
Singapore Jahr 2050	154.31	157.16	158.11	159.15	160.11	160.92	161.64	162.25	162.8	163.28
Singapore Jahr 2100	161.13	163.96	165.53	166.86	168.06	169.05	169.91	170.65	171.29	171.87
Dubai Jahr 2050	144.3	146.41	147.99	149.59	151	152.19	153.25	154.19	155.04	155.79
Dubai Jahr 2100	149.03	151.74	153.69	155.49	157.06	158.42	159.63	160.68	161.63	162.47

<b>Simple House</b>										
<b>Verschattung</b>	<b>0</b>	<b>0.22</b>	<b>0.44</b>	<b>0.67</b>	<b>0.89</b>	<b>1.11</b>	<b>1.33</b>	<b>1.56</b>	<b>1.78</b>	<b>2</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	66.91	66.88	66.86	66.83	66.8	66.77	66.74	66.72	66.69	66.67
Zürich Jahr 2100	64.76	64.74	64.71	64.69	64.66	64.64	64.62	64.59	64.57	64.54
Los Angeles Jahr 205	44.5	44.47	44.44	44.41	44.38	44.36	44.35	44.33	44.32	44.31
Los Angeles Jahr 210	45.21	45.17	45.14	45.11	45.09	45.07	45.05	45.03	45.02	45.01
Singapore Jahr 2050	64.75	64.7	64.64	64.59	64.55	64.51	64.48	64.46	64.43	64.41
Singapore Jahr 2100	67.55	67.48	67.42	67.36	67.32	67.27	67.24	67.21	67.18	67.16
Dubai Jahr 2050	62.61	62.56	62.52	62.49	62.46	62.44	62.42	62.42	62.41	62.4
Dubai Jahr 2100	65.73	65.68	65.63	65.6	65.57	65.55	65.54	65.53	65.52	65.52
<b>Apartment</b>										
<b>U-Wert Fassade</b>	<b>0.1</b>	<b>0.64</b>	<b>1.19</b>	<b>1.73</b>	<b>2.28</b>	<b>2.82</b>	<b>3.37</b>	<b>3.91</b>	<b>4.46</b>	<b>5</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	91.92	91.91	92.08	92.42	92.77	93.09	93.37	93.61	93.78	93.93
Zürich Jahr 2100	89.09	88.84	88.74	88.84	89.03	89.22	89.42	89.6	89.75	89.87
Los Angeles Jahr 205	50.9	49.36	48.3	47.56	47.16	46.88	46.7	46.59	46.48	46.41
Los Angeles Jahr 210	53.34	51.59	50.35	49.45	48.91	48.51	48.23	48.05	47.9	47.8
Singapore Jahr 2050	80.71	78.71	77.46	76.7	76.21	75.83	75.54	75.35	75.2	75.06
Singapore Jahr 2100	86.07	84.23	82.89	82.05	81.58	81.22	80.9	80.69	80.52	80.39
Dubai Jahr 2050	84.1	82.02	80.52	79.42	78.66	78.16	77.85	77.59	77.44	77.3
Dubai Jahr 2100	88.64	86.55	85.04	83.94	83.18	82.69	82.38	82.15	82	81.87
<b>Office</b>										
<b>U-Wert Fassade</b>	<b>0.1</b>	<b>0.64</b>	<b>1.19</b>	<b>1.73</b>	<b>2.28</b>	<b>2.82</b>	<b>3.37</b>	<b>3.91</b>	<b>4.46</b>	<b>5</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	111.15	110.59	110.13	109.85	109.72	109.87	110	110.11	110.21	110.32
Zürich Jahr 2100	111.92	111.34	110.82	110.5	110.35	110.62	110.68	110.75	110.84	110.92
Los Angeles Jahr 205	114.37	112.69	110.34	109.37	108.87	108.79	109.45	109.92	110.1	110.27
Los Angeles Jahr 210	112.39	111.61	110.94	110.31	109.87	109.53	109.28	109.14	109.07	109.02
Singapore Jahr 2050	155.95	154.83	154	153.48	153.11	152.86	152.65	152.51	152.38	152.26
Singapore Jahr 2100	162.45	161.58	161.03	160.49	160.16	159.89	159.71	159.56	159.43	159.3
Dubai Jahr 2050	145.36	144.23	143.45	142.82	142.37	142.05	141.9	141.79	141.74	141.67
Dubai Jahr 2100	150.32	149.19	148.41	147.77	147.29	146.95	146.79	146.7	146.62	146.56

