



**Universität  
Zürich** <sup>UZH</sup>

## **Abschlussarbeit**

zur Erlangung des  
Master of Advanced Studies in Real Estate

Hitzeeffekte: Untersuchung der Auswirkungen von Klimaerwärmung und  
städtischen Hitzeinseln auf Immobilienwerte mittels Monte-Carlo-  
Simulation

Verfasser: Poppele  
Florian

Eingereicht bei: Dr. Rudolf Marty

Abgabedatum: 19.09.2019

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VI
Tabellenverzeichnis .....	VII
Executive Summary .....	VIII
1. Einleitung .....	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung .....	1
1.1.1 Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz .....	1
1.1.2 Auswirkungen von städtischen Hitzeinseln .....	3
1.1.3 Immobilienwert .....	5
1.2 Zielstellung .....	8
1.2.1 Vorgehen .....	8
1.2.2 Abgrenzung der Untersuchung .....	8
1.3 Aufbau der Arbeit .....	8
2. Theoretische Grundlagen .....	9
2.1 Umweltmerkmale als Einflussfaktoren auf den Wert .....	9
2.2 Klimawandel und Handeln unter Unsicherheit .....	11
2.3 Risikoanalyse anhand der Monte-Carlo-Simulation .....	13
2.4 Massnahmen zur Verringerung des UHI-Effekts .....	17
2.5 Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Gebäude .....	18
2.5.1 Sommerlicher Wärmeschutz und Komfort .....	19
2.5.2 Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten .....	20
2.5.3 Massnahmen Gebäude .....	22
2.5.4 Einfluss des Nutzerverhaltens .....	23
2.6 Nutzerverhalten und Abschätzen zukünftiger Reaktionen .....	23
3. Modellbeschreibung .....	25
3.1 Discounted-Cashflow-Methode .....	25
3.2 Modellspezifikation .....	26

3.2.1	Sensitivitätsanalyse.....	27
3.2.2	Mietzins .....	27
3.2.3	Mietpreiswachstum.....	28
3.2.4	Leerstandsnummer .....	29
3.2.5	Diskontsatz .....	30
3.2.6	Mieterentschädigungen aufgrund Überhitzung .....	30
3.2.7	Übersicht aller Variablen.....	32
3.2.8	Korrelationen .....	32
3.3	Hitzemassnahmen .....	33
4.	Erkenntnisse .....	34
4.1	Szenarien.....	34
4.1.1	Altbau Standard .....	34
4.1.2	Altbau geschützt .....	35
4.1.3	Neubau massiv.....	35
4.1.4	Neubau hybrid .....	37
4.2	Sensitivität Diskontsatz.....	38
4.3	Risikomass VaR.....	38
5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	39
5.1	Fazit und Diskussion.....	39
5.2	Ausblick .....	40
6.	Literaturverzeichnis .....	41
7.	Anhang .....	49
7.1	Klimaszenarien .....	49
	Literaturrecherche Umweltfaktoren .....	51
7.2	.....	51
7.3	Vergleichende Untersuchung zum Mietpreiswachstum .....	53
7.4	Datengrundlagen Mietzinse .....	54
7.4.1	Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 1919 bis 1945.....	54

7.4.2	Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 1946 bis 1980.....	55
7.4.3	Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 2001 und neuer.....	56
7.5	Entwicklung Überhitzungsstunden .....	57

**Abkürzungsverzeichnis**

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
DCF	Discounted-Cash-Flow
FCF	Free-Cash-Flow
IPCC	International Panel on Climate Change
IRR	Internal Rate of Return
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
MFH	Mehrfamilienhaus
MCS	Monte-Carlo-Simulation
NCCS	National Center for Climate Services
PPD	Anzahl Unzufriedener (Predicted Percent of Dissatisfied)
PMV	erwartete durchschnittliche Empfindung (Predicted Mean Vote)
RICS	Royal Institution of Chartered Surveyors
RCP	Emissionsszenario (Representative Concentration Pathway)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SVS	Swiss Valuation Standard
UHI	Städtische Hitzeinsel (Urban-Heat-Island)
VAR	Value-at-Risk
WACC	Weighted Average Cost of Capital

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Temperaturanstieg und zunehmende Temperaturextreme.....	2
Abbildung 2:	Anstieg Anzahl Hitzetage der Referenzperiode 1981-2010 zu 2060 .....	2
Abbildung 3:	Städtischer Wärmeinseleffekt (UHI) .....	4
Abbildung 4:	Bodenpreise und Tropennächte im Kanton Zürich.....	5
Abbildung 5:	Verteilung der Gebäudekategorien .....	6
Abbildung 6:	Determinanten des langfristigen Immobilienwerts.....	9
Abbildung 7:	Klimasystem, Risikoexposition und Verwundbarkeit .....	13
Abbildung 8:	Planhinweiskarte Kanton Zürich .....	18
Abbildung 9:	Optimale empfundene Temperatur (SIA 180, 2014, S.26).....	19
Abbildung 10:	Eigenschaften der Referenzgebäude .....	21
Abbildung 11:	Veränderung von Heizwärme- und Klimakältebedarf .....	22
Abbildung 12:	Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer Investition .....	24
Abbildung 13:	Wirkungsmodell zunehmender Erwärmung.....	24
Abbildung 14:	Funktionsweise DCF-Modell .....	26
Abbildung 15:	Preisbereinigtes (40%) Mietpreiswachstum Marktregion Zürich .....	29
Abbildung 16:	Altbau Standard – Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme.....	34
Abbildung 17:	Altbau geschützt – Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme.....	35
Abbildung 18:	Neubau massiv: DCF - Histogramm .....	36
Abbildung 19:	Neubau massiv - Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme.....	36
Abbildung 20:	Neubau hybrid - Entwicklung des Barwerts .....	37
Abbildung 21:	Neubau massiv - Sensitivitätsanalyse .....	38
Abbildung 22:	Neubau massiv – Value-at-Risk.....	39
Abbildung 23:	Anthropogener Strahlungsantriebs der Klimaszenarien.....	49
Abbildung 24:	Entwicklung der Überhitzungsstunden der MCS.....	57

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Hitzemassnahmen.....	23
Tabelle 2:	Sensitivitätsanalyse: Veränderung des Barwerts.....	27
Tabelle 3:	Mietabschlüsse für Miete pro m2 [CHF/J] nach Bauperioden.....	27
Tabelle 4:	Parameter Mietzinswachstum.....	29
Tabelle 5:	Anzahl Überhitzungsstunden.....	31
Tabelle 6:	Übersicht der MCS-Variablen und ihrer Parameter.....	32
Tabelle 7:	Korrelationsmatrix Zustandsvariablen.....	33
Tabelle 8:	Hitzemassnahmen nach Bautypen.....	33
Tabelle 9:	Altbau Standard - Barwerte.....	34
Tabelle 10:	Altbau geschützt - Barwerte.....	35
Tabelle 11:	Altbau Standard - Barwerte.....	36
Tabelle 12:	Neubau hybrid - Barwerte.....	37
Tabelle 13:	Neubau massiv – Sensitivitätsanalyse.....	38
Tabelle 14:	Neubau massiv – Value-at-Risk.....	39
Tabelle 15:	Zusammenstellung der Emissionsszenarien.....	50
Tabelle 16:	Ausgewählte Umweltfaktoren und ihr Einfluss.....	52
Tabelle 17:	Ermittelte statistische Parameter für das Schweizer Mietpreiswachstum	53

## **Executive Summary**

**Ziel:** Im Hinblick auf den sich vollziehenden Klimawandel soll in Bezug auf innerstädtische Lagen und die sich dort akzentuierenden thermischen Hitzeeffekte eine Aussage zur Wertentwicklung betroffener Liegenschaften getroffen werden und zusätzlich Aussagen zum optimalen Zeitpunkt von Hitzemassnahmen ermöglichen.

**Methodik/Herangehensweise:** Es wird ein Überblick über die aktuelle Forschung der damit in Bezug stehenden Themenbereiche gegeben. In einem ökonomischen Wirkungsmodell wird eine Erwartung der zukünftigen ökonomischen Einflüsse formuliert und mittels der Überhitzungsstunden von vier Referenztypen – Altbau standard, Altbau geschützt, Minergiegebäude und Hybridbau - in einem Discounted-Cash-Flow-Modell abgebildet. Unsichere Eingangsgrößen werden entsprechend ihrer hergeleiteten Wahrscheinlichkeitsverteilungen in der Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt und erlauben die Abbildung des Hitzerrisikos in Form des Value-at-Risk (VaR). Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Gebäudetypen wird als Mass der Value-at-Risk pro Flächeneinheit vorgeschlagen.

## **Ergebnisse/Erkenntnisse**

Die Auswertung der Monte-Carlo-Simulation zeigte den negativen Einfluss auf den Immobilienwert für alle vier Objekte. Bei einem Objekt konnte gezeigt werden, dass eine frühzeitige Sanierung werterhaltend wirkt.

Der VaR pro Flächeneinheit erlaubt einen Vergleich des Risikos pro Flächeneinheit zwischen den vier Referenzbauten.

## **Eigenständigkeit/Beitrag**

Es wird aufgezeigt, wie globale Veränderungen in einer bottom-up Betrachtung abgebildet werden können, um Potentiale und Risiken zukünftiger Prozesse auf der Ebene einer Einzelliegenschaft einschätzen zu können. Das Potential wissenschaftlich etablierter, stochastischer Simulationen wird dadurch erweitert und erlaubt im Gegenzug die Integration von quantitativen Angaben für einen Teilaspekt des Klimawandels in ansonsten hauptsächlich qualitativ geführte Diskussionen.

## **Schlagworte**

Klimawandel, Hitzeeffekt, Monte-Carlo-Simulation



## **1. Einleitung**

### **1.1 Ausgangslage und Problemstellung**

#### **1.1.1 Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz**

Die individuelle Wahrnehmung des Klimawandels nähert sich mit jeder aussergewöhnlich intensiven und langen Hitzeperiode, sowie jedem extremen Wetterereignis den von Wissenschaftlern seit längerem prognostizierten Auswirkungen an. Dies deckt sich mit den Ergebnissen mehrerer Studien, die zeigen konnten, dass die Risikowahrnehmung, das Verständnis und die Bereitschaft zur Auseinandersetzung durch das Erleben am eigenen Leib zunehmen (Demski et al. 2017, Reser et al. 2014, Zaval et al. 2014, Myers et al. 2013, Spence et al. 2011).

Das Klima unterliegt starken Schwankungen. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts waren diese Schwankungen hauptsächlich natürlich bedingt. Der anschliessende Temperaturanstieg kann durch den Anstieg der Treibhausgasemissionen erklärt werden. In der Schweiz sind die Temperaturen seit Beginn der Messungen 1864 um rund 2°C gestiegen.

Sommer- und Hitzetage werden in den kommenden Jahrzehnten weiterhin ansteigen. Es werden die Durchschnittstemperaturen ansteigen aber ebenfalls die Höchsttemperaturen. Das Schweizer National Centre for Climate Services (NCCS) sagt in den Klimaszenarien CH2018 mit sehr hoher Eintretenswahrscheinlichkeit öfter auftretende, intensivere und länger andauernde Hitzewellen und zunehmende Hitzetage (Temperatur > 30°C) voraus (Abbildung 1b). Die heissesten Sommertage könnten in einem durchschnittlichen Sommer 2060 bis zu 5.5 Grad wärmer sein als heute.

**a) Temperaturanstieg zur Normperiode 1981-2010    b) Temperaturextreme**

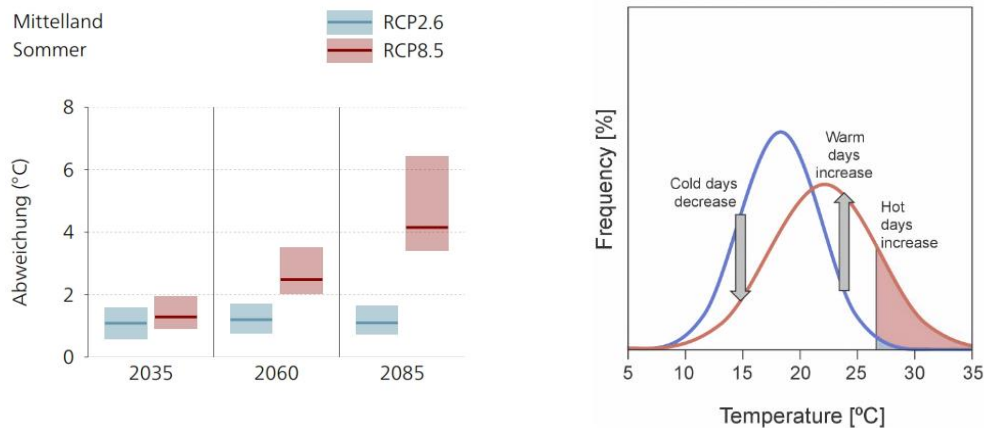


Abbildung 1: Temperaturanstieg und zunehmende Temperaturextreme (CH2018, 2018, S.105)

Ohne Klimaschutz (RCP 8.5) wird erwartet, dass die Anzahl der Hitzetage 2060 gegenüber dem 30-jährigen Mittel von 1981-2010 in Zürich um 9-16 Tage, in Genf um 16-24 Tage und in Lugano um 15-23 Tage ansteigt (Abbildung 2). Hinzu kommen mehr Tage mit Hitzestress (hohe Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit) und mehr Tropennächte, also Nächten, in denen die Temperatur während der ganzen Nacht bis 8 Uhr morgens nicht unter 20°C sinkt (CH2018, 2018, S. 9). Das Klima in Zürich wird gegen Mitte des kommenden Jahrhunderts mehr dem Klimaprofil von Mailand, San Marino oder Banja Luka entsprechen (Bastin et al. 2019).

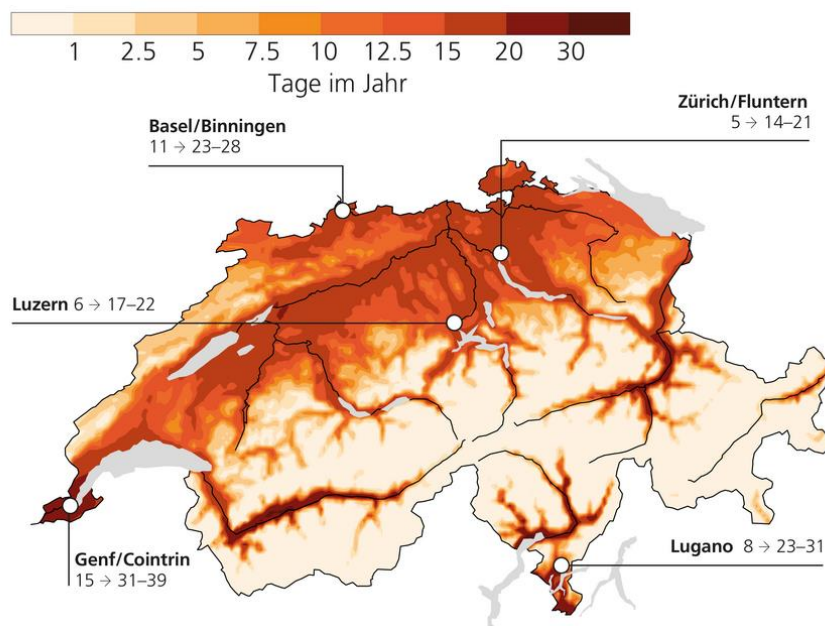


Abbildung 2: Anstieg Anzahl Hitzetage der Referenzperiode 1981-2010 zu 2060 (NCCS, 2018)

Mit dem Anstieg der Temperaturen wird ein Anstieg des Kühlenergieverbrauchs erwartet, da ein höherer Anteil an Gebäudefläche gekühlt werden wird und vermehrt Kühlgeräte eingesetzt werden.

### **1.1.2 Auswirkungen von städtischen Hitzeinseln**

In städtischen Zentren kommt der Effekt der städtischen Hitzeinseln (urban heat islands, UHI) hinzu und kann zu einer weiteren Verstärkung der Erwärmung führen. Die höheren Lufttemperaturen im Vergleich zum Umland entstehen durch gesteigerte Aufheizung tagsüber und die reduzierte, nächtliche Abkühlung (BAFU 2012), erzeugt durch eine hohe Absorption der Sonnenenergie, fehlende Beschattung, eingeschränkte Windzirkulation, mangelnde Nachtauskühlung und fehlende Verdunstungskühlung, wie sie durch Vegetation stattfindet. Ausmass und Intensität der UHI sind eine Funktion der physikalischen, strukturellen und morphologischen Charakteristika der Städte, des Städtebaus, lokalen Klimaparametern, synoptischen Wetterbedingungen und der gesamten vom Menschen in der Stadt verursachten Hitze (Oke et al. 1991, S. 339-340). Der UHI ist demnach in jeder Stadt individuell ausgeprägt und wurde in Studien für mehr als 400 Städte weltweit nachgewiesen (EMPA, 2017). Santamouris & Kolokotsa bieten für rund hundert davon einen Überblick (2016, S. 4-12). Lloyds sieht die höchsten Risiken durch Hitzewellen in europäischen Städten in Paris vor London und Wien (Lloyds, 2018).

Für die Schweizer Städte Basel, Bern, Genf und Zürich liegt im dicht bebauten Zentrum im Sommer die mittlere Temperaturdifferenz in der Nacht bei 2-3 °C höher, tagsüber im Sommer bei weniger als 1 °C höher im Vergleich zum Umland. Die maximale UHI-Intensität liegt bei 6-7 °C (Gehrig, König & Scherrer, 2018, S. 33).

In Zürich zeigen sich besonders hohe Temperaturen im dicht bebauten Stadtzentrum, relativ dazu niedrigere Temperaturen am Ufer der Gewässer und an den durchgrünt Hängen von Zürich- und Uetliberg, wo nachts kühle Luft herabströmt (Abbildung 3).

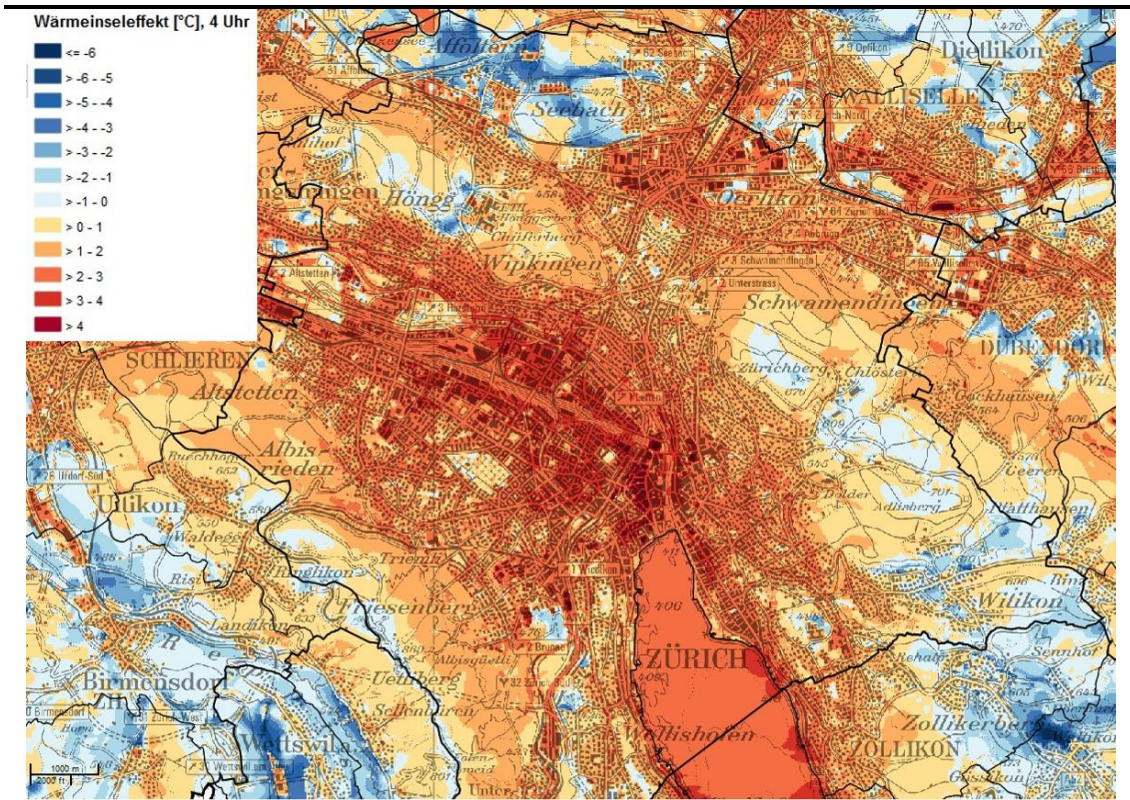


Abbildung 3: Städtischer Wärmeineleffekt (UHI) in der Stadt Zürich, Nachtsituation um 4 Uhr  
(Amt für Raumentwicklung, 2019a)

Basel und Genf haben aufgrund der Gewässerlage ein ähnliches Temperaturverhalten (Vogt und Parlow 2011, Parlow et al. 2014). Im Jahr 2060 wird beim Emissionsszenario RCP3PD (ähnlich RCP 2.6) und A1B (zwischen RCP 4.5 und RCP 8.5) ein Einfluss des UHI-Effekts auf die Jahresmitteltemperatur von jeweils ca. +1°C erwartet, die Tropennächte steigen im niedrigen Emissionsszenario um das 2.5-2.75-fache (10 statt 4 Nächte) bzw. um das 1.7-fache (31 statt 18 Nächte) im hohen Emissionsszenario (Bedschart, 2015, S. 23, S. 26).

