



**Universität
Zürich** UZH

Abschlussarbeit

zur Erlangung des
Master of Advanced Studies in Real Estate

CO₂-Emissionen als Einflussfaktor in der Bewertung von Immobilienprojekten - eine Fallstudie

Verfasser: Müller
Klaus
Sempacherstrasse 41, 8032, Zürich
klaus.mueller.mail@hotmail.com
+41 (0) 79 748 47 16

Eingereicht bei: Dr. Jörg Schläpfer

Abgabedatum: 04.08.2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis	IV
2.	Schlüsselbegriffe	V
3.	Abbildungsverzeichnis	VI
4.	Tabellenverzeichnis	VII
5.	Executive Summary	VIII
1.	Einleitung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Problemstellung	4
1.3	Zielsetzung und Forschungsfragen	4
1.4	Aufbau der Arbeit	5
1.5	Eingrenzung des Themas	6
2.	Grundlagen	7
2.1	Politik	7
2.2	Gesetzliche Grundlagen	9
2.3	Staatliche und private Förderinstrumente	10
2.4	Wirksamkeit der Massnahmen und politische Handlungsbereitschaft	11
2.5	CO _{2e} -Emissionen von Gebäuden	12
2.6	Grundlagen der Projektbewertung mittels DCF-Methode	16
3.	Empirische Untersuchung	18
3.1	Methodisches Vorgehen	18
3.2	Untersuchungsobjekt	20
3.3	Ermittlung der CO _{2e} -Emissionen	23
3.4	Erträge	32
3.5	Aufwände	33
3.6	Finanzielle Gewichtung der CO _{2e} -Emissionen	36
3.7	Diskontierungssatz und Teuerung	37
3.8	Hypothetische Zukunftsszenarien	39

4.	Vorstellung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse.....	42
4.1	Vorstellung der Ergebnisse	42
4.2	Diskussion der Ergebnisse	45
4.3	Kritische Würdigung der gewählten Methode	51
4.4	Datenqualität und Datenunsicherheit.....	52
5.	Fazit und Ausblick.....	54
5.1	Fazit	54
5.2	Ausblick.....	56
6.	Literaturverzeichnis	57
7.	Anhang	61

1. Abkürzungsverzeichnis

A _E	Energiebezugsfläche
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
CF	Cashflow
CO _{2e}	CO _{2e} -Äquivalent
CPLC	Carbon Pricing Leadership Coalition
DCF	Discounted Cash Flow
EHS	Emissionshandelssystem
FPRE	Fahrländer Partner AG
GIS	Geoinformationssystem
HNF	Hauptnutzfläche gemäss Norm SIA 416
IPB	Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren
IPK	Initiale Projektkosten
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
MFH	Mehrfamilienhaus
NPV	Net Present Value (Kapitalwert)
p.a.	per annum (pro Jahr)
PP	Parkplatz
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIV	Schweizer Immobilienschätzer-Verband
SIREA	Swiss Institute of Real Estate Appraisal
SNB	Schweizerische Nationalbank
SVS	Swiss Valuation Standard
SVKG	Schweizerische Vereinigung kant. Grundstückbewertungsexperten
THG	Treibhausgas
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

2. Schlüsselbegriffe

Fachbegriffe werden in der Literatur nicht immer einheitlich verwendet. Im Sinne der Eindeutigkeit wird für diese Arbeit festgelegt:

Treibhausgas: Kurz THG; Klimawirksames Gas, dazu gehört Kohlendioxid, Methan, Lachgas und verschiedene Fluorkohlenwasserstoffe

Emission: Freisetzung von Treibhausgas in die Atmosphäre

Negativemission: Entzug von Treibhausgas aus der Atmosphäre

Quelle: Vorgang durch welchen THG in die Atmosphäre gelangt

Senke: Vorgang durch welchen THG aus der Atmosphäre entfernt wird

Senkenleistung: Differenz der Emissionen aus Quellen und Senken

Speicher: Element oder Material in dem THG zurückgehalten wird

CO₂-Äquivalente: Kurz: CO₂e; Masseinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung unterschiedlicher THG. Dabei wird einer gewissen THG Menge die Mengen an CO₂ zugewiesen, die den gleichen Treibhauseffekt wie das THG hat (SIA, 2022, S. 17). In dieser Arbeit wird der Begriff der äquivalenten CO₂-Emissionen (kurz: CO₂e-Emissionen) stellvertretend für THG-Emissionen verwendet.