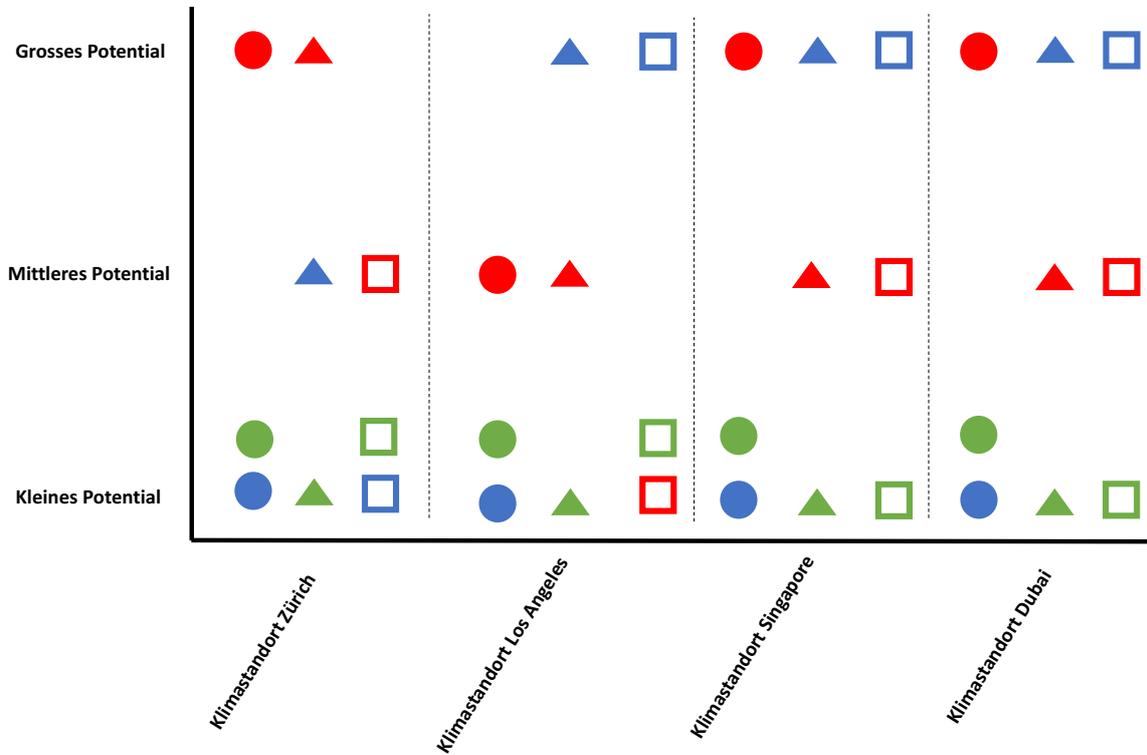
### A.3.3 Gesamtenergieverbrauch – Szenario RCP 8.5