Die Abstrahlung der umgebenden Häuserwände, die Luftfeuchtigkeit und die reduzierte Durchlüftung sind Faktoren, welche die Energiebilanz des Menschen beeinflussen und das Stadtklima vergleichsweise belastend erscheinen lassen (Vogt und Parlow 2011). Der Temperaturanstieg und die zunehmende Häufigkeit von Extremereignissen, wie sie in der Schweiz in den heissen Sommern 2003 und 2015 stattgefunden haben, stellen eine gesundheitliche Belastung für die Bevölkerung dar und führen zu akuten Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen; insbesondere für Kleinkinder, gesundheitlich Angeschlagene und Ältere. Während der Hitzewelle 2003 starben europaweit zusätzlich 70'000 Menschen (Ragetti et al. 2017).



Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und viele Städte haben den Handlungsbedarf erkannt und 2018 mit „Städten – Grundlagen für eine klimaangepasste Stadtentwicklung“ Planungsgrundsätze, bauliche Leitsätze und Massnahmen zusammengestellt. Damit sollen einem sinkenden Wohlbefinden und gesundheitsgefährdenden Auswirkungen an zentralen Lagen entgegengewirkt werden.

### 1.1.3 Immobilienwert

Gerade die von den Auswirkungen der Klimaerwärmung und der UHI besonders stark betroffenen Lagen, gelten als attraktiv und verfügen über hohe Landwerte. Im Kanton Zürich sind sie im Stadtzentrum Zürichs und entlang des Seeufers zu finden. Bis Ende des Jahrhunderts wird die Erwärmung fortschreiten und die Anzahl der Tropennächte pro Jahr für diese Lagen auf 30-50 und teilweise noch höher ansteigen lassen (Abbildung 4). Sinkt die Temperatur nachts nicht deutlich, ist keine Nachtauskühlung der Umgebung und der Gebäude möglich.

---

Die Bodenpreislandschaft des Kantons Zürich      Entwicklung der mittleren Anzahl Tropennächte  
für unbebaute Parzellen, durchschnittlicher Form (T>20°C) pro Jahr für die Periode 2071-2100  
und Grösse

---

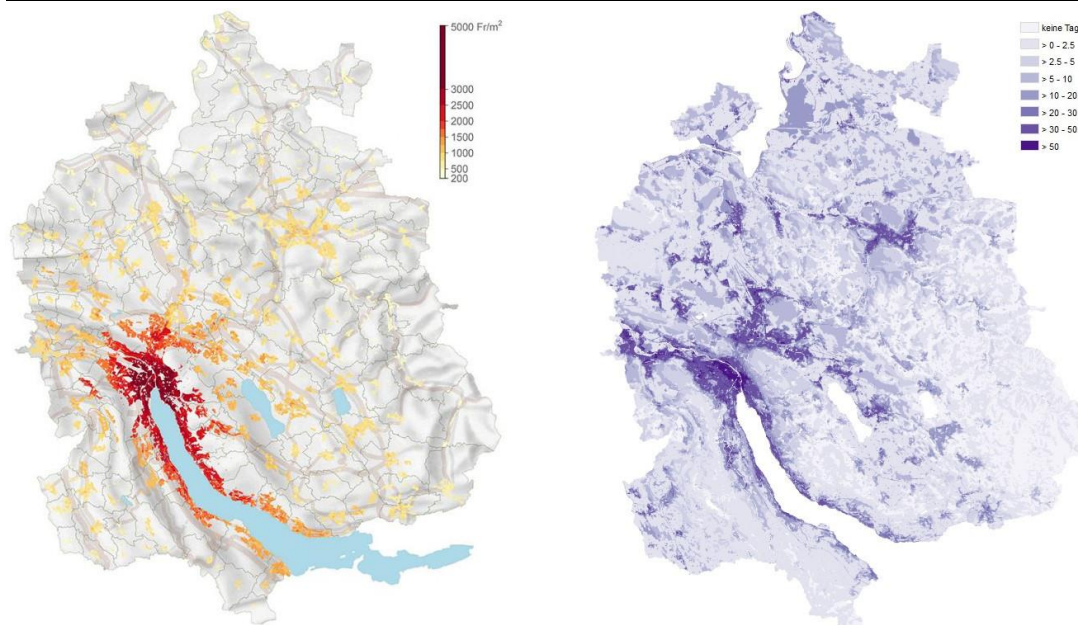


Abbildung 4: Bodenpreise und Tropennächte im Kanton Zürich

(Moser, 2017, S. 20; Amt für Raumentwicklung, 2019b)

Mehrfamilienhäuser sind für den Grossteil der Bevölkerung (52%) der relevante Wohntyp. Schweizweit ist nahezu jedes dritte Wohngebäude ein Mehrfamilienhaus (MFH), davon liegen 55% im städtischen Kernraum, wo sie 32% der Wohngebäude ausmachen (Abbildung 5). Der Wert aller Mietwohnungen in der Schweiz beträgt per

Ende 2018 1'133 Mrd. CHF (Wüest Partner AG, 2019, S. 156). MFH sind somit durch ihre Anzahl und die dargestellten Immobilienwerte relevant für den Schweizer Immobilienmarkt.

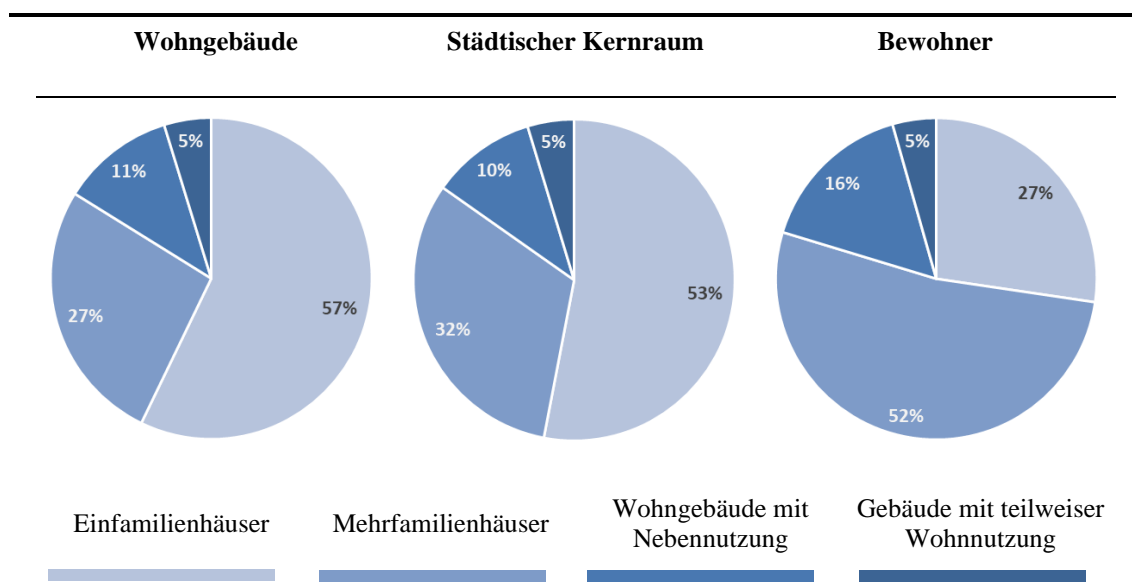


Abbildung 5: Verteilung der Gebäudekategorien (Bundesamt für Statistik BFS, 2019, 2018a, 2018b)

Bewertungen von Immobilien erfolgen auf europäischer und Schweizer Ebene nach dem Marktwert. Dieser definiert sich nach den Swiss Valuation Standard (SVS) als «[...] der geschätzte Betrag, für welchen ein Immobilienvermögen am Tag der Bewertung zwischen einem verkaufsbereiten Veräusserer und einem kaufbereiten Erwerber, nach angemessenem Vermarktungszeitraum, in einer Transaktion im gewöhnlichen Geschäftsverkehr ausgetauscht werden sollte, wobei jede Partei mit Sachkenntnis, Umsicht und ohne Zwang handelt.» (SVS, 2017, S. 51)

Zukünftige Entwicklungen werden im Marktwert nur in dem Masse abgebildet werden, wie dies am Markt geschieht. Eine Marktwertschätzung soll den Markt abbilden, jedoch keine neuen Trends setzen (RICS, 2013, S. 17).

Der Wert einer Immobilie aus Investorensicht (engl. Investment Value), ist hingegen, der subjektive Wert einer Immobilie für einen bestimmten Investor. Dieser Wert muss nicht ausschliesslich objektive und für alle nachvollziehbare Kriterien abbilden. Ein Investor kann Risikozuschläge und auch seine eigenen Überlegungen zu längerfristigen Trends, Zielen und Werten hier miteinbeziehen (SVS, 2017, S.59). Je besser diese Annahmen den zukünftigen Verlauf abbilden, desto geringer wird der Unterschied zwischen Marktwert und Investment Value.

Überlegungen Einzelner, zum Beispiel zur Widerstandsfähigkeit eines Gebäudes gegenüber den Folgen des Klimawandels (Sturmschäden, Überhitzung etc.) oder zur Nachhaltigkeit im Allgemeinen, die im Marktpreis noch nicht abgebildet sind, treten daher zuerst im Investment Value auf (RICS, 2013, S. 12). Wenn im Weiteren keine explizite Angabe zur Art des Wertes gemacht wird, ist vom Wert einer Immobilie aus Investorensicht auszugehen.

Unabhängig, ob es um Bewertungsfragen, Entscheidungen in der Projektentwicklung, Finanztransaktionen oder Immobilienmanagement geht, wird derjenige, der die Unsicherheit und damit das Risiko in der Entscheidungssituation am besten taxiert, die effizienteste Entscheidung treffen (Pfnür, Armonat, 2013, S. 483). Derjenige mit der besten Prognose des eingegangenen Risikos wird einen dauerhaften Wettbewerbsvorteil gegenüber seinen Mitbewerbern haben (Porter, 2004, S. 28). Ein Investor kann demnach aufgrund der Langfristigkeit der Anlage mit weitsichtigeren Entscheidungen als andere Marktteilnehmer, Vorteile erarbeiten und Mehrwerte generieren (KBOB, 2010, S. 87).

## **1.2 Zielstellung**

Im Folgenden soll analysiert werden, wie die Klimaerwärmung durch vermehrte sommerliche Hitze und der UHI-Effekte durch zusätzliche Wärmebelastung auf die ökonomischen Werte von Wohnliegenschaften einwirken könnte.

### **1.2.1 Vorgehen**

Es wird ein stochastisches Simulationsmodell aufgestellt und für vier Referenzgebäude, die vier Bauperioden repräsentieren, das ökonomische Risiko einer fortschreitenden Erwärmung untersucht. Dabei wird von einem an langfristig konstanten Cashflows orientierten Investoren ausgegangen. Es handelt sich um Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern mit reiner Wohnnutzung in städtischen Zentren der Nordwestschweiz. Anhand unterschiedlicher konstruktiver Anpassungen werden ökonomische Handlungsoptionen aufgezeigt. Abschliessend folgt eine ausführliche, qualitative Analyse der Ergebnisse.

### **1.2.2 Abgrenzung der Untersuchung**

Das Modell unterliegt äusseren Einflüssen, wie dem Temperaturanstieg, der bestmöglich abgebildet werden soll. Weitere äusseren Einflüsse aus Wirtschaft, Gesellschaft und Politik (Abbildung 6) werden nicht explizit abgebildet.

## **1.3 Aufbau der Arbeit**

Im folgenden Kapitel werden die *Theoretische Grundlagen* unterschiedlicher Fachgebiete behandelt, die für das Nachvollziehen der Betrachtung notwendig sind.

In Kapitel 3.2 wird detailliert die *Modellspezifikation* erläutert. Dabei wird der Aufbau des DCF-Modells beschrieben, es werden die grundlegenden Annahmen diskutiert und Kontroll- und Zustandsvariablen der MCS definiert.

Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 präsentiert und bewertet. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse diskutiert und einen Ausblick gegeben.



## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1 Umweltmerkmale als Einflussfaktoren auf den Wert

Die Summe aller Objekt- und Lagemerkmale bestimmt den Immobilienwert (Abbildung 6). Eine Immobilie wird in der hedonischen Sichtweise als „ein Bündel nutzenstiftender Eigenschaften [gesehen], deren Gesamtbewertung durch die Marktteilnehmer in seinem Preis manifestiert wird“ (Moser, 2017, S. 3).

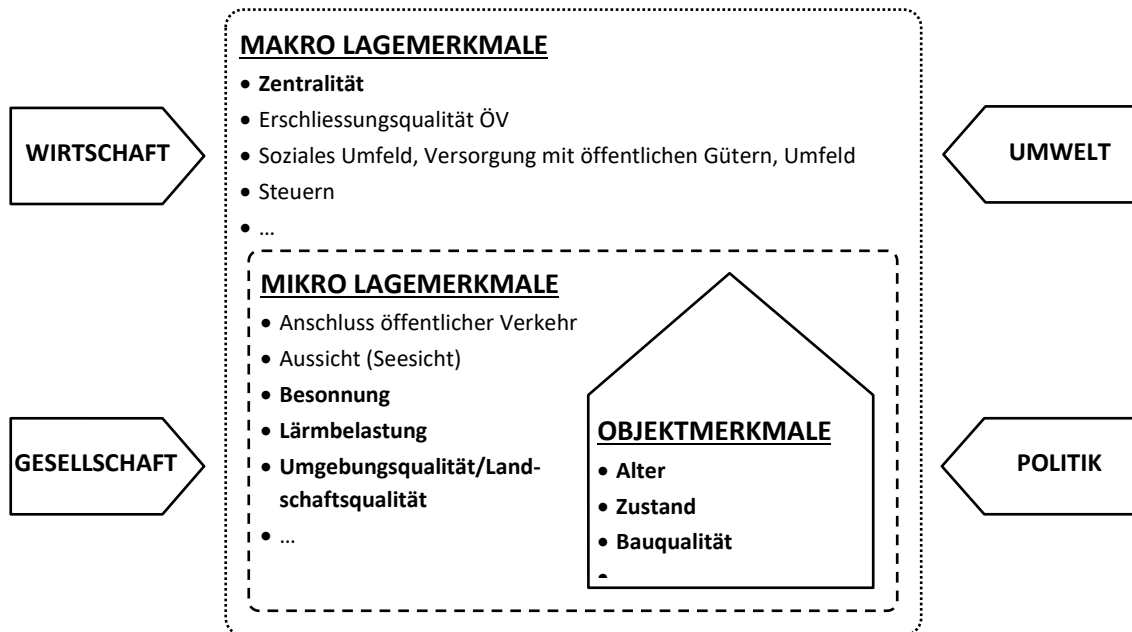


Abbildung 6: Determinanten des langfristigen Immobilienwerts Attribute mit direktem Einfluss auf den Umgang mit der Klimaerwärmung in fett hervorgehoben (in Anlehnung an Meins & Burkhard, 2009, S.7)

Immobilienmerkmale lassen sich in einem hedonischen Modell anhand eines geeigneten Datensatzes empirisch beobachten und mittels Regressionen exakt bestimmen. Zunehmend werden auch Hitzeffekte bestimmbarer werden.

Für die Untersuchung einer Eigenschaft, zum Beispiel der Resilienz einer Immobilie gegenüber hohen Temperaturen, muss eine ausreichende Anzahl an Daten vorliegen, die diese Eigenschaft in unterschiedlichen Ausprägungen widerspiegeln (Moser, 2017, S. 4). Für zukünftige Entwicklungen, die noch nicht in den Marktdaten abgebildet sind oder einem Verzögerungseffekt (engl. valuation lag) unterliegen, ist dieses Vorgehen demnach nicht geeignet.

Dennoch lässt sich bereits heute die Fähigkeit einer Immobilie besser oder schlechter mit einer zunehmenden Erwärmung umzugehen, an den Attributen der Objekt- und Lagemerkmale abschätzen. Eine im schweizerischen Kontext zentral gelegene Immobilie unterliegt tendentiell eher dem UHI-Effekt als eine Immobilie mit grösserer Distanz zum nächstgelegenen regionalen Zentrum. Auf Makroebene wirkt sich die Nähe zu Grünräumen durch eine niedrigere Umgebungstemperatur positiv aus, wenige - vor allem nächtliche - Lärmimmissionen erlauben eine effiziente Nachtlüftung und eine schattige Lage - ansonsten oft weniger attraktiv - verspricht niedrigere Sonneneinstrahlung. Letztlich entscheidend sind die Objektmerkmale, da diese in der Lage sind, auch negative Mikro-/Makro-Lagemerkmale auszugleichen: beispielsweise vermindert ein Sonnenschutz unerwünschte Sonneneinstrahlung und das Gebäudealter ist oftmals verknüpft mit der Konstruktionsart. Der bauphysikalische Zusammenhang zwischen Konstruktionsart und Überhitzungsrisiko oder Hitzeresilienz wird in Kapitel 2.5.2 näher erläutert.

Verschiedene Lagemerkmale und Objektmerkmale haben also einen Einfluss auf den Umgang mit Hitze einwirkung. Ein Vergleich des Werteeinflusses von heute präziser bestimmbar Umweltgrössen, z.B. Verkehrslärm, soll eine erste, approximative Einordnung erlauben.

Für Lärmimmissionen zeigt eine empirische Analyse (n=65'301) von Fahrländer, Gerfin & Lehner, dass der Abschlag auf den Marktwert für vermietete Wohnliegenschaften 0.44% je zusätzlichem dB Verkehrslärm beträgt und damit niedriger liegt, als die Summe des Mietabschlags von 0.33% je zusätzlichem dB Verkehrslärm in reichen Gemeinden und dem Anstieg der Eigentümerkosten von 0.9% je zusätzlichem dB Verkehrslärm. Der Unterschied wird erklärt, durch eine höheren Mieterfluktuation an lärmbelasteten Standorten, damit steigenden Kosten auf Eigentümerseite gesehen, die teilweise durch Mietzinsanpassungen bei Neuvermietungen ausgeglichen werden. Mieter an Standorten ohne Lärmbelastung verbleiben länger in der Wohnung und profitieren so vom Schweizer Mietrecht, das Mietzinsanpassungen nur bei einer Veränderung des Referenzzinssatzes zulässt (2015, S. 9 – 14). Für Bodenpreise im Kanton Zürich, konnte gezeigt werden, dass Immissionen aus Flug- und Bahnlärm mit ca. 1% im Preis gewichtet werden (Moser, 2017, S. 7).

Der Einfluss eines guten Innenraumklimas auf die Produktivität, ist für Bürogebäude vielfach nachgewiesen worden (BCO Research & Policy, 2017). Für Bürogebäude, die

nach dem Energieeffizienz-Label EnergyStar und den allumfassenderen LEED-Anforderungen (Nachhaltige Grundstückerschliessung, Wassereinsparungen, Energieeffizienz, Materialwahl und Innenraumklima) konnte ein Premium gegenüber der Mietquote in Gebäuden ohne Label von ca. 10.6 % bzw. ca. 17.1% nachgewiesen werden (Wiley, Benefield, Johnson, 2008, S. 238). Es kann angenommen werden, dass ein Teil dieses Zuschlags, für das bessere Innenraumklima bezahlt wird. Weitere Beispiele zum Wertbeitrag von Umweltgrössen sind in Tabelle 16 im Anhang aufgeführt.