CO₂e-Emission: Als CO₂e-Emissionsmenge ausgedrückte THG-Emissionen

Emissionsrechte: Handelbare Berechtigungen zum Ausstoss von THG werden von Staaten, welche am EHS teilnehmen, ausgegeben (Art. 2 des CO₂-Gesetz, SR 641.71)

Netto-Null-Ziel: Treibhausgasziel der Schweiz für 2050, gemäss langfristiger Klimastrategie der Schweiz

Personenfläche: Energiebezugsfläche eines Gebäudes pro Bewohner

Wo nicht besonders vermerkt, orientieren sich obige Definitionen an den Begriffsbestimmungen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Vereinte Nationen, 1992), an der langfristigen Klimastrategie der Schweiz (UVEK, 2021) und den Definitionen des SIA (SIA, 2017, 2020b).

3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes nach SIA	2
Abbildung 2: CO ₂ e-Emissionen aus Erstellung und Betrieb von Gebäuden.....	3
Abbildung 3: Energiefluss mit Darstellung des Bilanzperimeters	12
Abbildung 4: Erarbeitetes DCF-Bewertungsmodell.....	19
Abbildung 5: Luftbild der Liegenschaft	20
Abbildung 6: Perimeter	20
Abbildung 7: Siegerprojekt Studienauftrag.....	21
Abbildung 8: Ausschnitt online Karte EnerGIS	25
Abbildung 9: Systematik der Kostengliederungen nach CRB	34
Abbildung 10: Preisentwicklung der CO ₂ Abgabe seit Einführung	36
Abbildung 11: Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung	46
Abbildung 12: Vergleich der Varianten nach ihrem HNF/A _E -Verhältnis.....	47

4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die drei festgelegten Projektvarianten.....	22
Tabelle 2: Verwendete Plangrundlagen.....	23
Tabelle 3: CO ₂ e-Emissionen des Bereichs Erstellung im Vergleich.....	24
Tabelle 4: CO ₂ e-Emissionen des Bereichs Betrieb im Vergleich	26
Tabelle 5: CO ₂ e-Emissionen des Bereichs Mobilität im Vergleich	27
Tabelle 6: Langfristig in Beton gespeicherte CO ₂ -Menge	28
Tabelle 7: Durch Wiederverwendung der Tragstruktur vermiedene CO ₂ e-Emissionen....	29
Tabelle 8: Herleitung Projektkosten am Beispiel der Variante Ersatzneubau.....	35
Tabelle 9: Herleitung des projektspezifischen realen Diskontierungssatzes.....	37
Tabelle 10: Bewertungskennzahlen Variante Sanierung.....	42
Tabelle 11: Bewertungskennzahlen Variante Verdichtung	43
Tabelle 12: Bewertungskennzahlen Variante Ersatzneubau	44
Tabelle 13: Vergleich der Varianten nach unterschiedlichen CO ₂ e-Kennzahlen	45
Tabelle 14: Einfluss der CO ₂ -Abgaben auf Marktwert, IPK und NPV	49

5. Executive Summary

«Sanieren, Nachverdichten oder einen Ersatzneubau anstreben?» Diese Frage stellt sich spätestens, wenn ein Gebäude das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat. Wurde die Antwort darauf in der Vergangenheit primär aus einer ökonomischen Betrachtung der drei sich bietenden Handlungsoptionen abgeleitet, fordert die Gesellschaft zunehmend, dass Immobilieneigentümer derartige Projektierungsentscheide auch unter Beachtung ökologischer Aspekte fällen. Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimadiskussion rücken die CO₂-Emissionen dabei als Entscheidungsfaktor in den Vordergrund.

Aufgrund der durch das CO₂-Gesetz begründeten CO₂-Lenkungsabgabe, haben CO₂-Emissionen bereits heute einen ökonomischen Preis. Dieser beeinflusst das Verhalten der Immobilieneigentümer indirekt, da es die Nutzer und Ersteller der Gebäude sind, die diese Abgabe – beispielsweise in Form höherer Heizkosten – begleichen. Die hohen Bau- und Wärmedämmstandards heutiger Neubauten führen zwar dazu, dass durch den Gebäudebetrieb bedingte CO₂-Emissionen und die entsprechenden Lenkungsabgaben sinken, gleichzeitig nehmen aber die CO₂-Emissionen baulicher Massnahmen aufgrund der höheren Standards zu. Hinzu kommen die CO₂-Emissionen aus der Mobilität der Gebäudebewohner, von denen die Immobilieneigentümer bisher nicht tangiert werden.