<b>Simple House</b>										
<b>g-Wert Verglasung</b>	<b>0.1</b>	<b>0.19</b>	<b>0.28</b>	<b>0.37</b>	<b>0.46</b>	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.72</b>	<b>0.81</b>	<b>0.9</b>
<b>g-Wert Verglasung - Simple House</b>										
Zürich Jahr 2050	66.22	66.13	66.08	66.01	65.94	65.89	65.83	65.77	65.71	65.66
Zürich Jahr 2100	60.83	60.79	60.78	60.77	60.75	60.75	60.74	60.71	60.71	60.71
Los Angeles Jahr 205	44.83	44.88	44.92	44.98	45.05	45.11	45.2	45.3	45.4	45.51
Los Angeles Jahr 210	47.47	47.56	47.63	47.72	47.83	47.91	48.02	48.15	48.28	48.41
Singapore Jahr 2050	65.51	65.61	65.69	65.77	65.86	65.93	66.05	66.17	66.3	66.41
Singapore Jahr 2100	72.11	72.21	72.27	72.36	72.45	72.52	72.62	72.74	72.86	72.98
Dubai Jahr 2050	64.36	64.49	64.58	64.7	64.84	64.94	65.09	65.25	65.4	65.57
Dubai Jahr 2100	72.77	72.91	73.01	73.14	73.28	73.39	73.54	73.71	73.87	74.03
<b>Apartment</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	<b>0.1</b>	<b>0.19</b>	<b>0.28</b>	<b>0.37</b>	<b>0.46</b>	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.72</b>	<b>0.81</b>	<b>0.9</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	100.06	93.99	91.21	89.28	88.64	88.89	90.17	92.33	95.27	98.68
Zürich Jahr 2100	85.79	83	81.97	81.94	83.08	84.48	87.04	90.35	94.41	98.86
Los Angeles Jahr 205	47.22	48.44	50.8	54.56	59.82	64.18	70.57	77.62	85.49	93.36
Los Angeles Jahr 210	48.18	52.49	56.07	60.76	66.77	71.53	78.35	85.86	94.01	102.11
Singapore Jahr 2050	71.92	76.87	79.87	83.98	89.62	93.63	100.3	107.77	115.75	123.66
Singapore Jahr 2100	82.27	87.13	90.16	94.3	99.95	103.97	110.68	118.2	126.28	134.36
Dubai Jahr 2050	74.06	80	83.91	88.74	94.93	99.6	106.55	114.19	122.38	130.53
Dubai Jahr 2100	86.52	92.77	96.81	101.81	108.16	112.98	120.11	127.92	136.3	144.68
<b>Office</b>										
<b>g-Wert Verglasung -</b>	<b>0.1</b>	<b>0.19</b>	<b>0.28</b>	<b>0.37</b>	<b>0.46</b>	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.72</b>	<b>0.81</b>	<b>0.9</b>
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	110.19	109.94	110.06	110.6	111.66	112.58	114.16	116.09	118.27	120.53
Zürich Jahr 2100	114.67	115.42	116.02	117.08	118.73	120.03	122.17	124.53	127.17	129.81
Los Angeles Jahr 205	107.29	109.22	110.59	111.96	114.42	116.32	119.15	122.35	125.95	129.55
Los Angeles Jahr 210	113.45	115.87	117.45	119.49	122.16	124.23	127.33	130.84	134.66	138.71
Singapore Jahr 2050	152.02	155.08	156.74	158.78	161.43	163.24	166.32	169.72	173.37	176.93
Singapore Jahr 2100	169.2	171.45	172.92	174.88	177.58	179.46	182.48	185.79	189.36	192.85
Dubai Jahr 2050	142.94	145.68	147.35	149.5	152.45	154.66	158.05	161.77	165.88	169.72
Dubai Jahr 2100	158.41	161.27	163.08	165.48	168.49	170.8	174.24	177.91	181.99	185.82

<b>Simple House</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	55.5	79.95	99.16	114.76	127.74	138.69	148.05	156.15	163.21	169.44
Zürich Jahr 2100	52.97	71.06	85.37	96.98	106.61	114.75	121.72	127.75	133.02	137.66
Los Angeles Jahr 205	44.45	46.36	49.34	52.33	54.98	57.41	59.58	61.55	63.27	64.83
Los Angeles Jahr 210	47.72	48.21	49.56	51.21	52.81	54.31	55.71	56.97	58.11	59.15
Singapore Jahr 2050	63.62	67.89	71.22	74.07	76.51	78.62	80.44	82.05	83.45	84.7
Singapore Jahr 2100	69.75	75.47	80.27	84.33	87.7	90.54	92.99	95.12	96.99	98.66
Dubai Jahr 2050	61.83	67.06	71.4	75.07	78.23	80.99	83.41	85.55	87.46	89.16
Dubai Jahr 2100	68.54	76.15	82.28	87.39	91.69	95.41	98.63	101.47	103.99	106.24
<b>Apartment</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	78.54	105.84	128.26	146.25	161.12	173.64	184.33	193.56	201.63	208.74
Zürich Jahr 2100	73.27	93.47	110.06	123.44	134.46	143.73	151.65	158.5	164.48	169.75
Los Angeles Jahr 205	52.8	53.62	57.03	60.54	63.74	66.55	69.02	71.22	73.19	74.93
Los Angeles Jahr 210	58.77	58.49	59.93	61.61	63.29	64.91	66.37	67.7	68.96	70.03
Singapore Jahr 2050	80.02	84.23	87.7	90.63	93.1	95.2	97.02	98.59	99.98	101.2
Singapore Jahr 2100	89.46	95.77	100.83	105	108.49	111.45	114	116.24	118.2	119.92
Dubai Jahr 2050	84.18	89.18	93.67	97.48	100.76	103.62	106.14	108.38	110.37	112.15
Dubai Jahr 2100	96	103.6	110.03	115.41	119.97	123.9	127.33	130.33	133.01	135.42
<b>Office</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	108.52	115.22	121.37	126.45	130.6	134.16	137.17	139.82	142.1	144.13
Zürich Jahr 2100	109.5	115.46	120.96	125.4	129.25	132.4	135.1	137.47	139.57	141.39
Los Angeles Jahr 205	109.45	108.87	109.44	110.2	110.79	111.27	111.71	112.1	112.43	112.76
Los Angeles Jahr 210	112.55	112.12	112.64	113.13	113.64	114.06	114.27	114.6	114.9	115.15
Singapore Jahr 2050	154.31	157.16	158.11	159.15	160.11	160.92	161.64	162.25	162.8	163.28
Singapore Jahr 2100	161.13	163.96	165.53	166.86	168.06	169.05	169.91	170.65	171.29	171.87
Dubai Jahr 2050	144.3	146.41	147.99	149.59	151	152.19	153.25	154.19	155.04	155.79
Dubai Jahr 2100	149.03	151.74	153.69	155.49	157.06	158.42	159.63	160.68	161.63	162.47