Der zukünftige Wertbeitrag der einzelnen Eigenschaften steht unter dem Einfluss der exogenen Rahmenbedingungen von Wirtschaft, Gesellschaft, Umwelt und Politik, die sich wandeln können (Abbildung 6).

## **2.2 Klimawandel und Handeln unter Unsicherheit**

Bisher lag der Fokus der meisten Akteure auf der winterlichen Betrachtung. Zukünftig wird die Betrachtung im Sommer immer wichtiger. Dafür wird es nicht mehr reichen, mit den heute primär vorherrschenden, historischen Klimadaten zu arbeiten (Schmid, Wehle, 2017, S. 41).

Energiegesetze und Energie-Labels (z.B. Minergie) fordern eine sehr hohe Dämmung, eine möglichst luftdichte Gebäudehülle und eine Optimierung der passiven solaren Gewinne. Dabei wurde der sommerliche Wärmeschutz erst ab 2008 thematisiert. Zukünftig wird ein Paradigmenwechsel stattfinden: von der Betrachtung der winterlichen Heizwärme zur sommerlichen Behaglichkeit (Settembrini et al., 2017, S. 14-15).

Eine Immobilie, die derart konstruiert ist (z.B. durch die Montage von Sonnenschutz), dass sie im Sommer kühl bleibt, auch wenn das Klima wärmer wird, also über eine Resilienz oder Anpassungsmöglichkeit (engl. adaptation) gegenüber Erwärmung verfügt, wird im Vergleich mit Immobilien, die ansonsten über gleiche Merkmale verfügen, einen Vorteil haben. Der Vorteil wird umso grösser, je stärker die Erwärmung ist, also je mehr Hitzetage auftreten. Hinzu kommt, dass ein derartiges Gebäude weniger Energie für künstliche Kühlung benötigt (Rütter-Fischbacher, Caspar & Leu, 2010, S. 23).

Für ein Gebäude das nicht über derartige Eigenschaften verfügt und sich zukünftig stärker erwärmen wird, besteht demnach ein Risiko. Es ist unklar, ob die fehlende Eigenschaft bei Erwärmung für die Nutzer den selben Komfort zu bieten, zu finanziellen Verlusten oder Ausgaben in der Zukunft führen wird oder ob allenfalls die Widerstandsfähigkeit

gegenüber Hitzeeinwirkungen zunehmen wird z.B. durch die Akzeptanz der Nutzer von einem niedrigeren Komfortniveau.

Dies entspricht der allumfassenderen Definition von Nachhaltigkeit: Ein vernünftiges Investment, ist nachhaltig, wenn es zukunftssicherer ist, das heisst es kann mit den Folgen langfristiger Entwicklungen wie Klimawandel, steigenden Energiepreisen oder demografischem Wandel umgehen und hat daher ein geringeres Abschreibungsrisiko<sup>1</sup> (Meins und Sager, 2013).

Betrachtungen mit Bezug zum Klimawandel erfordern eine langfristige Betrachtungsweise und den Einbezug der Unsicherheit über die exakte Ausprägung der kommenden Veränderungen. Es existieren mehrere Emissionsszenarien, die von einem unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoss ausgehen. Die sozioökonomischen Annahmen unterscheiden sich zwischen den Szenarien. Es existieren Bandbreiten von Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Aussagen der Szenarien. Im Anhang 7.1, Klimaszenarien, werden sie erläutert.

Klimarisiken ergeben sich aus dem Zusammenspiel der klimabezogenen Gefährdung (engl hazard) mit der Risikoexposition (engl. exposure) und des Schadenpotentials (engl. vulnerability) gegenüber menschlichen und natürlichen Systemen (Abbildung 7). Sowohl Änderungen im Klimasystem und den sozioökonomischen Prozessen mit Adaption und Mitigation sind Triebkräfte von Gefährdung, Risikoexposition und Schadenpotential. Diese dynamische Sichtweise ist essentiell, da sich die sozioökonomischen und biologischen Systeme mit der Zeit verändern (IPCC, 2014, S. 1046).

Die Gefährdung eine Immobilie als Anlageobjekt hinsichtlich einer zunehmenden Erwärmung besteht weniger in der Bedrohung der physischen Substanz, als in drohenden erhöhten Aufwendungen oder entgangenen Einnahmen. Die Risikoexposition unterscheidet sich hauptsächlich nach der Lage: städtische Lagen sind durch den Wärmeineffekt stärker betroffen, als ländliche Gegenden. Das Schadenpotential bestimmt sich durch das Vorhandensein ungünstiger Eigenschaften – wie grossflächigen Verglasungen ohne ausreichenden Sonnenschutz, die einen hohen Wärmeeintrag

---

<sup>1</sup> Aufgrund der Vielzahl an Definitionen von Risiko und Unsicherheit je nach Kontext, empfiehlt sich an dieser Stelle eine Präzisierung basierend auf Sloman (2009, S.75):

- Risiko - wenn ein Ergebnis eintreten kann oder nicht, aber seine Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt ist
- Unsicherheit - wenn ein Ergebnis eintreten kann oder nicht und seine Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bekannt ist

ermöglichen – oder die Fähigkeit mit nachteiligen Einwirkungen z.B. durch Speichermasse umgehen zu können.

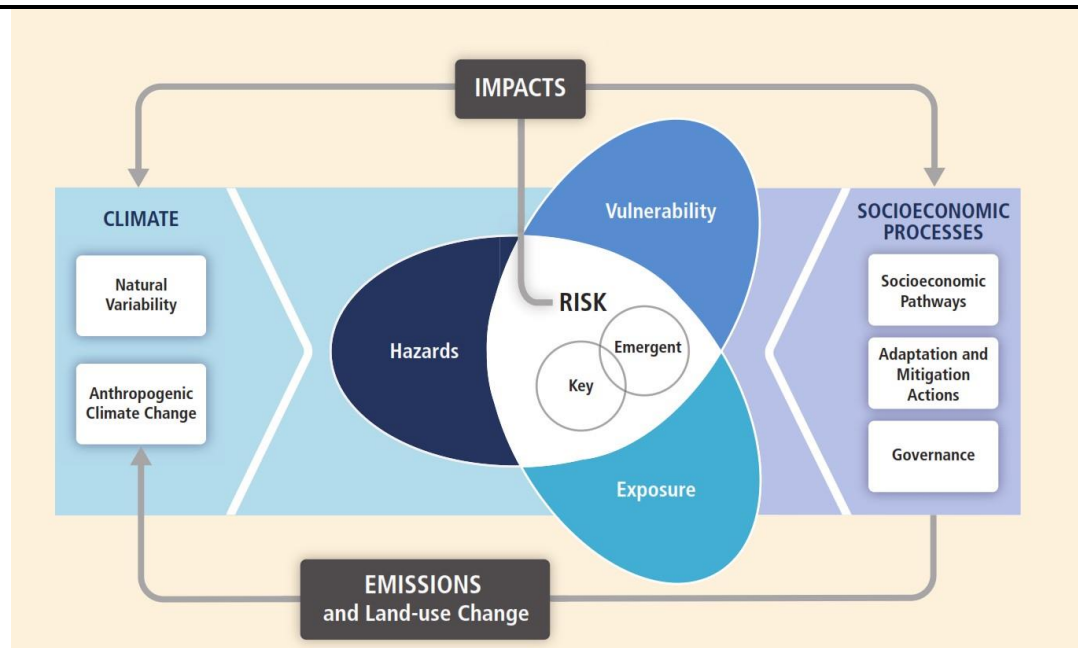


Abbildung 7: Klimasystem, Risikoexposition und Verwundbarkeit (IPCC, 2014, S. 1064)

Die Auswirkungen (engl. impacts) betreffen in der Folge Wohlbefinden und Gesundheit der Menschen (siehe Kapitel 1.1.2) oder Kapitalaufwendungen und Einnahmeverluste auf Eigentümerseite.

### 2.3 Risikoanalyse anhand der Monte-Carlo-Simulation

Unsicherheit, entsteht durch fehlerhafte oder fehlende Informationen hinsichtlich der Parameter, die in einer quantitativen Analyse verwendet werden. Wenn es unmöglich ist, die Eingangsinformationen zu verifizieren, sind die Ergebnisse mit Unsicherheit behaftet. Ist es jedoch möglich, den Eingangsvariablen Wahrscheinlichkeitsverteilungen zuzuordnen, lässt sich eine Bandbreite an möglichen Ergebnissen erreichen (French und Gabrielli, 2004, S. 485). Und das Vorgehen entspricht der Risikoanalyse.

Die Quantifizierung von Risiken kann durch Benchmarking und Methoden mit und ohne Bezug von Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfolgen (COSO, 2004; zit. in Gleißner und Wiegmann, 2012).

Die Sensitivitätsanalyse, eine Methode ohne Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, untersucht die Auswirkungen von stufenweisen Veränderungen einer der Schlüsselgrößen auf das Resultat. Es identifiziert die Schlüsselvariablen und wie sich Änderungen in einzelnen Variablen auf den Endwert

auswirken können. Szenariotests sind eine methodische Verbesserung der Sensitivitätsanalyse. Ziel ist es, zu untersuchen, wie sich eine Kombination von Änderungen in den Entwicklungsvariablen einer Beurteilung auf das Ergebnis auswirkt. (Gleißner et al., 2012).

Risikosimulationen entwickeln Wahrscheinlichkeitsanalysen weiter und Monte Carlo Simulationen (MCS)<sup>2</sup> sind ein Mittel dazu. Dabei werden die einzelnen Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingangsgrößen definiert. Die MCS wählt zufällige Zahlen für jede Variable, was zu einem Ergebnis führt. Dieser Prozess wird mehrere tausend Male ausgeführt, um eine repräsentative Stichprobe der möglichen Ergebnisse zu erhalten, die statistisch analysiert werden kann.

Im Immobilienbereich wurde der Nutzen der MCS wissenschaftlich breit untersucht. Unsicherheiten in der Liegenschaftsbewertung, Einschätzung von Unsicherheiten bei Entscheidungen und Risiken in Projektentwicklungen sind die hauptsächlichen Themenbereiche.

Pyhr (1973) nutzte Simulationstechniken, um die «komplexen, dynamischen und unsicheren Elemente» (Pyhr, 1973, S. 46) einer Immobilienanlage, also deren Risiko, zu messen. Das Bewerten von Liegenschaften ist ein Prozess bei dem mit Unsicherheiten umgegangen wird und ein Bewerter die wahrscheinlichste Antwort präsentiert. Mallison und French (2000) diskutieren, wie durch das Transparentmachen dieses Abwägungsprozesses wertvolle Information für den Kunden erhalten wird. Kelliher und Mahoney (2000) zeigen, wie diese Überlegungen, mittels einer Software zur Vorhersagemodellierung («Crystal Ball» von Oracle), modelliert werden können. French und Gabrielli (2005) führen die Diskussion über Unschärfe in Bewertungen fort und zeigen, wie ein auf Wahrscheinlichkeiten basierendes Bewertungsmodell aufgestellt wird.

Für die Bewertung eines institutionellen Immobilienportfolios in Genf zeigen Hoesli, Jani & Bender (2006) wie Unsicherheiten in zukünftigen Cashflows mittels der Fortschreibung empirischer Daten und Gebäudecharakteristika modelliert werden können. Sie verwenden dafür die Adjusted-Present-Value-Methode, die es ermöglicht,

---

<sup>2</sup> "Monte-Carlo-Simulation" ist ein durch Enrico Fermi in den 30-Jahren entwickeltes, stochastisches Simulationsverfahren, das ursprünglich in den Naturwissenschaften angewendet wurde. In den Wirtschaftswissenschaften fand die MCS erst in den frühen 1960er Jahren (z.B. Hertz, 1964) als Instrument zur Risikoeinschätzung an den Kapitalmärkten Anwendung.

das Risiko der Zahlungsströme durch zeitvariierende, gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten (engl. weighted average cost of capital, WACC) ohne Kenntnis des Anlagewerts abzubilden.

Baroni, Barthélémy & Mokrane (2007a) zeigen, für ein Portfolio mit Wohnimmobilien in Paris, dass simulierte Cash-Flows robustere Bewertungen als herkömmliche DCF-Bewertungen liefern und weniger sensibel gegenüber Annahmen zum Cash-Flow Wachstum sind. Sie erlauben die Preisverteilung für jeden Zeithorizont abzubilden und einfach den VaR (Value-at-Risk) anzugeben. Vergleichbar ist die Abschlussarbeit von Fries (2016) für ein Portfolio von 20 Schweizer Wohnliegenschaften. Dabei legt sie besonderes Augenmerk auf die Auswahl der Verteilung der Eingabegrößen.

In einer parallelen Untersuchung schlagen Baroni et al. (2007b) statt der DCF-Methode einen alternativen Ansatz unter Verwendung der MCS vor, um die optimale Haltedauer eines Immobilienportfolios zu bestimmen. Sie verwenden dafür den WACC des Investors, die Wachstumsrate der Cashflows und die anfängliche Nettorendite des Investors. Eine optimale Haltedauer kann berechnet werden, wenn die Kapitalkosten des Investors kleiner als die Summe aus Netto-Anfangsrendite und der Wachstumsrate der Cashflows sind.

Die Unsicherheiten durch mietvertragliche Risiken und Breakoptionen in gewerblichen Mietverträgen bildet Dupuy (2003) durch die Kombination von MCS und Optionentheorie ab. Darauf bauen Amédée-Manesme, Barthélémy, Baroni & Dupuy (2013) für die Bewertung und das Risikomanagement von Immobilienportfolios auf. Sie nutzen die MCS und Optionentheorie, um Unsicherheiten, die aus gewerblichen Mietverträgen entstehen, für das gesamte Portfolio abzubilden und das spezifische Risiko, welches sich meist nicht diversifizieren lässt, zu bestimmen.

Atherton, French & Gabrielli (2008) zeigen wie die Unsicherheiten (Mieteinnahmen, Kosten, Rendite, Zeit oder Zinssatz) einer Projektentwicklung in den Cashflows des Residualwertverfahrens mittels MCS berücksichtigt werden können, welche Rolle der Entscheidungsträger hat und wo Vorteile gegenüber einer Sensitivitätsanalyse entstehen.

Loizou und French (2012) analysieren wie MCS grundsätzlich für Entwicklungsprojekte aufzubauen sind. Dabei gehen sie davon aus, dass Unsicherheit ein integraler Bestandteil des Entwicklungsprozesses ist und dies in einer entsprechenden Bewertung abgebildet werden muss. Ein Fokus wird auf die zwischenmenschlichen Erfolgsfaktoren in

Projektentwicklungen gelegt. Sie schlagen die Verwendungen von MCS stets in komplementärer Weise vor, begleitet vom Verständnis für menschliches Urteilsvermögen und Entscheidungsfindung. Gimpelvich (2011) führt die Risikobewertung einer Projektentwicklung mittels DCF und MCS an einem Beispiel durch.

Pfür und Armonat (2013) verwenden MCS, um insbesondere die Unsicherheiten hinsichtlich Betriebskosten und Kapitalkaufwendungen einer Immobilieninvestition unter Verwendung von Krediten dynamisch abzubilden.

Der Beitrag der Zertifikate LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) und EnergyStar wird von Jackson (2009) mittels MCS untersucht und mit einem durchschnittlichen IRR von 126% angegeben bei 10% Wahrscheinlichkeit einen IRR von 50% oder weniger zu erreichen bzw. einem durchschnittlichen IRR von 140% angegeben mit nahezu null Wahrscheinlichkeit (1.6%) einen IRR von weniger als 50% zu erzielen.

Stein, Braun, Villà, & Binding (2014) nehmen eine bottom-up Betrachtung vor, da keine Betrachtung auf Portfolioebene erfolgt, sondern der ökonomische Mehrwert eine Einzelimmobilie nachhaltig («green») umzubauen, bestimmt wird. Die auf die ökonomische Nachhaltigkeit fokussierte Betrachtung wird an einem umfassenden Modell des Immobilienmarkts durchgeführt, das alle Elemente mit Einfluss auf Cash-Flows – teilweise unter vereinfachenden Annahmen - simuliert.

Der Beitrag einzelner Nachhaltigkeitskriterien zum Risiko des Immobilienwerts wird von Meins und Sager (2015) hergestellt. Für 42 Nachhaltigkeitsindikatoren wird die zukünftige Nachfrage mit vier «future states of nature» beschrieben und der Einfluss jedes Indikators auf Kosten und Einnahmen berücksichtigt. Für die Schweiz stellen sie fest, dass vom thermischen Energieverbrauch (29.3%), vor der Erschliessung mit dem öffentlichen Verkehr (16.3%), der Tageslichtausnutzung (9.6%) und der Raumhöhe (6.3%) der höchste Einzeleinfluss auf das Risiko der Immobilien ausgehen.

Allen Untersuchungen gemeinsam ist, dass die dynamische Struktur eines Immobilieninvestments – Mieten, Zinsen, Nachfrage, Kosten etc. die sich mit Marktzyklen über die Zeit ändern – abgebildet werden. Dazu wird eine dynamische Modellierung – meist mit MCS – vorgeschlagen. Die Forschungen konzentrieren sich auf die Themenbereiche Projektentwicklung, Bewertung und Entscheidungstheorie.



## 2.4 Massnahmen zur Verringerung des UHI-Effekts

Als eine Anpassung an den Klimawandel bemühen sich diverse Städte, ihre Exposition gegenüber dem UHI-Effekt zu reduzieren. Eine Synthesestudie des BAFU (2018) gibt einen Überblick über Massnahmen und Strategien von 24 europäischen und Schweizer Städten:

- Für eine effektive Nachtauskühle der vom Sommertag aufgeheizten Städte, sollten Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftschneisen erhalten und geschaffen werden. Die Ergebnisse, dargestellt am Beispiel des Kantons Zürich (Abbildung 8), können dann in der Richtplanung berücksichtigt werden.
- Städtebau sollte abgestimmt auf die Klimaanforderungen erfolgen. Mit diesem Ansatz bietet die Nachverdichtung Chancen, bestehende, unvorteilhafte Situationen zu verbessern.
- Sogenannte „Blaue Massnahmen“ in Form von möglichst bewegten Wasserflächen wirken äusserst positiv und vielfältig auf das Regional- und Stadtklima.
- Erhalt, Schaffung und Entwicklung grossräumiger Grünanlagen gehört ebenso wie das Pflanzen von Einzelbäumen (Verschattung von Wegen, Gebäuden, Verbesserung Bioklima etc.) zu den „grünen Massnahmen“.
- Die Wahl von hitzeoptimierten Oberflächen im Aussenraum (hohes Reflexionsvermögen/Albedo, hohe spezifische Wärmekapazität und niedrige Wärmeleitfähigkeit) führen in Kombination mit Entsiegelungsmassnahmen und einem angepassten Regenwassermanagement zu guten Ergebnissen.
- Ein guter sommerlicher Wärmeschutz der Gebäude und nur falls nötig die Ausrüstung mit einer klimagerechten Kühlung reduzieren einen zusätzlichen Wärmeeintrag in den Stadtkörper.
- Weitere Massnahmen an Gebäuden (begrünte Dächer, Fassaden etc.) werden im folgenden Kapitel, Kapitel 2.5, gezeigt.

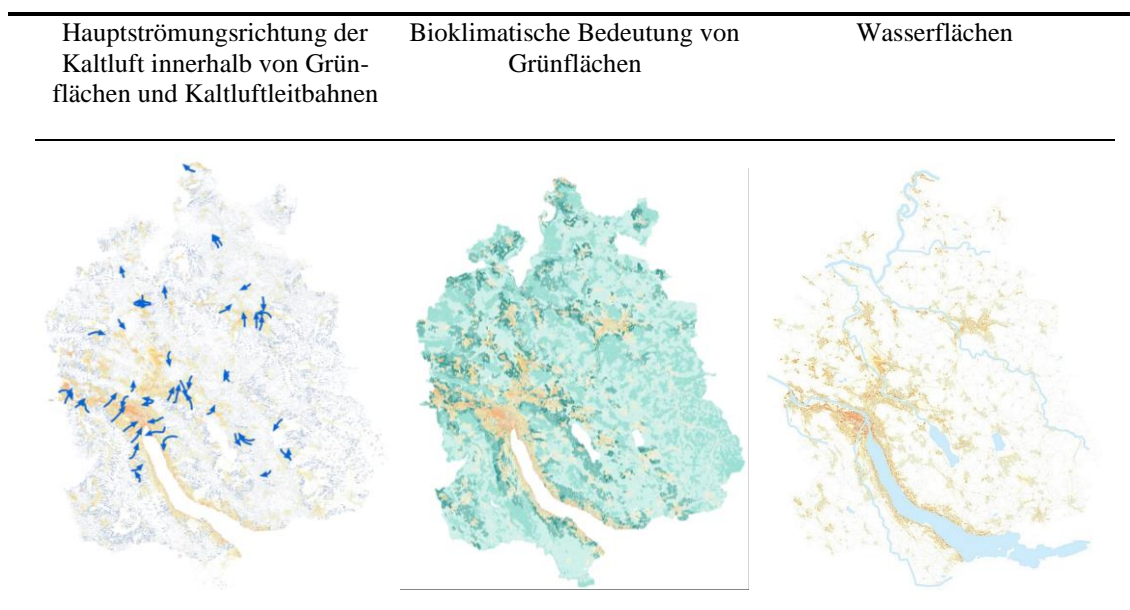


Abbildung 8: Planhinweiskarte Kanton Zürich (Amt für Raumentwicklung, 2019c)

Die diversen Massnahmen lassen sich nach ihrem Einwirkungsbereich in den bioklimatischen Belastungsraum unterteilen (BAFU, 2018, S.41):

- makro = weites Umfeld, z. B. die ganze Stadt
- meso = näheres Umfeld, z. B. Quartier
- mikro = unmittelbarer Nahbereich, z. B. Gebäude und Wohnumfeld

Das Konzept des Urban Managements, Raumplanung stärker unternehmerisch auszurichten und den Erfolg anhand des Landwerts zu messen, kann ein Mittel sein, Akteursgruppen zu fördern, die für positive, externe Effekte sorgen (Bahn & Loepfe, 2007, S. 6). Hitzereduzierende Massnahmen auf Meso- und Mikroebene verbessern oft auch die klimatischen Eigenschaften angrenzender Liegenschaften und Gebiete. Shin, Kim, Gu und Kim (2017) zeigten eine Temperaturreduktion von 0.26 °C – 0.48 °C im Radius von 30m um Gebäude, die in Kalifornien nach dem LEED-Zertifikat gebaut wurden. Ein hitzereduzierender Effekt tritt ebenfalls in der näheren Umgebung von Grünflächen auf, wie umfangreich nachgewiesen wurde (Chun & Guldmann, 2017)

Im Weiteren liegt der Fokus der Arbeit ausschliesslich auf dem Mikro-Bereich, also dem Perimeter Gebäude, mit dem der Nutzer einer Wohnung direkten Kontakt hat.

## 2.5 Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Gebäude

Das wärmer werdende Klima wird die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes, also die Fähigkeiten den Komfort auch bei warmen Temperaturen beizubehalten, verstärken.

### 2.5.1 Sommerlicher Wärmeschutz und Komfort

Ein hoher thermischer Komfort ist primär abhängig von der Innenraumtemperatur. Diese ergibt sich aus der Wärmebilanzbetrachtung von Wärmegewinnen, Wärmeverlusten und der Wärmespeicherung. Die vier wichtigsten Einflussgrößen sind damit Speichermasse, solare Gewinne, interne Lasten und die Raumlüftung.

Grundlegend für das heutige Verständnis von thermischem Komfort sind die Studien von Fanger (1967). Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Relative Luftzirkulation, Wasserdruck der Umgebungsluft, das Aktivitätsniveau und der thermische Widerstand der Kleidung bestimmen, ob der menschliche Körper im thermischen Gleichgewicht ist, d.h. dass der Wärmeverlust an die Umgebung der Wärmeproduktion im Körper entspricht, dass die Hauttemperatur dem Komfortniveau entspricht und dass es entsprechend der metabolischen Rate eine bevorzugte Schwitzrate gibt. Fanger gelingt dies mit zwei Indizes, dem PMV (predicted mean vote), der die Komforteinschätzung einer grösseren Gruppe wiedergibt und dem PPD (predicted percentage of dissatisfied), der die Anzahl Unzufriedener mit dem aktuellen Komfortniveau angibt (Santamouris, 2015).

Eine leichte, sitzend ausgeführte Büroarbeit mit sommerlicher Bekleidung ergibt nach der Norm SIA 180, die Aussagen zum Raumklima basierend auf Fangers Studien macht, , beispielsweise eine optimal empfundene Raumtemperatur von  $24.5^{\circ}\text{C}$  mit einem Toleranzbereich von  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  (Abbildung 9). Ergänzt wird die Norm SIA 180 durch SIA 382/3 und EN15251. Hinzu kommen gesetzliche Vorgaben, Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) und Vorgaben durch Zertifizierungen (Minerge, SNBS, DGNB, LEED etc.).

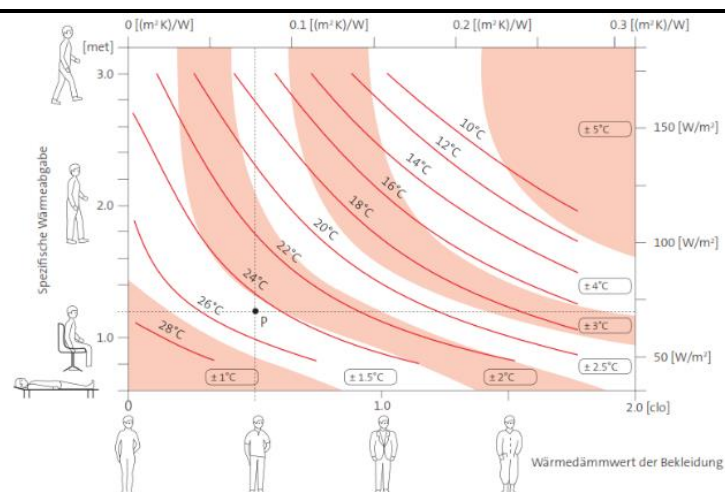


Abbildung 9: Optimale empfundene Temperatur (SIA 180, 2014, S.26)

Das Modell von Fanger ist seiner allgemeinen Gültigkeit in der Fachwelt nicht unumstritten. Einerseits basiert es auf gesunden Erwachsenen und kann nicht ohne Weiteres auf Kinder, ältere Erwachsene und Personen mit Einschränkungen übertragen werden. Zusätzlich werden insbesondere bei warmen Temperaturen dem Modell Schwächen unterstellt. In asiatischen Studien zum thermischen Komfort werden im Vergleich zum PMV höhere Temperaturen als angenehm empfunden.

Allerdings sind die individuellen Unterschiede hinsichtlich einer Komforttemperatur derart gross, dass es als historischer Fehler angesehen wird, neue Modelle und Standards zu entwickeln, die versuchen für ganze Gruppen Komfort zu definieren (Van Hoof, 2008, S. 197). Neben der tatsächlichen Temperatur spielen aber auch psychologische Vorgänge eine Rolle beim Temperaturempfinden (Van Hoof, 2008, S. 196). Besonders in einer alternden Gesellschaft, werden von dieser Personengruppe Räume mit exzellentem thermischen Komfort entsprechend der physischen Anforderungen gefordert.

### **2.5.2 Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten**

In der Studie „Climabau – Planen angesichts des Klimawandels“ (Settembrini et al., 2017) wird neben dem Energieverbrauch die Veränderung der Behaglichkeit für vier Gebäudetypen während des fortschreitenden Klimawandels dieses Jahrhunderts untersucht. Jeder Gebäudetyp ist charakterisiert hinsichtlich Baujahrs, Konstruktion, Fassadenöffnungen und wird durch ein reales Gebäude repräsentiert (Abbildung 10).

Dabei stellte er fest, dass je nach Konstruktion, und damit verallgemeinernd nach Bauperiode, die Gebäude unterschiedlich auf ansteigende Temperaturen reagieren.

Bei allen Gebäudetypen wird der Heizwärmebedarf sinken. Bei den Referenztypen „Altbau Standard“ und „Altbau geschützt“ sinkt der Bedarf um ca. 20% und der Klimakältebedarf bleibt trotz eines exponentiellen Anstiegs im Vergleich nahezu unbedeutend; bei den Bautypen „Neubau massiv“ und „Neubau hybrid“ sinkt der Heizwärmebedarf um rund ein Drittel, der Klimakältebedarf steigt hingegen auf 50% des Heizwärmebedarfs (Abbildung 10). Das thermisch günstigere Verhalten der Altbauten basiert auf typologischen Eigenschaften (z.B. Dämmwerte und Fensteranteil) und deren Betrieb (z.B. Art und Bedienung der Lüftung, respektive des Sonnenschutzes) (Settembrini et al., 2017, S.8).





	<b>Altbau standard</b>	<b>Altbau geschützt</b>	<b>Neubau massiv</b>	<b>Neubau hybrid</b>
				
Baujahr/Sanierung	1954	1929/2013	2017	2014
Standort real	Zürich	Zürich	Lyss	Nebikon
Bezeichnung	Rossweidli	Sihlfeld	Portalyssa B	Swisswoodhouse
Tragwerkstyp	Mauerwerk	Mauerwerk	Mauerwerk	Stützensystem Holz
Wandtyp	Backstein Lochfassade	Backstein Lochfassade	Backstein Lochfassade	Holzrahmen Lochfassade
Deckentyp	Stahlbeton	Holzbalkendecke	Stahlbeton	Holzrippendecke / UB
Typ Aussenraum	Balkone einzeln	Balkone einzeln	Loggien einzeln	Loggien einzeln
Anzahl Whg betrachtet, (gesamt)	8 (99)	5 (138)	12 (145)	9 (18)
Wohnungsmix	8 x 3 Zi., ca. 65 m <sup>2</sup>	4 x 5 ½ Zi., 116 m <sup>2</sup> 1 x 4 ½ Zi., 103 m <sup>2</sup>	5 x 4 ½ Zi., ~119 m <sup>2</sup> 4 x 3 ½ Zi., 98.5 m <sup>2</sup> 3 x 2 ½ Zi., 78.2 m <sup>2</sup>	2 x 5 ½ Zi., 145 m <sup>2</sup> 4 x 4 ½ Zi., 130 m <sup>2</sup> 1 x 3 ½ Zi., 95 m <sup>2</sup> 2 x 2 ½ Zi., 80 m <sup>2</sup>
Zugehörige Bauperiode	1946-1980	1919-1945	2001-2017	2001-2017
Anzahl MFH in der Bauperiode (absolut/anteilig)	163'232 / 35%	52'712 / 11%	72'249 / 16%	72'249 / 16%
Keine Gebäude aus Bauperiode „vor 1919“ (89'462/19%) und „1981-2000“ (85'725/18%)				

Abbildung 10: Eigenschaften der Referenzgebäude

(Settembrini et al., 2018, S. 40, 163) (Liechti, 2012) (Bundesamt für Statistik BFS, 2019)

Das unterschiedliche Verhalten der Bautypen konnte ebenfalls am Anstieg der Überhitzungsstunden beobachtet werden: die in Extremsommern am Anfang des Jahrhunderts ungefähr um das 20-fache ansteigen, in solchen zur Mitte des Jahrhunderts um das 30-fache ansteigen.

Die aus dieser Studie stammenden Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulationen für die Regio CHNE (nordöstliche Schweiz), basierend auf dem Treibhausgasszenario A1B des IPCC, werden als Grundlage für das Simulationsmodell verwendet.

Jährliche Medianwerte zu Heizwärme- und Klimakältebedarf der vier Fallstudien in der Referenzperiode „1995“ (1980-2009) und der Periode „2060“ (2045-2074) am Standort Basel. Die Prozentzahlen geben die auf den Klimawandel zurückführbare Veränderung an.

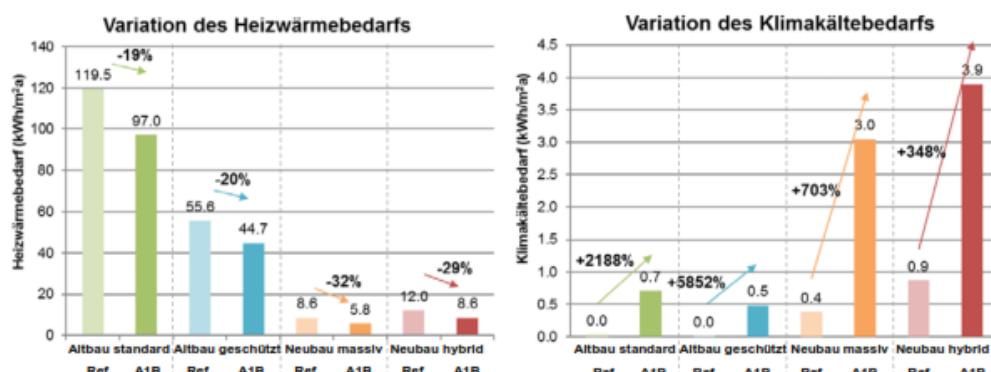


Abbildung 11: Veränderung von Heizwärme- und Klimakältebedarf (Settembrini et al., 2017, S. 8)

### 2.5.3 Massnahmen Gebäude

Es wurde eine Liste mit Massnahmen zur Reduktion der Erwärmung von Gebäuden oder der aktiven Kühlung zusammengetragen (Tabelle 1).

Kategorie	Massnahme
Umgebung	Bäume und bepflanzte Flächen (Umgebung grün) kühlende Wasserelemente (Umgebung blau)
Fassade	begrüntes Dach begrünte Fassade Sonnenschutz, technische Steuerung, Storen, Sonnenschutzfolien
Haustechnik	Optimierung der Lüftung: insbesondere durch Nachtauskühlung free cooling: Kühlung mittels Erdsonden und einer Abwasserwärmepumpe, die die warme Luft an das Erdreich abgibt Groundcooling: Kühlung mit im Erdreich verlegtem Wärmetauscher geocooling Wasserkühlung: Nutzung von Grundwasser oder Oberflächengewässer als wärmeabführende Kühlmittel Eispeicher Kaltwasserspeicher Passive Haustechnikkonzepte Latenzwärmespeicher Verdunstungskühlung: direkt/indirekt, desiccant cooling, free cooling (recirculation or heat recovery) Nachhaltige Verteilsysteme: Bewegliche Ventilatoren, Kühlrippen/Kühldecken, Bauteilaktivierung (Wasser), Bauteilaktivierung Luft

---

 Konstruktive Konzepte
 

---

Massivbau/Speichermasse  
 keine Wärmedämmung  
 Kleine Fensterfläche  
 Keine Suedexponierte Gebaeude  
 Typologie  
 Anordnung der empfindlichen Raeume auf der Nordseite

 Betrieb
 

---

Einfaches Klimagerät  
 Minderung der internen Wärmequellen: Austausch der Beleuchtung durch LEDs,  
 Austausch von Elektrogeräten  
 Nachtlüftung

---

Tabelle 1: Hitzemassnahmen

### 2.5.4 Einfluss des Nutzerverhaltens

Neben den städtebaulichen und konstruktiven Massnahmen hat der Nutzer, der direkt von Temperaturerhöhungen betroffen ist, auch die Möglichkeit, durch angepasstes Verhalten, den Wärmeeintrag zu reduzieren. Das Schliessen des Sonnenschutzes während des Tages und das nächtliche Öffnen der Fenster sind äusserst wirkungsvolle Massnahmen.

Sahakian (2014) weist darauf hin, wie schwierig das Ändern von einmal angewohnten Handlungsmustern ist. (S. 18)

### 2.6 Nutzerverhalten und Abschätzen zukünftiger Reaktionen

Für eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen, ist es sinnvoll sich die Einflussfaktoren, die den Immobilienwert beeinflussen zu veranschaulichen (Abbildung 12). Beginnend bei Kostenseite soll ein Einfluss der Erwärmung darauf ausgeschlossen werden. Ebenso wird die klimabedingte Entwicklung der Immobilienmärkte an sich nicht berücksichtigt. Allerdings darf erwartet werden, dass Mieter einer Wohnung, die sich wiederholt überhitzt, einen Marktvergleich zu Wohnungen anstellt, von denen er annimmt, dass dies dort nicht geschieht (Abbildung 13). Alternativ darf erwartet werden, dass Mieter vermehrt Mietzinsreduktionen aufgrund von zu hohen Temperaturen geltend machen werden. Die recht einfache Argumentation, dass das symmetrische Komfortempfinden für zu kalte und zu warme Temperaturen, seine Abbildung in der Rechtsauslegung finden wird, soll an dieser Stelle ausreichen. In 3.2.6 *Mieterentschädigungen aufgrund Überhitzung* wird detailliert auf die Berechnung eingegangen.

Settembrini (2016) konnte zeigen, dass künftig prozentual mehr Personen mit dem Innenraumklima unzufrieden sein werden – der Wert Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) steigt, da die Temperaturen, den als komfortabel angenommenen Temperaturbereich teils deutlich übersteigen.

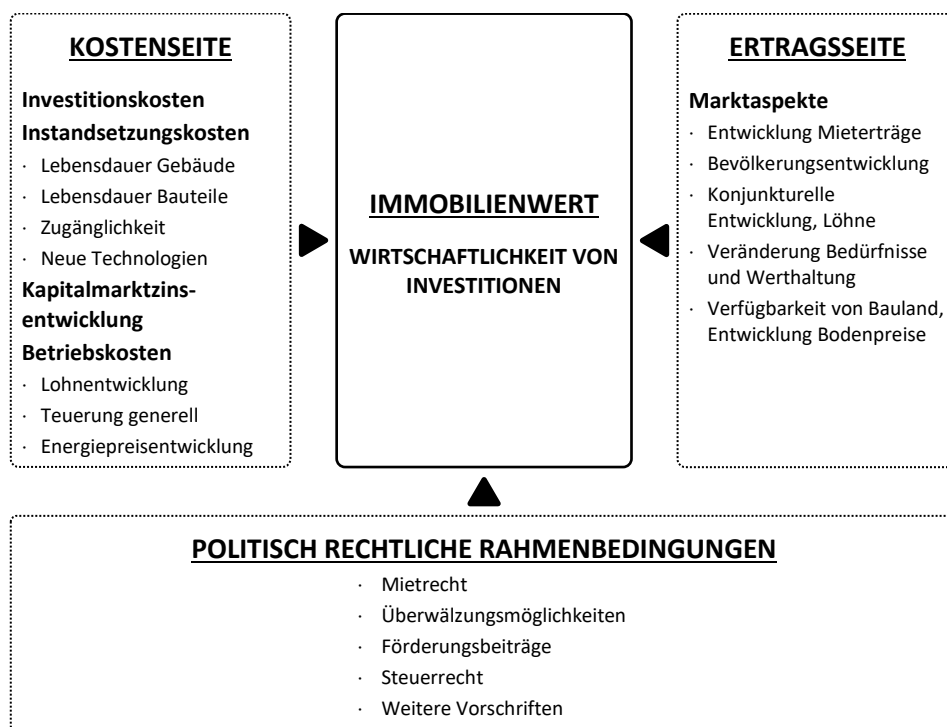


Abbildung 12: Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer Investition  
(Rütter-Fischbacher et al., 2010)

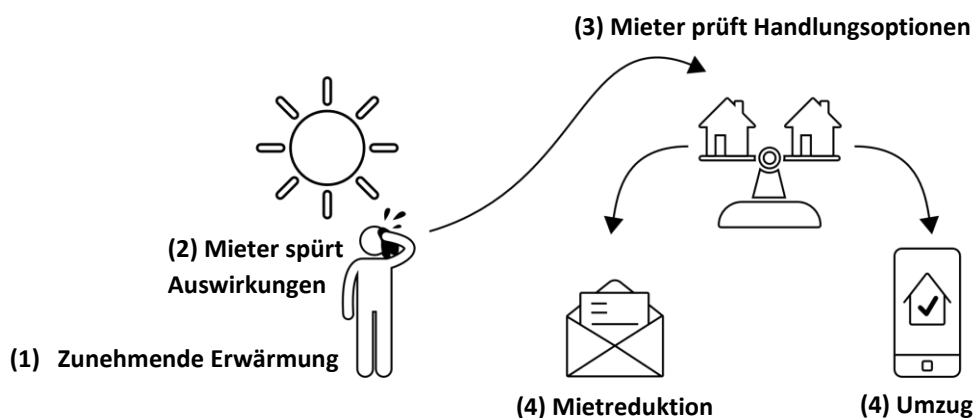


Abbildung 13: Wirkungsmodell zunehmender Erwärmung



### 3. Modellbeschreibung

Nachfolgend werden in Kapitel 3.1 die der Modellbildung zugrundeliegenden Verfahren beschrieben und in Kapitel 3.2 die relevanten Variablen mit ihrer zugrundeliegenden Verteilungen hergeleitet.