<b>Simple House</b>										
Verschattung	0	0.22	0.44	0.67	0.89	1.11	1.33	1.56	1.78	2
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	66.04	66.03	66.01	65.99	65.97	65.94	65.92	65.89	65.87	65.85
Zürich Jahr 2100	60.77	60.75	60.71	60.68	60.65	60.62	60.59	60.56	60.54	60.52
Los Angeles Jahr 205	44.95	44.91	44.9	44.87	44.84	44.82	44.8	44.78	44.77	44.75
Los Angeles Jahr 210	47.68	47.63	47.59	47.56	47.53	47.5	47.48	47.46	47.46	47.44
Singapore Jahr 2050	65.73	65.68	65.63	65.57	65.54	65.5	65.48	65.46	65.44	65.42
Singapore Jahr 2100	72.32	72.26	72.22	72.18	72.15	72.13	72.11	72.09	72.07	72.05
Dubai Jahr 2050	64.64	64.59	64.55	64.52	64.49	64.47	64.45	64.44	64.43	64.42
Dubai Jahr 2100	73.07	73.02	72.98	72.94	72.91	72.89	72.88	72.86	72.85	72.85
<b>Apartment</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	90.07	90.08	90.25	90.57	90.93	91.26	91.54	91.78	91.97	92.13
Zürich Jahr 2100	81.81	81.18	80.78	80.61	80.61	80.64	80.72	80.82	80.9	80.96
Los Angeles Jahr 205	52.56	50.89	49.7	48.83	48.33	47.97	47.73	47.57	47.43	47.35
Los Angeles Jahr 210	58.33	56.28	54.78	53.65	52.95	52.41	52.04	51.77	51.59	51.46
Singapore Jahr 2050	81.87	79.93	78.72	78	77.52	77.16	76.88	76.7	76.56	76.43
Singapore Jahr 2100	92.17	90.19	88.98	88.26	87.78	87.46	87.17	87	86.86	86.72
Dubai Jahr 2050	86.29	84.22	82.72	81.62	80.85	80.35	80.04	79.79	79.63	79.5
Dubai Jahr 2100	99.27	97.15	95.62	94.5	93.72	93.24	92.93	92.69	92.54	92.4
<b>Office</b>										
U-Wert Fassade	0.1	0.64	1.19	1.73	2.28	2.82	3.37	3.91	4.46	5
<b>Zürich</b>										
Zürich Jahr 2050	110.27	109.72	109.27	109.02	108.93	108.92	109.03	109.15	109.28	109.4
Zürich Jahr 2100	116.53	115.76	115.15	114.69	114.42	114.38	114.37	114.4	114.48	114.52
Los Angeles Jahr 205	111.14	110.51	109.71	109.11	108.7	108.4	108.19	108.06	108.01	107.96
Los Angeles Jahr 210	118.42	117.4	116.56	115.91	115.45	115.05	114.76	114.56	114.47	114.42
Singapore Jahr 2050	157.76	156.75	155.97	155.47	155.09	154.83	154.64	154.49	154.45	154.62
Singapore Jahr 2100	173.87	172.97	172.33	172.61	172.33	172.1	171.95	171.83	171.73	171.64
Dubai Jahr 2050	148.34	147.29	146.51	145.9	145.46	145.14	144.97	144.88	144.8	144.73
Dubai Jahr 2100	164.21	163.04	162.23	161.57	161.11	160.75	160.59	160.48	160.39	160.31

### A.1.9 Diverse Diagramme in grosser Ausführung



g-Wert Verglasung  
Gebäudetyp Simple House



U-Wert Fassade  
Gebäudetyp Simple House



Verschattung  
Gebäudetyp Simple House



g-Wert Verglasung  
Gebäudetyp Apartment



U-Wert Fassade  
Gebäudetyp Apartment



Verschattung  
Gebäudetyp Apartment



g-Wert Verglasung  
Gebäudetyp Office



U-Wert Fassade  
Gebäudetyp Office



Verschattung  
Gebäudetyp Office