Die für den jeweiligen Referenztyp angewendeten Massnahmen werden in Kapitel 3.3 erläutert.

Die gesamte Modellbildung erfolgt in Microsoft Excel, wobei RiskAmp die für die Monte-Carlo-Simulation benötigten, zusätzlichen Funktionen bereitstellt.

#### 3.1 Discounted-Cashflow-Methode

Bei der DCF-Methode werden per Stichtag diskontierte jährliche Nettoerträge (Free Cashflows, FCF) zu einem totalen Barwert addiert. Sie gehört zu den Ertragswertmethoden und findet in der Schweiz im Immobiliensektor breite Anwendung. (SIV, 2009, S. 219)

Die DCF-Methode kann als 1-Phasen-Modell oder als 2-Phasen-Modell aufgebaut werden. Die erste Phase sollte so lange dauern, «damit alle variablen und einmaligen Wertelemente erfasst werden und in der Phase 2 nur noch der konstante und unbefristete Ertragswert (Exitwert) verbleibt.» (SIV, 2009, S. 224)

Für die Modellierung von unsicheren und damit variablen Cashflows wird das 1-Phasen-Modell gewählt. Alle Unsicherheiten werden durch die Simulation direkt in den Cashflows dargestellt. Der Barwert  $BW_0$  entspricht dem Wert der Immobilie zum Zeitpunkt  $t = 0$  und wird aus den abdiskontierten und aufsummierten Free-Cashflows  $FCF$  gebildet (1).

$$BW_0 = \sum_{t=1}^T \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Der Cashflow am Ende des Jahres  $t$  setzt sich aus den Soll-Mieterträgen  $MS_t$  unter Berücksichtigung von Leerständen  $lsz_t$  und übrigen Erträgen  $\ddot{U}E_t$  abzüglich von Betriebskosten  $BK_t$ , Instandhaltungskosten  $IH_t$ , Instandsetzungskosten  $IS_t$ , und übrigen Kosten  $\ddot{U}K_t$  zusammen (2).

$$FCF_t = MS_t \times (1 - lsz_t) + \ddot{U}E_t - BK_t - VW_t - IH_t - \ddot{U}K_t \quad (2)$$

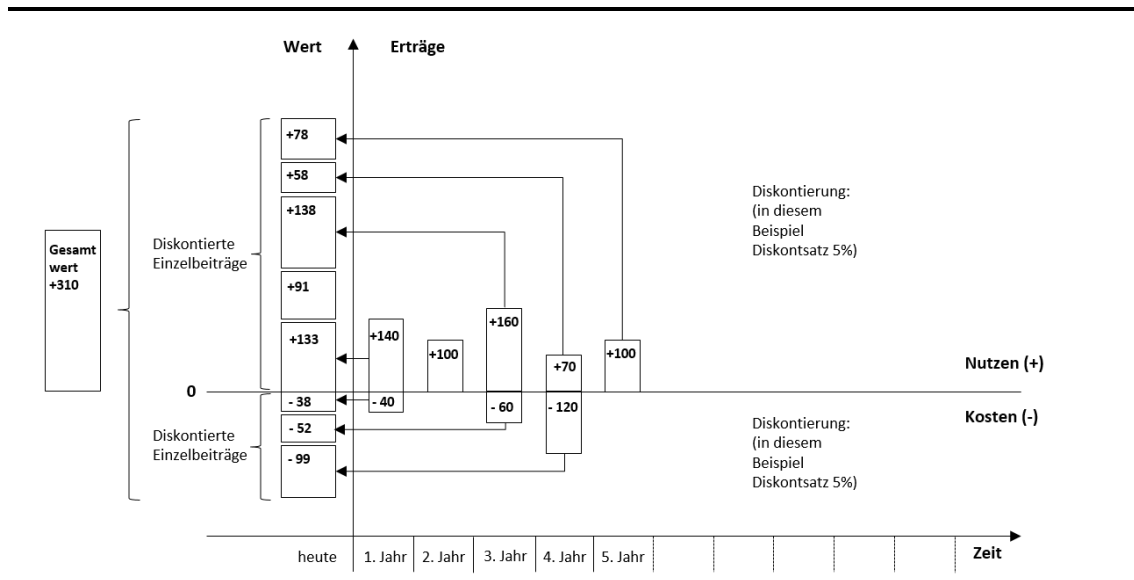


Abbildung 14: Funktionsweise DCF-Modell (Canonica, 2009, S.65)

Die DCF-Methode bedingt es, dass Immobilieneigenschaften entweder in den Cashflows reduziert werden als Risiken in Form von Zu-/Abschläge im Diskontsatz berücksichtigt werden. Demgegenüber erlaubt die MCS eine transparentere Berücksichtigung der Risiken.

### 3.2 Modellspezifikation

Monte-Carlo Simulationen werden den stochastischen Simulationen zugeordnet. Sie «modellieren die Unsicherheit, die von externen, werttreibenden Faktoren [...] ausgeht, durch Berücksichtigung derer statistischer Eigenschaften», wie Meins (2015) zusammenfasst. Die Unsicherheit zukünftiger Werte einzelner Risikofaktoren wird durch Zufallszahlen abgebildet.

Für die Modellbildung einer stochastischen Simulation werden folgende Schritte vorgeschlagen (Hass, 2010, S. 54):

1. Identifikation der Risikofaktoren und Formulierung eines Bewertungs- bzw. Entscheidungsmodells
2. Bestimmung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die als unsicher anzusehenden Inputparameter (Risikofaktoren)
3. Einbeziehung stochastischer Abhängigkeiten zwischen den unsicheren Inputparametern
4. Berechnung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgröße
5. Auswertung und Interpretation des Ergebnisses.

### 3.2.1 Sensitivitätsanalyse

	Abschlag 10%	Zuschlag 10%
Mietpreiswachstum	-4.1%	+4.4%
Leerstandsnummer	0.1%	-0.1%
Betriebskosten	0.5%	-0.5%
Verwaltungskosten	0.5%	-0.5%
Standhaltungskosten	1.3%	-1.3%
<b>Diskontsatz</b>	<b>7.9%</b>	<b>-7.2%</b>

Tabelle 2: Sensitivitätsanalyse: Veränderung des Barwerts durch einen Zu-/Abschlag von 10%

### 3.2.2 Mietzins

Die Mieterträge bilden die Basis der Cashflows. Für die weitere Untersuchung wird angenommen, dass sämtliche Wohnungen der Liegenschaften zu Marktmieten vermietet sind. Unterschiede zur Marktmiete, die aus der der Regelung zur Mietzinsanpassung im Mietvertrag, sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen, vorgenommenen werterhöhenden Massnahmen oder ähnlichem resultieren, werden für die vier Gebäudetypen nicht berücksichtigt werden.

Es werden die Mietzinse des 70% Quantils aus beobachteten Mietvertrags-Neuabschlüssen der letzten zwölf Monate in Mehrfamilienhäusern der jeweiligen Bauperiode verwendet. (Anhang 7.4.1, 7.4.2, 7.4.3, Wüest Partner AG, 2019). Der Unterschied der Mietzinsen von geschützten Altbauten und massiven Neubauten ist am grössten und liegt bei ca. 27%.

	Altbau standard	Altbau geschützt	Neubau massiv	Neubau hybrid
Baujahr/ Sanierung	1954	1929/2013	2017	2014
Zugehörige Bauperiode	1946-1980	1919-1945	2001-2017	2001-2017
Standort Modell	Zürich Zentrum	Zürich Zentrum	Zürich Zentrum	Zürich Zentrum
Wohnungsmix	a 2 x 4 Zi., ca. 62 m <sup>2</sup> b c d	4 x 5 ½ Zi., 116 m <sup>2</sup> 1 x 4 ½ Zi., 103 m <sup>2</sup>	5 x 4 ½ Zi., ~119 m <sup>2</sup> 4 x 3 ½ Zi., 98.5 m <sup>2</sup> 3 x 2 ½ Zi., 78.2 m <sup>2</sup>	2 x 5 ½ Zi., 145 m <sup>2</sup> 4 x 4 ½ Zi., 130 m <sup>2</sup> 1 x 3 ½ Zi., 95 m <sup>2</sup> 2 x 2 ½ Zi., 80 m <sup>2</sup>
<b>70% Quantil</b>	<b>a 287 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> b c d	<b>265 CHF/J pro m<sup>2</sup></b>	<b>360 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> <b>333 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> <b>365 CHF/J pro m<sup>2</sup></b>	<b>325 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> <b>327 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> <b>333 CHF/J pro m<sup>2</sup></b> <b>365 CHF/J pro m<sup>2</sup></b>

Tabelle 3: Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J] nach Bauperioden (Wüest Partner, 2019)

### 3.2.3 Mietpreiswachstum

Das Mietpreiswachstum hängt grundsätzlich von der Entwicklung von Angebot und Nachfrage auf dem zugehörigen Mietflächenmarkt ab. Einflussfaktoren auf das Mietpreiswachstum sind makroökonomische Faktoren, demographische Entwicklungen, Renditen von Anlagen ausserhalb des Immobilienmarkts, die Inflation, jedoch ebenfalls das spezifische Potential der Einzelliegenschaft, wie Objektqualität, Gebäudealter oder die Lagequalität.

Hoesli, et al. (2005) verwenden historische Kapitalerträge für Immobilienanlagen in Genf als Proxyvariable, um Mittelwert und Standardabweichung der Normalverteilung abzuleiten (S. 22). Demgegenüber verwendet Fries (2016) für den Mittelwert das in den Liegenschaftsbewertungen erwartete Wachstumspotential, um damit die Eigenschaften des lokalen Markts und Gebäudecharakteristika präziser abzubilden. Für die Standardabweichung werden historische Daten verwendet (S.25-26). Im Modell von Stein et al. (2014) wird eine konstante Teuerungsrate verwendet und darauf hingewiesen, dass „dies eine Vereinfachung ist, unter der Annahme, dass im Durchschnitt das Mietniveau mit der allgemeinen Inflation ansteigt, wobei dies auch mit Vorhersagen zu Mietzinsniveau, zyklische Methoden oder Sichtweisen des Anwenders ersetzt werden könne (S. 148).

Die Studien von Mueller (1999) und Plazzi, Torous, & Valkanov (2008) zeigen, dass das Mietpreiswachstum zyklischen Schwankungen des jeweiligen Teilmarkts unterliegt.

Da das Mietpreiswachstum den zweitstärksten Einfluss auf den Barwert besitzt, wurden die beschreibenden, statistischen Grössen aus ähnlichen Studien und Datenquellen analysiert und verglichen (Anhang, Kapitel 7.3, S. 53). Es wurden deutliche Unterschiede festgestellt die auf die unterschiedlichen Betrachtungszeiträum, untersuchten Märkte und verwendete Methodik zurückführen lassen.

Aufgrund der langen Datenreihe wurde der Index des Bundesamts für Statistik inflationsbereinigt für die Marktregion Zürich gewählt (BFS, 2019). Dieser zeigt bis in die neunziger Jahre eine recht hohe Volatilität, die in den letzten 15-20 Jahren abflacht (Abbildung 15).



Abbildung 15: Preisbereinigtes (40%) Mietpreiswachstum Marktregion Zürich

Als Eingabegrösse für die Pert-Verteilung<sup>3</sup> werden für die kommen 25-Jahre Most-Likely, Maximal und Minimal-Werte der letzten 25 Jahre aus der Datenreihe gewählt, im Anschluss findet während 23 Jahren die Angleichung auf die mit höherer Unsicherheit behafteten Werte der gesamten Datenreihe statt, die dann für die weitere Simulation verwendet werden. Die höhere Standardabweichung in den Daten für den langen Betrachtungszeitraum, kommt der konzeptionellen Überlegung entgegen, zukünftige Unsicherheiten weniger präzise vorhersagen zu können.

Simulation	Datenreihe	$\sigma$	$\mu$	min	max
2019 - 2044	1993 - 2018	5.031%	-0.64%	-12.902%	5.698%
2045 - 2067		ändernde Werte werden linear interpoliert			
2068 - 2119	1970 - 2018	8.388%	2.48%	-12.902%	21.010%

Erwartungswert ( $\mu$ ), Standardabweichung ( $\sigma$ )

Tabelle 4: Parameter Mietzinswachstum

### 3.2.4 Leerstandsziffer

Für die Liegenschaften liegen keine historischen Leerstandszahlen vor, welche die spezifischen Eigenschaften widerspiegeln würden. Es werden daher die von der Stadt Zürich publizierten Leerstandszahlen für die Jahre 1990 – 2019 als Grundlage der Simulation verwendet (Stadt Zürich, 2019). Für die Pert-Verteilung ergibt sich das Minimum bei 0.02%, most-likely: 0.117% und das Maximum bei 0.55%.

<sup>3</sup> Eine gekürzte Normalverteilung ist bei Multivariant-Simulationen mathematisch komplexer und war mit der verwendeten Software, riskAmp, nicht realisierbar. Die Pert-Verteilung erlaubte durch die Angabe von Maxima und Minima besonders hohe Werte zu vermeiden.

### 3.2.5 Diskontsatz

Der Diskontsatz hat den grössten Einfluss auf den Barwert. Im Sinne einer Vereinfachung und zur Erhöhung der Eindeutigkeit der zu beobachtenden Effekte wird er als Konstante verwendet.

Der Diskontsatz entschädigt den Investor für sein Investment und entspricht der durchschnittlichen Erwartung an Gewinn, die Investoren eines anderen Investments mit gleichem Risiko erwarten (Geltner, Miller, Clayton & Eichholtz, 2014, S. 242).

In einem 1-Phasen-Modell werden die objektspezifischen Risiken bereits im Cashflow modelliert. Dem Diskontsatz wird insofern nur eine immobilienmarktspezifische Risikoprämie auf den risikolosen Zins aufgeschlagen, wofür von 1.25% ausgegangen werden soll. Der teuerungsbereinigte Zins 10-jähriger Bundesobligation im Zeitraum 1970 – 2018 beträgt 2.33%. Damit ergibt sich der Diskont-Satz:

$$R = r_f + RP$$

$r_f$  = durchschnittliche, zukünftige Verzinsung von 10-Jährigen Bundesobligationen im 100-Jährigen Betrachtungszeitraum = 2.33% (SNB, 2019)

$RP$  = immobilienmarktspezifische Risikoprämie = 1.25%

$$R = 2.33\% + 1.25\% = 3.58\%$$

### 3.2.6 Mieterentschädigungen aufgrund Überhitzung

Die Basis für den sommerlichen Wärmeschutz bildet die Norm SIA 382/1. Bei Aussentemperaturen über 30 Grad liegt die maximal zulässige Innentemperatur bei 26.5 Grad für Wohnräume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet werden. Während maximal 100h/a darf dieser Wert überschritten werden.

Das Schweizerische Bundesgericht (BGER, 2017) hat in einem Urteil 2017 klargestellt, Mieter könnten erwarten, dass die Temperaturen in einer gemieteten Wohnung innerhalb der Norm lägen - das seien 20-21 Grad für eine durchschnittliche Wohnung und 19-20 Grad für eine moderne Minergie-Wohnung. Bei einer Abweichung von 3-5 Grad sei von einem Mangel auszugehen und es wurde eine Mietzinsreduktion von fünf Prozent bis zur Behebung des Mangels angesetzt.

Inwieweit diese Einzelentscheidung als zukünftiger Massstab genommen werden muss, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Es scheint jedoch aus mehreren Gründen

plausibel, dass Temperaturen über 26.5°C nicht dauerhaft akzeptiert werden müssen. Erstens, der nach Fanger (1967) vorhergesagte Prozentsatz Unzufriedener (PPD) ist für niedrige, wie hohe Temperaturen symmetrisch: zum Beispiel werden „warm“ und „kühl“ beide jeweils 77% Unzufriedenen zugeordnet. Zweitens gilt bei einer Auslegung nach den „Regeln der Baukunde“ für neuere Bauten 26.5°C als Grenze für die Definition von Überhitzungsstunden.

Aus der Studie von Settembrini et al. (2016) kann die Anzahl Überhitzungsstunden je Liegenschaft für die Perioden 2020 und 2063 abgeleitet werden. Eine lineare Interpolation der Werte für die Jahre zwischen den Periodenmitten erlaubt es most-likely-, min-, und max-Werte je Jahr als Grundlage für eine Pert-Verteilung anzunehmen und verhindert abrupte, unnatürliche Anstiege im Modell. Ein Grossteil der verwendeten Werte basiert demnach nicht auf simulierten Werten, sondern auf der ansteigenden Tendenz zwischen diesen von Settembrini et al. simulierten Werten. Die zunehmenden Extremereignisse wurden mit  $\text{Lambda} = 6$  berücksichtigt. Gemäss dem zugrundeliegenden RCP 4.5 wird nach 2063 keine zusätzliche Erwärmung angenommen und im Modell daher kein weiterer Anstieg der Parameter vorgesehen.

Gebäudetyp	Wärmeinsel-effekt	Minimum		Most-likely		Maximum <sup>3</sup>	
		2004	2063	2004	2063	2004	2063
Altbau standard <sup>1</sup>	nein	0	12 <sup>4</sup>	0	39	94	240
Altbau geschützt <sup>2</sup>	ja	0	30	13	112	219	501
Neubau massiv <sup>2</sup>	ja	20	222	76	326	800	1204
Neubau hybrid <sup>1</sup>	nein	0 <sup>4</sup>	108 <sup>4</sup>	82	340	691	1018

<sup>1</sup> (Settembrini et al., 2017, Tabelle 20, S. 88)

<sup>2</sup> (Settembrini et al., 2017, Abbildung 105, S. 128)

<sup>3</sup> mittlerer Wert der Bandbreite

<sup>4</sup> Wert von Altbau geschützt angenommen (Settembrini et al., 2017, Abbildung 105, S. 128)

Tabelle 5: Anzahl Überhitzungsstunden

Für die MCS wird davon ausgegangen, dass der Mietwert je Tag und Stunde sich aus dem Soll-Mietzins  $MS_t$  abzüglich Leerstand  $lsz_t$  ergibt. Aufgrund der Berechnungsweise der effektiven und über dem Schwellenwert von 100h liegenden Überhitzungsstunden  $\ddot{U}h_t$ , muss der Korrekturfaktor 1.6 eingeführt werden.

$$ME_t = \frac{MS_t \times (1 - lsz_t)}{365 \times 24} \times 1.6 \times (\ddot{U}h_t - 100)$$

### 3.2.7 Übersicht aller Variablen

Nachfolgende Tabelle 6 fasst die beschriebenen Variablen zusammen, ob diese als statische Werte, sogenannte Kontrollvariablen (KV) oder als dynamische Werte, sogenannte Zustandsvariablen (ZS), einfließen. Ebenfalls werden die Art der Verteilung und die dafür zugrundeliegenden Parameter aufgeführt.

Inputvariable	Abkürzung	Variablentyp <sup>1</sup>	Verteilung	Parameter <sup>2</sup>
Miete pro Fläche	MA	KV	-	
Mietfläche	A	KV	-	
Mietpreiswachstum	gm	ZV	Normal	$\mu$ : -0.64%, $\sigma$ : 5.031% $\mu$ : 2.48%; $\sigma$ : 8.388%
Leerstandsnummer	lsz	ZV	Pert	min: 0.02%, $\mu$ : 0.117%, max: 0.55%
übrige Erträge / Ertragsausfälle	ÜE	KV		
Betriebskosten	BK	KV		indiziert mit Lohnindex Tertiärsektor
Verwaltungskosten	VW	KV		
Instandhaltungskosten	IH	KV		indiziert als 10% der Sollmiete
Instandsetzungskosten	IS	KV		vollständige Investitionskosten (BKP 2-9) = 60% des Gebäudeversicherungswertes (BKP2) + 25%
Max. Instandsetzungszyklus	tIS	ZV	Uniform	20-40 Jahre
Übrige Kosten	ÜK	KV		
Risikoloser Zinssatz	$r_f$	KV		
Diskontsatz		KV		3.0 %
Überhitzungsstunden		ZV	Pert	$\mu$ , min, max aus linearer Interpolation der Medianjahre

<sup>1</sup> Kontrollvariable (KV), Zustandsvariable (ZS)

<sup>2</sup> Erwartungswert ( $\mu$ ), Standardabweichung ( $\sigma$ ), Minimum (min), Maximum (max)

Tabelle 6: Übersicht der MCS-Variablen und ihrer Parameter

### 3.2.8 Korrelationen

Sämtliche zu simulierenden Variablen sind nicht nur unsicher, sondern können auch miteinander korreliert sein. Historische Daten sollten ein ausreichend guter Indikator für zukünftige Korrelationen sein (Hoesli et al., 2006, S. 13). Dies wurde anhand der jeweils zugrundeliegenden Zeitreihen untersucht und ist in Tabelle 7 dargestellt.

Für die Überhitzungsstunden wurde keine Korrelation zu anderen Variablen angenommen.



	Mietpreiswachstum	Leerstands-ziffer	Instandsetzungs-zyklus	Überhitzungs-stunden
Mietpreiswachstum	1	-0.763	0	0
Leerstands-ziffer	-0.763	1	0	0
Instandsetzungszyklus	0	0	1	0
Überhitzungsstunden	0	0	0	1

Tabelle 7: Korrelationsmatrix Zustandsvariablen

Für die Beziehung von Mietpreiswachstum und Leerstands-ziffer wurde eine etwas negativere Korrelation als der ebenfalls empirisch hergeleitete Wert von -0.502 bei Fries (20116, S. 36) festgestellt und der von Hoesli et al. (2006, S. 16) geschätzte Wert bestätigt.

### 3.3 Hitzemassnahmen

Um die negativen Effekte auf die Cashflows durch die zunehmenden Überhitzungsstunden zu reduzieren, werden prototypische Massnahmen je Bautyp vorgeschlagen. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die vorgeschlagenen Massnahmen ausreichen, die Überhitzungsstunden in den Toleranzbereich der Norm SIA 180 abzusenken.





	Altbau standard	Altbau geschützt	Neubau massiv	Neubau hybrid
				
Massnahme als Beispiel	Sonnenschutz automatisieren, Begrünung	Ventilator	Freecooling	PV-Anlage mit Klimageräten
Kosten	CHF 14'400	CHF 15'000	CHF 20'000	CHF 36'000
Zeitpunkt	simuliert zwischen Jahr 1-100, Verteilung uniform			

Tabelle 8: Hitzemassnahmen nach Bautypen

Aufgrund des Modellaufbaus wurde entschieden, Hitzemassnahmen separat von zyklischen Sanierungen zu betrachten. Dadurch kann jeweils analysiert werden, in welchem Zusammenhang der Barwert und Zeitpunkt von Hitzemassnahmen stehen. Erfahrungsgemäss darf davon ausgegangen werden, dass das Zusammenlegen von Hitzemassnahmen und Sanierungsmassnahmen sich ökonomisch vorteilhaft auswirkt.

## 4. Erkenntnisse

### 4.1 Szenarien

Alle Szenarien wurden im selben Durchlauf mit 20'000 Zyklen simuliert, um hinreichend präzise Ergebnisse zu erhalten.

#### 4.1.1 Altbau Standard

Beim Altbau Standard senkt der Hitzeeffekt den Ertragswert um 14.2%. Eine Hitzemassnahme zu beliebigem Zeitpunkt - das Jahr der Hitzemassnahme ist uniform-verteilt - reduziert den Verlust um die Hälfte auf ca. 10%.

	ohne Hitzeeffekt	mit Hitzeeffekt	mit Massnahmen
Ertragswert	3'537'690	3'035'108	3'184'273
Standardabweichung	824'241	825'032	835'457
Minimum	1'279'174	754'770	771'886
Maximum	8'601'185	8'083'352	8'307'990

Tabelle 9: Altbau Standard - Barwerte

Bei Auswertung der Barwerte nach dem Sanierungsjahr wird kein direkter Zusammenhang zwischen Ertragswert und Jahr der Hitzemassnahme ersichtlich.

#### Altbau Standard - Entwicklung des Barwerts abhängig vom Jahr der Hitzesanierung

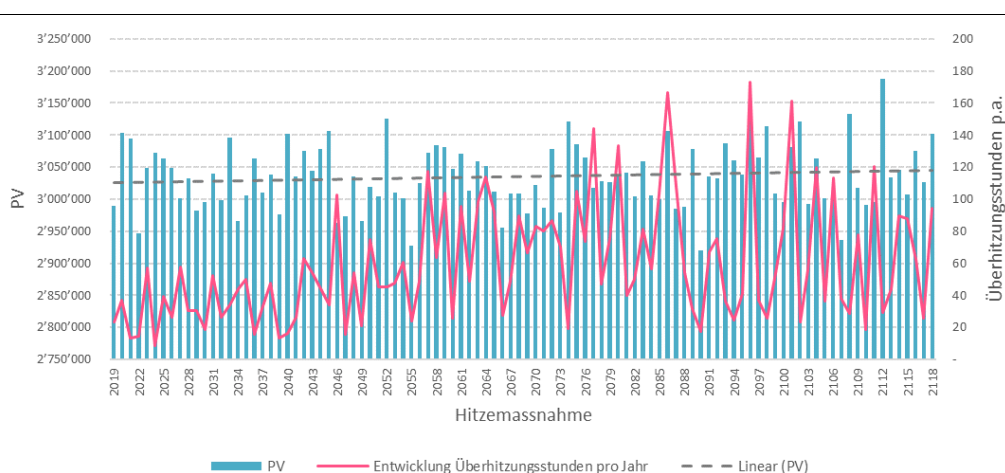


Abbildung 16: Altbau Standard – Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme

### 4.1.2 Altbau geschützt

Beim Altbau geschützt hat die Hitze kaum einen Einfluss auf den Barwert (>1%), senkt der Hitzeeffekt den Ertragswert um 14.2%. Eine Hitzemassnahme zu beliebigem Zeitpunkt - das Jahr der Hitzemassnahme ist uniform-verteilt - reduziert den Verlust um die Hälfte auf ca. 10%.

	ohne Hitzeeffekt	mit Hitzeeffekt	mit Massnahmen
Ertragswert	3'561'725	3'530'876	3'533'418
Standardabweichung	829'847	829'821	829'818
Minimum	1'287'845	1'255'139	1'254'797
Maximum	8'659'658	8'629'968	8'634'820

Tabelle 10: Altbau geschützt - Barwerte

Bei Auswertung der Barwerte nach dem Sanierungsjahr wird kein direkter Zusammenhang zwischen Ertragswert und Jahr der Hitzemassnahme ersichtlich.

### Altbau geschützt - Entwicklung des Barwerts abhängig vom Jahr der Hitzesanie rung

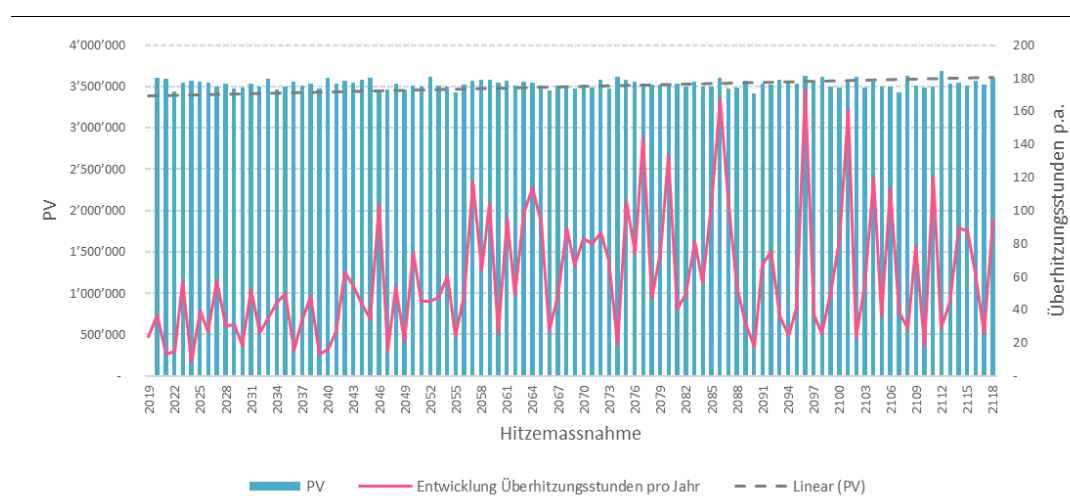


Abbildung 17: Altbau geschützt – Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme

### 4.1.3 Neubau massiv

Beim Neubau massiv senkt der Hitzeeffekt den Ertragswert um 6.9%. Eine Hitzemassnahme zu beliebigem Zeitpunkt - das Jahr der Hitzemassnahme ist uniform-verteilt - reduziert den Verlust um rund ein Drittel auf 4.8%.

	ohne Hitzeeffekt	mit Hitzeeffekt	mit Massnahmen
Ertragswert	10'217'286	9'507'913	9'723'602
Standardabweichung	2'380'554	2'380'688	2'387'813
Minimum	3'694'276	3'028'166	3'052'170
Maximum	24'841'538	24'088'944	24'433'462

Tabelle 11: Altbau Standard - Barwerte

Im DCF-Histogramm wird sichtbar, dass die Hitze wertreduzierend wirkt und eine Hitzemassnahme sich positiv auf den Ertragswert auswirkt.

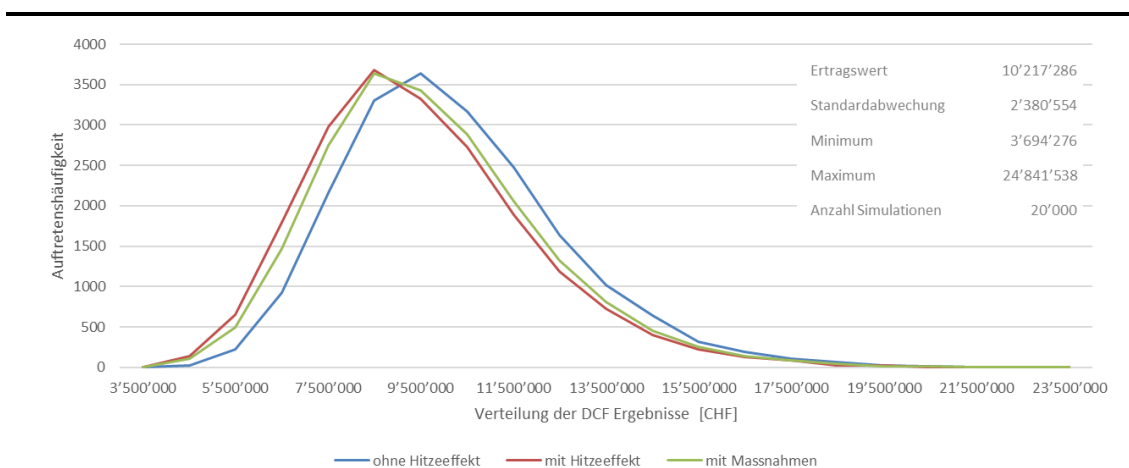


Abbildung 18: Neubau massiv: DCF - Histogramm

Beim Neubau massiv sinkt der resultierende Barwert je später eine Hitzemassnahme durchgeführt wird – eine möglichst frühe Durchführung wirkt werterhaltend.

**Neubau massiv - Entwicklung des Barwerts abhängig vom Jahr der Hitzesanierung**

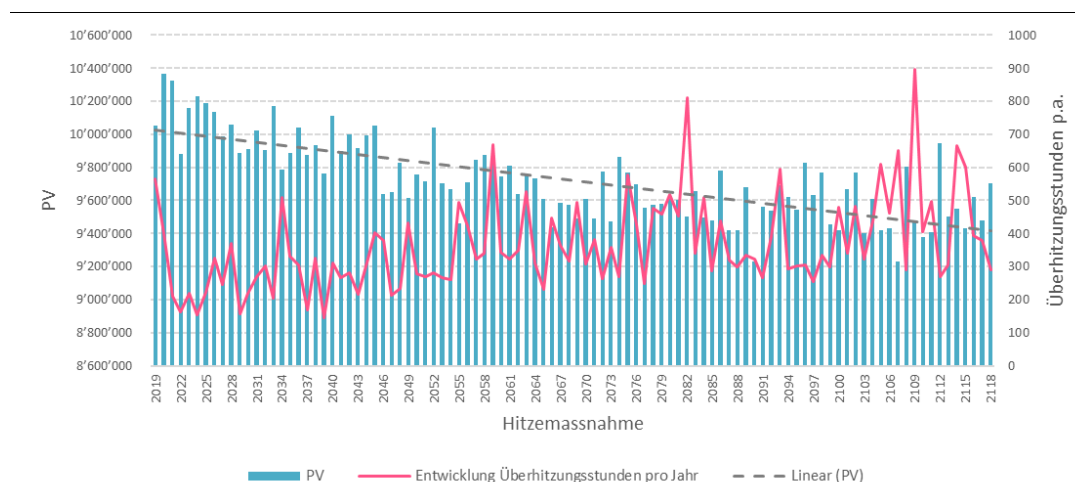


Abbildung 19: Neubau massiv - Barwerte nach Jahr Hitzemassnahme

#### 4.1.4 Neubau hybrid

Beim Neubau hybrid senkt der Hitzeeffekt den Ertragswert um 6.0%. Eine Hitzemassnahme zu beliebigem Zeitpunkt - das Jahr der Hitzemassnahme ist uniform-verteilt - reduziert den Verlust um rund ein Drittel auf 4.2%.

	ohne Hitzeeffekt	mit Hitzeeffekt	mit Massnahmen
Ertragswert	8'399'404	7'896'822	8'045'986
Standardabweichung	1'956'906	1'957'182	1'961'199
Minimum	3'037'276	2'512'872	2'529'988
Maximum	20'421'136	19'903'303	20'127'940

Tabelle 12: Neubau hybrid - Barwerte

Bei Auswertung der Barwerte nach dem Sanierungsjahr wird kein direkter Zusammenhang zwischen Ertragswert und Jahr der Hitzemassnahme ersichtlich.

#### Neubau hybrid - Entwicklung des Barwerts abhängig vom Jahr der Hitzesaniierung

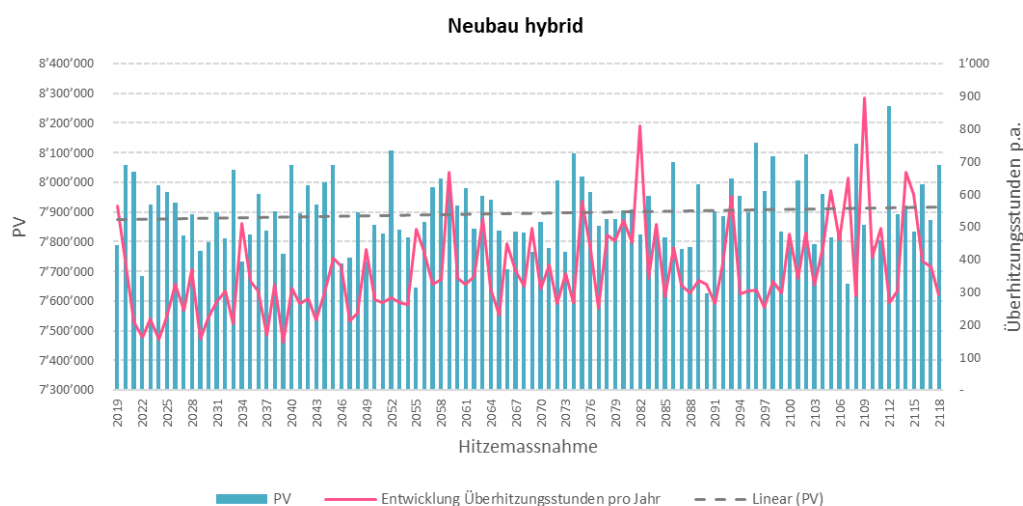


Abbildung 20: Neubau hybrid - Entwicklung des Barwerts

## 4.2 Sensitivität Diskontsatz

Aufgrund des hohen Einflusses des Diskontsatzes auf den Barwert, wurde eine Sensitivitätsanalyse für den Typ Neubau massiv durchgeführt.

Diskontsatz	2.58%	3.08%	3.58%	4.08%	4.58%	5.08%
ohne Hitzeeffekte	50.85%	24.04%	0.00%	-14.39%	-13.56%	-11.99%
mit Hitzeeffekte	50.09%	23.85%	0.00%	-14.27%	-13.48%	-11.88%
Hitzeeffekte & Hitzemassnahmen	51.39%	24.44%	0.00%	-14.52%	-13.68%	-12.09%

Tabelle 13: Neubau massiv – Sensitivitätsanalyse

### Sensitivität des Barwerts auf unterschiedliche Diskontsätze zum Basisszenario 3.58%

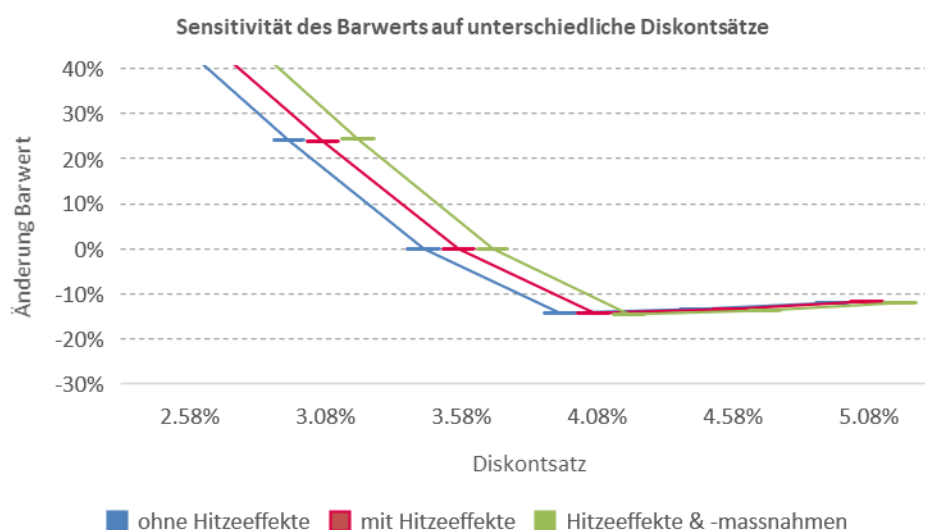


Abbildung 21: Neubau massiv - Sensitivitätsanalyse

## 4.3 Risikomass VaR

Der Value-at-Risk (VaR) gibt an, welcher Barwert nach einer bestimmten Periode nicht unterschritten werden darf. Bei einer Wahrscheinlichkeit von 5% ergeben sich folgende absolute VaR. Da die Objekte unterschiedlich sind, ist anhand des VaR 5% ein Vergleich zwischen den Objekten nicht ohne Weiteres möglich. Ein VaR 5% pro Flächeneinheit verschafft hier einen besseren Überblick. Dabei fällt auf, dass einer der niedrigsten VaR 5%, der des Altbau geschützt, proportional zur Fläche bei CHF 23'263 liegt und damit den höchsten Wert markiert.

Diskontsatz	VaR 5%	VaR 5% pro m <sup>2</sup>
Neubau massiv	6'873'562	5'617

Neubau hybrid	5'650'763	7'291
Altbau geschützt	2'396'125	23'263
Altbau Standard	2'379'966	4'577

Tabelle 14: Neubau massiv – Value-at-Risk

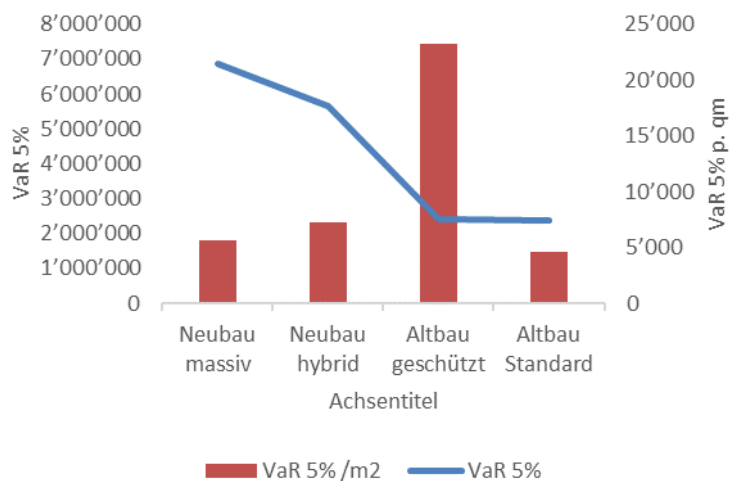


Abbildung 22: Neubau massiv – Value-at-Risk

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

### 5.1 Fazit und Diskussion

Durch den Klimawandel entstehen Unsicherheiten, die jedoch nur schwer zu quantifizieren sind. Die MCS eignet sich für eine risikobezogene Bewertung zukünftiger Cashflows.

Es wurde gezeigt, in welchem Wirkungszusammenhang zukünftige Cashflows gesehen werden sollten und wie gross das Risiko je Bauwerkstyp und Quadratmeter ist, wenn die beschriebenen Entwicklungen – Klimawandel, Reaktion Nutzer – im hier erwarteten Mass eintreten. Zusätzlich wurde mit dem Risikomass je Quadratmeter eine Messgrösse vorgeschlagen, die den Vergleich zwischen den verschiedenen Typen von Bauwerken zulässt.

Der grösste ökonomische Einfluss einer zunehmenden Erwärmung entsteht am Bautyp Neubau massiv, bei dem sich aus den modellierten Daten der Bedarf für Hitzemassnahmen sehen lässt.

Der Vorteil der MCS ist, das Aufstellen des Modells bereits ein grösseres Verständnis und eine einheitlichere Betrachtung stattfindet. Sie erlaubt dem Entscheider konsistenter und rationaler zu handeln, indem er die Komplexität rational erfasst. Was Shoemaker

1993 für Managemententscheidungen anhand der MCS geschrieben hat, gilt durchaus auch für die Anwendung der MCS auf Objektebene im Zusammenhang mit Nachhaltigkeitsüberlegungen.

Dennoch muss immer bewusst bleiben, dass es sich trotz der quantitativen Ergebnisse um eine Vielzahl von Einschätzungen handelt, die nicht alle vollständig empirisch belegt werden können (z.B. Anzahl Überhitzungsstunden). Ebenso basiert die Herleitung von Wachstumsfaktoren und Korrelationen auf Daten aus der Vergangenheit, die nicht immer zukünftig so eintreten müssen.

## **5.2 Ausblick**

Regulatorischen Massnahmen wie CO<sub>2</sub>-Abgaben, neue Auflagen für Gebäudekühlung oder Vorgaben zum Energieverbrauch werden nicht abgebildet. Es wurde davon ausgegangen, dass durch die Erwärmung keine Kosten entstehen. Durch die Hinzunahme von Stagnationsereignissen mit Hagel, könnten Schäden auftreten, die im Modell abgebildet werden könnten.

Zukünftige Änderungen der sozioökonomischen Faktoren und der Altersstruktur hatten in der Vergangenheit einen signifikanten Einfluss auf das Ausmass vergangener Krisen in Bezug mit Klimagefahren (IPCC, 2014, S. 1066) und sind ebenfalls nicht untersucht worden.



## 6. Literaturverzeichnis

- Alm, O., Witterseh, T., Clausen, G., Toftum, J. and Fanger, P.O. (1999) The impact on human perception of simultaneous exposure to thermal load, low-frequency ventilation noise and indoor air pollution. In: Raw, G., Aizlewood, C. and Warren, P. (Hrsg.) *Proceedings of Indoor Air '99*. Vol. 5, Edinburgh. 270–275.
- Amédée-Manesme, C. O., Barthélémy, F., Baroni, M., & Dupuy, E. (2013). Combining Monte Carlo simulations and options to manage the risk of real estate portfolios. *Journal of Property Investment & Finance*. 2013 31(4). 360–389.
- Amt für Raumentwicklung (2019a). *Klimamodell: Klimaanalysekarte. Wärmeinseleffekt*. Baudirektion Kanton Zürich . Gefunden unter <https://maps.zh.ch/s/chet6gvw>
- Amt für Raumentwicklung (2019b). *Klimamodell: Klimaszenarienkarte. Mittlere Anzahl Tropennächte pro Jahr* . Baudirektion Kanton Zürich . Gefunden unter <https://maps.zh.ch/s/texmxu0>
- Amt für Raumentwicklung (2019c). *Klimamodell: Planhinweiskarte* . Baudirektion Kanton Zürich . Gefunden unter <http://maps.zh.ch/s/vtmkpkk3>
- Banfi S., Filippini M., Horehájová A., Pióro D. (2007) Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Städte Zürich und Lugano für die Bereiche Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Elektromog von Mobilfunkantennen. *Umwelt-Wissen*. Nr. 0717. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Baroni, M., Barthélémy, F. and Mokrane, M. (2007a), Using rents and price dynamics in real estate portfolio valuation. *Property Management*. 2007 Vol. 25 No. 5. 462-486.
- Baroni, M., Barthélémy, F. and Mokrane, M. (2007b). Optimal holding period for a real estate portfolio. *Journal of Property Investment & Finance*. 2007 Vol. 25 No. 6. 603-625.
- Bastin J-F, Clark E, Elliott T, Hart S, van den Hoogen J, Hordijk I, et al. (2019) Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLoS ONE*. 2019 14(7).
- Belcher, R. N., & Chisholm, R. A. (2018). Tropical Vegetation and Residential Property Value: A Hedonic Pricing Analysis in Singapore. *Ecological Economics*. 2018 149, 149-159.

- Betschart, M. (2015). *Städtischer Wärmeinsel-Effekt. Grundlagenarbeit für die Klimarisikoplanung 2060. Klimabedingte Risiken und Chancen: Fallstudien Kanton Basel-Stadt und Genf*. Bern: BAFU.
- British Council for Offices (BCO) Research & Policy (2017). *Whole Life Performance Plus: Defining the Relationship Between Indoor Environmental Quality and Workplace Productivity*. Gefunden unter [http://www.bco.org.uk/Research/Publications/Whole\\_Life\\_Performance\\_Plus.asp](http://www.bco.org.uk/Research/Publications/Whole_Life_Performance_Plus.asp)  
x
- Brunner, C. U., Steinemann, U., & Nipkow, J. (2008). *Bauen, wenn das Klima wärmer wird*. Faktor: Zürich.
- Buchin, O., Hoelscher, M., Meier, F., Nehls, T., & Ziegler, F. (2016). Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*. 2016 114, 27-37.
- Bundesamt für Statistik BFS (2015). *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz. 2015 – 2045*. Neuchâtel: BFS.
- Bundesamt für Statistik BFS (2018a). *Gebäude- und Wohnungsstatistik: Gebäude nach Gebäudekategorie, Kantonen und Bauperiode*. Gefunden unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.6286272.html>
- Bundesamt für Statistik BFS (2018b). *Gebäude- und Wohnungsstatistik: Gebäude mit Wohnnutzung nach Gebäudekategorie und städtischem Charakter der Gemeinde*. Gefunden unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.6306716.html>
- Bundesamt für Statistik BFS (2019). *Gebäude- und Wohnungsstatistik: Verteilung der Gebäude und deren Bewohner nach Gebäudekategorie*. Gefunden unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.7986404.html>
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2012). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder, Erster Teil der Strategie des Bundesrates*. Bern: BAFU.

- Bundesamt für Umwelt BAFU (2018). *Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung*. Bern. Umwelt-Wissen. 1812:
- Canonica, F. (2009). *Die Immobilienbewertung*. SIV: Zürich/Chur.
- Dupuy, E. (2003). Real estate options risks analysis of cash flows: taking real estate risk analysis forward. paper presented at the ERES Annual Conference. Helsinki.
- CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. National Centre for Climate Services. Zürich.
- Demski, C., Capstick, S., Pidgeon, N., Sposato, R. G., & Spence, A. (2016). Experience of extreme weather affects climate change mitigation and adaptation responses. *Climatic Change*. 2016 140(2), 149-164.
- EPFL. (2016). *An innovative window system earns a European patent*. Gefunden unter <https://actu.epfl.ch/news/an-innovative-window-system-earns-a-european-pat-2/>
- EMPA. (2017). *Hitzewellen heizen Städte stärker auf*. Gefunden unter <https://www.empa.ch/de/web/s604/urban-heat-islands>
- Fahrländer, S., Gerfin, M., & Lehner, M. (2016). The influence of noise on net revenue and values of investment properties: Evidence from Switzerland. 25th Annual European Real Estate Society Conference.
- Fanger, P.O. (1967). Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. *ASHRAE Trans*. 1967 73, III.4.1–III.4.20.
- Fanger, P.O. (1970) *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Feige, A. et al. (forthcoming). Rental price and sustainability ratings – Which sustainability criteria actually give a payback?, *CCRS Workingpaper 01/12*, Universität Zürich, <http://www.ccrs.uzh.ch>. Zürich.
- French, N. and Gabrielli, L. (2005). Discounted cash flow: accounting for uncertainty. *Journal of Property Investment & Finance*. 2005 Vol. 23 No. 1. 75-89.
- Fries, D. (2016). *Unsicherheiten und Risiken in Immobilienbewertungen: Monte-Carlo-Simulation zur Bewertung von Wohnliegenschaften* (Abschlussarbeit MAS in Real Estate). Universität Zürich.

- Fuerst, F. und McAllister, P. (2008). Green Noise or Green Value? Measuring the Effects of Environmental Certification on Office Property Values. *Real Estate & Planning Working Papers*. Henley Business School, Reading University,
- Fuerst, F. und McAllister, P. (2011). Green Noise or Green Value? Measuring the Price Effects of Environmental Certification in Commercial Buildings. *Eal estate Economics*. 2011 Vol No 31 1. 45-69.
- Fuerst, F. und McAllister, P. (2010). What is the Effect of Eco-labelling on Office Occupancy Rates in the USA? *Fibre Series, January*. The Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). London.
- Gehrig, R., König, N., Scherrer, S. (2018). *Städtische Wärmeinsel in der Schweiz - Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten*. Fachbericht MeteoSchweiz. 273. Zürich-Flughafen.
- Geltner, D., Clayton, J., Eichholtz, P., & Miller, N. G. (2014). *Commercial real estate: analysis and investments*. Mason, OH: OnCourse Learning.
- Gimpelevich, D. (2010). Simulation-based excess return model for real estate development. *Journal of Property Investment & Finance*. 2010 Vol. 29 No. 2. 115-144.
- Gleißner, W. and Wiegmann, T. (2012). Quantitative methods for risk management in the real estate development industry, *Journal of Property Investment & Finance*. Vol. 30 No. 6. Gefunden unter <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jpif.2012.11230faa.002/full/html#idm44840343315568>
- Hoesli, M., Jani, E. and Bender, A. (2006). Monte Carlo simulations for real estate valuation. *Journal of Property Investment & Finance*. 2006 Vol. 24 No. 2. 102-122.
- Hoof, J. V. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? *Indoor Air*. 2008 18(3). 182–201.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press

- IPCC (2019). *Representative Concentration Pathways (RCPs)*. Gefunden unter [https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html)
- Jackson, J. (2009). How risky are sustainable real estate projects? An evaluation of leed and energy star development options. *The Journal of Sustainable Real Estate*. 2009 Vol. 1 No. 1. 91-106.
- Kelliher, C. and Mahoney, L. (2000). Using Monte Carlo simulation to improve long-term investment decisions. *Appraisal Journal*. 2000 Vol. 68 No. 1. 44-56.
- Liechti, R. (2012). ABZ erneuert historisch wertvolle Siedlung Sihlfeld in Zürich. Ein Flaggschiff ist wieder auf Kurs. *Zeitschrift Wohnen*. 4/2012. Zürich. Gefunden unter <https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=woh-002:2012:87::622>
- Lloyd's and Cambridge Centre for Risk Studies (2018). *Lloyd's City Risk Index 2018* [interaktive Webseite]. Gefunden unter <https://cityriskindex.lloyds.com/>
- Loizou, P. and French, N. (2012). Risk and uncertainty in development: a critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment & Finance*. 2012 Vol. 30 No. 2. 198-210.
- Mallison, M. and French, N. (2000). Uncertainty in property valuation. *Journal of Property Investment & Finance*. 2000 Vol. 18 No. 1. 13-32.
- Meins, E. & Burkhard, H. P. (2009) *Der Nachhaltigkeit von Immobilien einen finanziellen Wert geben. ESI Immobilienbewertung – Nachhaltigkeit inklusive*. Center for Corporate Responsibility and Sustainability (CCRS), University of Zurich.
- Meins, E., Lützkendorf, T., Lorenz, D., Leopoldsberger, G., Ok Kyu Frank, S., Burkhard, H. P., & Bienert, S. (2011). *Nachhaltigkeit und Wertermittlung von Immobilien. Leitfaden für Deutschland, Österreich und die Schweiz (NUWEL)*. Zurich: Center for Corporate Responsibility and Sustainability (CCRS), University of Zurich.
- Meins, E., & Burkhard, H. (2014). *Nachhaltigkeit und Risiken bei Immobilieninvestitionen: Konzepte und Entscheidungsgrundlagen für die Praxis*. Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung.

- Moser, P. (2017) *Der Preis des Bodens. Ein hedonisches Modell der Wohnbaulandpreise im Kanton Zürich*. Zürich: Statistisches Amt Kanton Zürich
- Mueller, G. (1999) Real Estate Rental Growth Rates at Different Points in the Physical Market Cycle. *Journal of Real Estate Research*. 1999, Vol. 18, No. 1, pp. 131-150.
- Myers, T. A., Maibach, E. W., Roser-Renouf, C., Akerlof, K., & Leiserowitz, A. A. (2012). The relationship between personal experience and belief in the reality of global warming. *Nature Climate Change*. 3(4). 343-347.
- Mueller, G. (1999). Real Estate Rental Growth Rates at Different Points in the Physical Market Cycle. *Journal of Real Estate Research*. 1999 Vol. 18, No. 1. 131-150.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*. 1991 56(4). 339-358.
- Parlow, E., Vogt, R., Feigenwinter, C. (2014). The urban heat island of Basel – seen from different perspectives. *DIE ERDE – Journal of the Geographical Society of Berlin*. 2014 Vol. 144, No 3. 105-119.
- Pyhrr, S. A. (1973). A Computer Simulation Model to Measure the Risk in Real Estate Investment. *Real Estate Economics*. 1973 1(1). 48–78.
- Plazzi, A. , Torous, W. and Valkanov, R. (2008), The Cross-Sectional Dispersion of Commercial Real Estate Returns and Rent Growth: Time Variation and Economic Fluctuations. *Real Estate Economics*. 2008 36. 403-439.
- Porter, M.E. (2004), *Competitive Advantage*, revised edition, The Free Press, New York, NY.
- NCCS (2019a). *Mehr Hitzetage*. Gefunden unter <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/kernaussagen/mehr-hitzetage.html>
- NCCS (2019b). *Was sind Emissionsszenarien?*. Gefunden unter <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html>

- Ragettli, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C., & Rössli, M. (2017). Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental Research*. 2017 158. 703–709.
- Reser, J. P., Bradley, G. L., & Ellul, M. C. (2014). Encountering climate change: ‘seeing’ is more than ‘believing’. *Wiley Interdisciplinary Reviews, Climate Change*. 2014 5(4). 521-537.
- RICS Switzerland (2012). *Swiss Valuation Standards (SVS): Best Practice of Real Estate Valuation in Switzerland, 2nd ed.* Zürich
- RICS (2013). *Sustainability and Commercial Property Valuation, 2nd edition*. London. Gefunden unter <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/upholding-professional-standards/sector-standards/valuation/sustainability-and-commercial-property-valuation-2nd-edition-rics.pdf>
- RICS (2019). *Valuation and sale price*. Gefunden unter <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/knowledge/research/insights/valuation-and-sale-price-march-2019-rics.pdf>
- Rütter-Fischbacher, U., Caspar, V., Leu, A. (2010). *Nachhaltiges Immobilienmanagement: Die Risiken von morgen sind die Chancen von heute*. Winterthur/Bern: IPB/KBOB.
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2016). *Urban climate mitigation techniques*. New York: Routledge.
- Santos, A.M.B. and Gunnarsen, L. (1999) Optimizing linked pairs of indoor climateparameters. In: Raw, G., Aizlewood, C. and Warren, P. (Hrsg.) *Proceedings of Indoor Air '99*. Vol. 3, Edinburgh. 191–196.
- Schmid M., Wehle, B. (2017) Welche Klimadaten verwenden? *Tec21*. 2017/39. 41.
- Schweizerischer Architektenverein. (2014). *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. SIA 180:2014. Zürich.
- Schweizerisches Bundesgericht (2017). Urteil 4A\_581/2016 vom 25. April 2017. Gefunden unter <https://www.bger.ch/ext/eurospider/live/de/php/aza/http/index.php>

?highlight\_docid=aza%3A%2F%2Faza://25-04-2017-4A\_581-2016&lang=de  
&zoom= &type=show\_document

- Shin, M., Kim, H., Gu, D., & Kim, H. (2017). LEED, Its Efficacy and Fallacy in a Regional Context—An Urban Heat Island Case in California. *Sustainability*. 2017 9(9). 1-11.
- Sloman, J. (2009). *Essentials of economics*. Harlow, England: Financial Times/Prentice Hall.
- Spence, A., Poortinga, W., Butler, C., & Pidgeon, N. F. (2011). Perceptions of climate change and willingness to save energy related to flood experience. *Nature Climate Change*. 2011 1(1). 46-49.
- Stadt Zürich (2019). *Leerwohnungszählung in der Stadt Zürich nach Stadtquartier und Zimmerzahl*. Gefunden unter <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/prd/Deutsch/Statistik/Themen/Bauen-Wohnen/Leerwohnungen-Stadt-Zuerich-nach-Stadtquartier-und-Zimmerzahl.xlsx>
- Stein, M., Braun, W., Villà, M. S., & Binding, V. (2014). Monte Carlo Cash Flows and Sustainability: How to Decide on Going Green. *Journal of Sustainable Real Estate*. 2014 6(2). 143-161.
- Technische Kommission Energie Gebäudehülle Schweiz (2012). *Merkblatt Sommerlicher Wärmeschutz*. Gefunden unter
- Vogt, R., Parlow, E. (2011). Regio Basiliensis – Die städtische Wärmeinsel von Basel – tages- und jahreszeitliche Charakterisierung. *Regio Basiliensis*. 2011 52/1. 7-15.
- Wiley, J. A., Benefield, J. D., & Johnson, K. H. (2008). Green Design and the Market for Commercial Office Space. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*. 2008 41(2). 228–243.
- Wüest Partner AG (2011). *Immo-Monitoring 2011-1*. Zürich
- Wüest Partner AG (2019). *Immo-Monitoring 2019-2. Frühlingsausgabe*. Zürich
- Zaval, L., Keenan, E. A., Johnson, E. J., & Weber, E. U. (2014). How warm days increase belief in global warming. *Nature Climate Change*. 2014 4(2). 143-147.



## 7. Anhang

### 7.1 Klimaszenarien

Es existieren drei Klimaszenarien für die Schweiz (Abbildung 23):

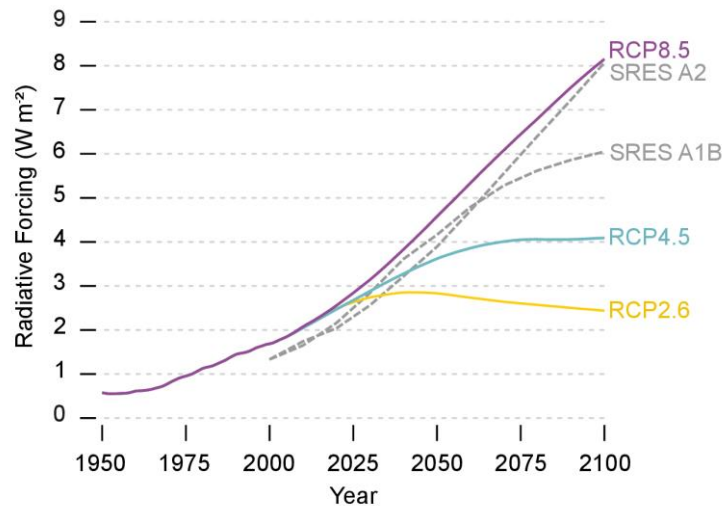


Abbildung 23: Anthropogener Strahlungsantriebs der Klimaszenarien (CH2018, 2018, S. 21)

- Konsequenter Klimaschutz, RCP 2.6: Mit einer umgehend eingeleiteten Senkung der Emissionen auf praktisch Null wird der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre bis etwa in 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 wahrscheinlich erreichen und die globale Erwärmung auf zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zustand begrenzen.
- mittlere Entwicklung mit begrenztem Klimaschutz, RCP4.5: Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2050, dann leichte Abnahme
- Kein Klimaschutz, RCP8.5: Klimaschutzmassnahmen werden nicht ergriffen. Trotz des technischen Fortschritts nehmen daher die klimawirksamen Emissionen stetig zu – und mit ihnen die Erwärmung.

Vom IPCC wurden unterschiedliche Klimaszenarien ausgewählt, die unterschiedlichen Repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathway, RCP) entsprechen und durch ihren gesamten anthropogenen Strahlungsantrieb definiert sind. Dieser ist ein Sammelmass der von der Menschheit emittierten Treibhausgase. (IPCC, 2019)

Szenario	RCP-Szenario	Eigenschaften
Konsequenter Klimaschutz	PCP2.6	Mit einer umgehend eingeleiteten Senkung der Emissionen auf praktisch Null wird der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre bis etwa in 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 wahrscheinlich erreichen und die globale Erwärmung auf zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zustand begrenzen. Das Szenario ist vergleichbar mit RCP3PD.
Begrenzter Klimaschutz	RCP4.5	Der Ausstoss von Treibhausgasemissionen wird zwar eingedämmt, aber der Gehalt in der Atmosphäre steigt noch weitere 50 Jahre. Das Szenario ist vergleichbar mit A1B.
Kein Klimaschutz	RCP8.5	Klimaschutzmassnahmen werden nicht ergriffen, die klimawirksamen Emissionen nehmen stetig zu – und mit ihnen die Erwärmung.

Tabelle 15: Zusammenstellung der Emissionsszenarien  
(CH2018, 2018)

## 7.2 Literaturrecherche Umweltfaktoren

Studie/Autor en	Studientitel	Land	Nutzung- styp	Bezug	Nachgewiesener Einfluss
Alm et al. (1999)	<i>The impact on human perception of simultaneous exposure to thermal load, low-frequency ventilation noise and indoor air pollution.</i>	-	-	Temperature Luftschadstoffe Lärm,	1 K Unterschied entspricht einem Unterschied im Geräuschpegel von 3.8 dB(A)
Banfi et al. (2007)	<i>Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Städte Zürich und Lugano für die Bereiche Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Elektromog von Mobilfunkantennen</i>	CH	Wohnung	Luftschadstoffe Lärm, Elektromog	In beiden Städten fühlen sich über 50 % der Befragten mittel bis äusserst stark durch Lärm gestört. Dieser Anteil ist in Zürich etwas höher als in Lugano.  Lärmbelastung: Von stark zu schwach 241 Von stark zu mittel 174 Von mittel zu schwach 67 Lärm je zusätzlichem dB(A)) -0,3 % Durchschnittlicher Preis von Lärm je zusätzlichem (dB(A)) 4,5  45-55dB22'603 (34.6%) 1'154 (59.3%) Road traffic noise night (>45dB) -> 0.44% zusätzliche Kosten je dB oberhalb von 50dB
Buchin et al. (2016)	<i>Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands</i>	D	-	Temperature	The number of heat-related deaths in the age-group 65+ for Berlin is expected to double with each 1 K increase in ambient temperature. It can be reduced by 50% with a mean ambient air-temperature reduction of 0.8 K.  The number of heat-related deaths in the age-group 65+ for Berlin is expected to double with each 1 K increase in ambient temperature. It can be reduced by 50% with a mean ambient air-temperature reduction of 0.8 K.

Feige et. al, forthcoming	<i>Rental price and sustainability ratings – Which sustainability criteria actually give a payback?</i>			
	CH	Wohnung		+1.6% für Ressourcenverbrauch (Energie u. Wasser), +1.3% Gesundheit und Komfort, +0.5% Sicherheit (je- weils für jede Zunahme der Bewertung um 0.1 Punkte)
Fuerst und McAllister, 2010	<i>What is the Effect of Eco-labelling on Office Occupancy Rates in the USA?</i>			
	USA	Büro	LEED, Energy Star	Mietquote + 8% Mietquote +3%
Fuerst und McAllister, 2008	<i>Green Noise or Green Value? Measuring the Effects of Environmental Certification on Office Property Values</i>			
	USA	Büro	LEED, Energy Star	Mietpreise +6% Transaktionspreise +31% - 35%
	CH	Wohnung		Transaktionspreise +3.5%
Santos and Gunnarsen (1999)	<i>Optimizing linked pairs of indoor climateparameters</i>			
			Thermischer Komfort und Lärm im Innenraum	Reduktion der Betriebstemperatur um 1K verändert das Komfort-Level wie eine Vergrösserung der Fensterfläche um 0.5 m2 oder einer Reduktion des Geräuschpegels um 7 dB(A)
Wiley et al, 2008	<i>Green Design and the Market for Commercial Office Space</i>			
	USA	Büro	LEED,  Energy Star	Mietpreise max. 17% Mietquote max. 18% Mietpreise max. 7% Mietquote max. 10%
Wüest und Partner	<i>Immo-Monitoring 2011/1</i>			
	CH	Wohnung	MINERGIE- Label	Transaktionspreise 0 0% Mietpreise + 6.5%

Tabelle 16: Ausgewählte Umweltfaktoren und ihr Einfluss (teilweise übernommen aus Meins et al. 2011)

### 7.3 Vergleichende Untersuchung zum Mietpreiswachstum

Studie	Region	Eigenschaften	Zeitraum	Parameter <sup>1</sup>
Engsted, Pedersen (2015)	Schweiz	empirisch	1970 - 2011	$\mu = 0.007, \sigma = 0.021$
Fries (2016)	Schweiz	Normal		nicht angegeben
Hoesli, Jani & Bender (2005)	Genf	Alte Wohngebäude, proxy Neue Wohngebäude, proxy	1971 - 2004	$\mu = 0.032, \sigma = 0.086$ $\mu = 0.032, \sigma = 0.086$
Plazzi, Torous, & Valkanov (2008)	USA	Wohnungen Industrie Verkauf (Retail) Büro	1986 - 2003	$\mu = 0.049, \sigma = 0.014$ $\mu = 0.042, \sigma = 0.014$ $\mu = 0.035, \sigma = 0.012$ $\mu = 0.051, \sigma = 0.017$
BFS Mietzinsindex (2019)	Schweiz	Real Real	1993 - 2018 1970 - 2018	<b><math>\mu = -0.0064, \sigma = 0.0503</math></b> <b><math>\mu = 0.0248, \sigma = 0.0839</math></b>
Homegate AG, Angebotsmietindex	Schweiz	Nominal Real	2008 - 2017	$\mu = 0.0144, \sigma = 0.0092$ $\mu = 0.0144, \sigma = 0.0112$
	Zürich	Nominal Real	2008 - 2017	$\mu = 0.0180, \sigma = 0.0112$ $\mu = 0.0180, \sigma = 0.0130$
Wuest Partner AG, Angebotspreisindex	Zürich	Nominal	1993 - 2018	$\mu = -0.0049, \sigma = 0.0503$
		Real		$\mu = -0.0077, \sigma = 0.0515$
		Nominal Real	1970-2018	$\mu = 0.0308, \sigma = 0.0839$ $\mu = 0.0219, \sigma = 0.0786$

<sup>1</sup> Erwartungswert ( $\mu$ ), Standardabweichung ( $\sigma$ )

Tabelle 17: Ermittelte statistische Parameter für das Schweizer Mietpreiswachstum

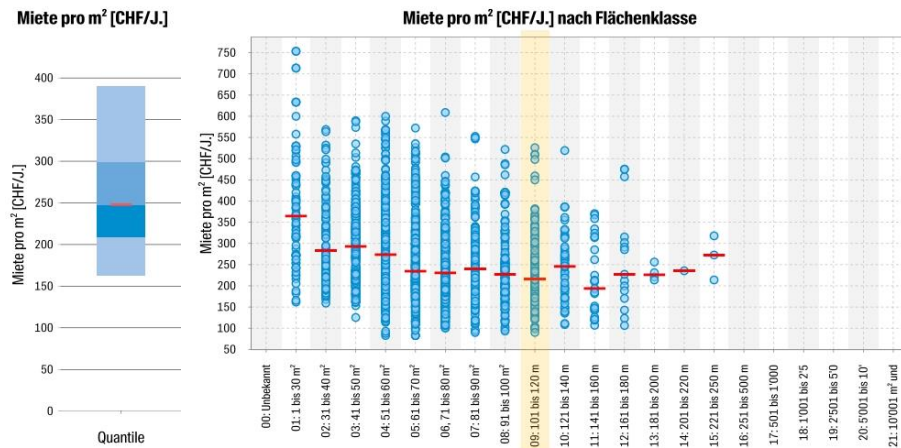
## 7.4 Datengrundlagen Mietzinse

### 7.4.1 Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 1919 bis 1945

GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse

Wüest Partner AG; Erhebungsstand 2019-06-30

#### GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse



Quantile	Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]
90% Quantil	389
70% Quantil	300
50% Quantil	248
30% Quantil	209
10% Quantil	163

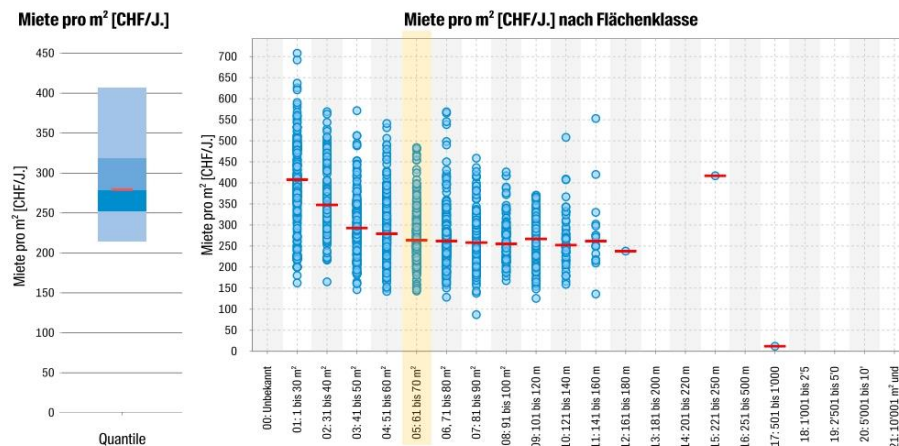
Häufigkeit Flächenklasse	Anzahl	Prozent	Quantile Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]				
			10%	30%	50%	70%	90%
00: Unbekannt	13	0					
01: 1 bis 30 m <sup>2</sup>	75	2	225	285	365	443	613
02: 31 bis 40 m <sup>2</sup>	135	4	195	245	283	342	449
03: 41 bis 50 m <sup>2</sup>	346	11	197	231	293	341	410
04: 51 bis 60 m <sup>2</sup>	622	20	174	232	274	321	401
05: 61 bis 70 m <sup>2</sup>	817	26	164	203	235	284	356
06: 71 bis 80 m <sup>2</sup>	488	15	143	195	231	271	345
07: 81 bis 90 m <sup>2</sup>	253	8	152	190	240	274	339
08: 91 bis 100 m <sup>2</sup>	161	5	150	191	227	260	419
<b>09: 101 bis 120 m<sup>2</sup></b>	<b>150</b>	<b>5</b>	<b>138</b>	<b>181</b>	<b>216</b>	<b>265</b>	<b>342</b>
10: 121 bis 140 m <sup>2</sup>	52	2	141	192	246	281	359
11: 141 bis 160 m <sup>2</sup>	27	1	119	147	194	276	360
12: 161 bis 180 m <sup>2</sup>	15	0	117	185	227	305	475
13: 181 bis 200 m <sup>2</sup>	4	0	214	217	226	244	256
14: 201 bis 220 m <sup>2</sup>	1	0	236	236	236	236	236
15: 221 bis 250 m <sup>2</sup>	3	0	214	226	273	309	318
16: 251 bis 500 m <sup>2</sup>	0	0					
17: 501 bis 1'000 m <sup>2</sup>	0	0					
18: 1'001 bis 2'500 m <sup>2</sup>	0	0					
19: 2'501 bis 5'000 m <sup>2</sup>	0	0					
20: 5'001 bis 10'000 m <sup>2</sup>	0	0					
21: 10'001 m <sup>2</sup> und mehr	0	0					
<b>Total</b>	<b>3'162</b>	<b>100</b>	<b>163</b>	<b>209</b>	<b>248</b>	<b>300</b>	<b>389</b>

## 7.4.2 Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 1946 bis 1980

GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse

Wüest Partner AG; Erhebungsstand 2019-06-30

### GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse



Quantile	Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]
90% Quantil	406
70% Quantil	319
50% Quantil	279
30% Quantil	253
10% Quantil	214

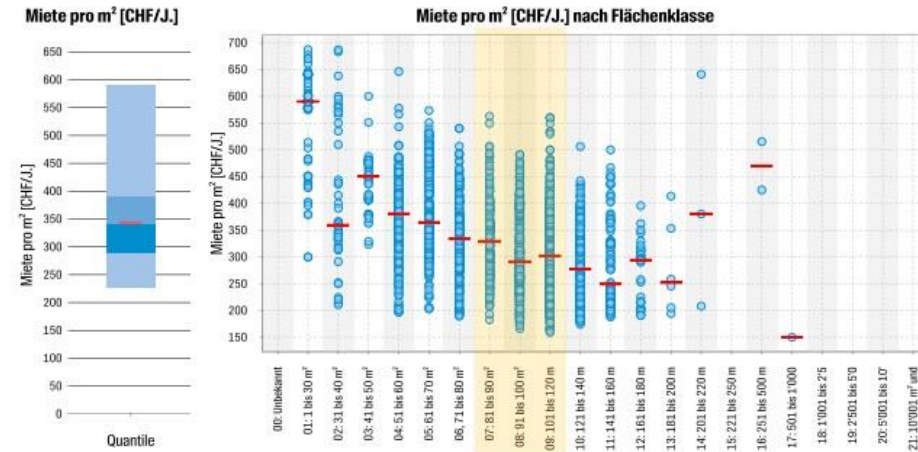
Häufigkeit Flächenklasse	Anzahl	Prozent	Quantile Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]				
			10%	30%	50%	70%	90%
00: Unbekannt	4	0					
01: 1 bis 30 m <sup>2</sup>	334	11	226	359	408	481	504
02: 31 bis 40 m <sup>2</sup>	259	9	284	320	348	379	468
03: 41 bis 50 m <sup>2</sup>	285	9	211	269	293	331	380
04: 51 bis 60 m <sup>2</sup>	549	18	228	263	279	310	356
<b>05: 61 bis 70 m<sup>2</sup></b>	<b>608</b>	<b>20</b>	<b>212</b>	<b>244</b>	<b>264</b>	<b>287</b>	<b>329</b>
06: 71 bis 80 m <sup>2</sup>	380	13	204	239	262	280	339
07: 81 bis 90 m <sup>2</sup>	268	9	204	237	258	284	320
08: 91 bis 100 m <sup>2</sup>	115	4	210	235	255	283	336
09: 101 bis 120 m <sup>2</sup>	142	5	197	247	267	300	342
10: 121 bis 140 m <sup>2</sup>	55	2	185	235	252	278	343
11: 141 bis 160 m <sup>2</sup>	16	1	188	233	261	296	460
12: 161 bis 180 m <sup>2</sup>	1	0	238	238	238	238	238
13: 181 bis 200 m <sup>2</sup>	0	0					
14: 201 bis 220 m <sup>2</sup>	0	0					
15: 221 bis 250 m <sup>2</sup>	1	0	417	417	417	417	417
16: 251 bis 500 m <sup>2</sup>	0	0					
17: 501 bis 1'000 m <sup>2</sup>	1	0	12	12	12	12	12
18: 1'001 bis 2'500 m <sup>2</sup>	0	0					
19: 2'501 bis 5'000 m <sup>2</sup>	0	0					
20: 5'001 bis 10'000 m <sup>2</sup>	0	0					
21: 10'001 m <sup>2</sup> und mehr	0	0					
<b>Total</b>	<b>3'018</b>	<b>100</b>	<b>214</b>	<b>253</b>	<b>279</b>	<b>319</b>	<b>406</b>

### 7.4.3 Wohngebäude, Mietwohnungen, Bauperiode 2001 und neuer

GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse

Wüest Partner AG; Erhebungsstand 2019-06-30

#### GeoInfo Datenanalyse Mietabschlüsse für Miete pro m<sup>2</sup> [CHF/J.] und Flächenklasse



Quantile	Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]
90% Quantil	590
70% Quantil	392
50% Quantil	343
30% Quantil	291
10% Quantil	228

Häufigkeit Flächenklasse	Anzahl	Prozent	Quantile Miete pro m <sup>2</sup> [CHF/J.]				
			10%	30%	50%	70%	90%
00: Unbekannt	23	1					
01: 1 bis 30 m <sup>2</sup>	521	12	589	590	590	591	600
02: 31 bis 40 m <sup>2</sup>	48	1	248	337	360	517	596
03: 41 bis 50 m <sup>2</sup>	72	2	378	450	450	454	480
04: 51 bis 60 m <sup>2</sup>	293	7	284	349	381	406	451
05: 61 bis 70 m <sup>2</sup>	478	11	309	344	365	418	488
06: 71 bis 80 m <sup>2</sup>	398	9	247	300	334	365	415
07: 81 bis 90 m <sup>2</sup>	464	10	249	290	330	360	402
08: 91 bis 100 m <sup>2</sup>	682	15	220	261	291	333	401
09: 101 bis 120 m <sup>2</sup>	959	22	219	266	302	360	396
10: 121 bis 140 m <sup>2</sup>	347	8	200	229	278	327	386
11: 141 bis 160 m <sup>2</sup>	113	3	203	226	249	325	414
12: 161 bis 180 m <sup>2</sup>	32	1	199	217	294	311	349
13: 181 bis 200 m <sup>2</sup>	6	0	195	210	252	344	414
14: 201 bis 220 m <sup>2</sup>	3	0	208	243	380	589	641
15: 221 bis 250 m <sup>2</sup>	0	0					
16: 251 bis 500 m <sup>2</sup>	2	0	425	425	470	515	515
17: 501 bis 1'000 m <sup>2</sup>	1	0	150	150	150	150	150
18: 1'001 bis 2'500 m <sup>2</sup>	0	0					
19: 2'501 bis 5'000 m <sup>2</sup>	0	0					
20: 5'001 bis 10'000 m <sup>2</sup>	0	0					
21: 10'001 m <sup>2</sup> und mehr	0	0					
<b>Total</b>	<b>4'442</b>	<b>100</b>	<b>228</b>	<b>291</b>	<b>343</b>	<b>392</b>	<b>590</b>



## 7.5 Entwicklung Überhitzungsstunden

Entwicklung der Überhitzungsstunden gemäss der MCS für alle vier Bautypen.

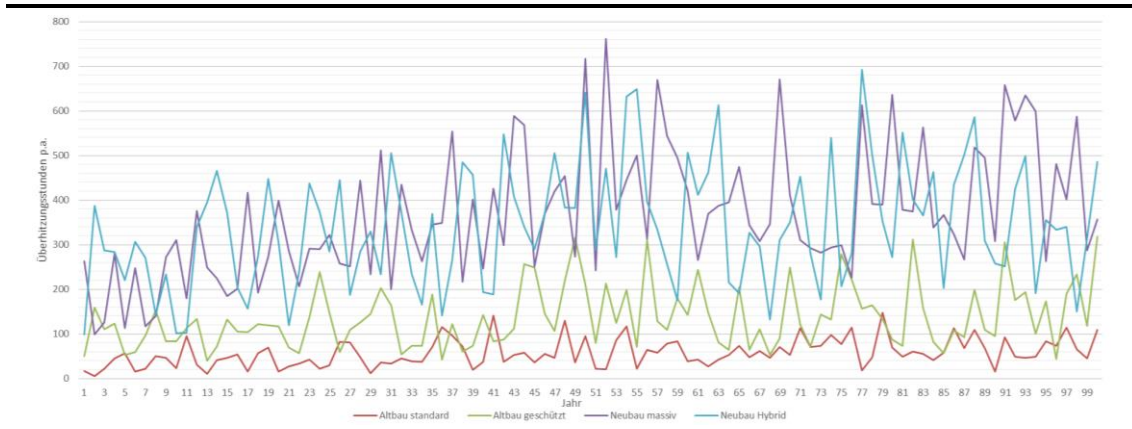


Abbildung 24: Entwicklung der Überhitzungsstunden der MCS

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „[Thema X]“ selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe.

Alle Stellen die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Zürich, den 31. August 2019

---

Florian Poppele