Die vorliegende Arbeit untersucht anhand eines Fallbeispiels, inwiefern eine Ausdehnung der CO₂-Abgabe auf die Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität einen Einfluss auf eingangs erwähnten Projektierungsentscheid hat. Dabei wird ermittelt, welche CO₂-Emissionen die drei Projektvarianten Sanierung, Verdichtung und Ersatzneubau während ihres Lebenszyklus verursachen. Das Resultat: Der Ersatzneubau hat den mit Abstand grössten fossilen Fussabdruck. Dies unabhängig davon, ob man die durch ihn verursachten CO₂-Emissionen gesamthaft oder in Relation zur Anzahl seiner Bewohner betrachtet. Vergleicht man die drei Projektvarianten hingegen unter wirtschaftlichen Aspekten, wird mit dem Ersatzneubau ein rund 60 Prozent höherer Kapitalwert als mit einer Sanierung oder Verdichtung geschaffen. Eine Ausdehnung der erwähnten CO₂-Lenkungsabgabe verringert diesen zwar um rund 2 Prozent, der Entscheid einer nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten agierenden Eigentümerin, wird dadurch aber nur in Ausnahmefällen beeinflusst. Im untersuchten Fall sind die ökologischeren Projektvarianten Sanierung und Verdichtung erst dann wirtschaftlich attraktiver, wenn ein «CO₂-Ablass» von 5'665.- CHF pro Tonne CO₂ zu entrichten ist.

Vor diesem Hintergrund thematisiert diese Arbeit das Prinzip der «tabula rasa» und deren Chancen und Gefahren im Kontext der aktuellen Klimadebatte.

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Emissionen von Treibhausgasen führen zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts. Der dadurch bedingte Klimawandel zieht bereits heute erhebliche negative Auswirkungen nach sich. Im Rahmen der UN-Klimakonferenz 2015 hat die internationale Staatengemeinschaft das Übereinkommen von Paris verabschiedet, (Übereinkommen von Paris vom 12.12.2015, SR 0.814.012, 2021), welches darauf abzielt, den Ausstoss von Treibhausgasen stark zu reduzieren, um die globale Klimaerwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau (d.h. dem Zeitraum 1850-1900) auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius zu beschränken. Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris hat sich die Schweiz 2017 verpflichtet, aktiv an der Zielerreichung mitzuwirken und die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu senken (BAFU, 2022a).

Ein 2018 vom Weltklimarat veröffentlichter Sonderbericht zeigt auf, dass die Beschränkung der globalen Erwärmung auf maximal 1,5 Grad Celsius nur erreicht werden kann, wenn die globalen CO₂-Emissionen bis Mitte des Jahrhunderts (2045-2055) auf Netto-Null absinken (IPCC, 2018, S. 116). In seinem neusten Sachstandsbericht von Juli 2021 stellt der Weltklimarat fest, dass die globalen Treibhausgasemissionen weiter steigen und das Erreichen der in Paris gesetzten Klimaziele zunehmend unwahrscheinlich wird (IPCC, 2022, S. 3–18).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Weg die Schweiz in den kommenden Jahren im Sinne der Zielerreichung beschreiten wird. Die im Auftrag des Bundesrates durch das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK erarbeitete langfristige Klimastrategie der Schweiz setzt das Ziel, dass die Treibhausgasbilanz der Schweiz spätestens im Jahr 2050 ausgeglichen (Netto-Null) sein soll (UVEK, 2021, S. 13). Von diesem Zeitpunkt an sollen die Menschen also nicht mehr Treibhausgase verursachen, als sie der Atmosphäre gleichzeitig physikalisch entziehen. Die Grundlage für entsprechende Lenkungsmaßnahmen legt das CO₂-Gesetz. Dieses befindet sich – nach der Ablehnung im Rahmen der Volksabstimmung von Juni 2021 – aktuell in Totalrevision und soll ab 2025 den notwendigen klimapolitischen Rahmen bis 2030 setzen (Entwurf Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 17.12.2021). Inwiefern das Gesetz bei Inkrafttreten Verschärfungen für den Gebäudepark enthalten wird, kann derzeit noch nicht abschliessend gesagt werden.

Von den Treibhausgasemissionen der Schweiz sind rund 30% auf die Erstellung und den Betrieb von Wohngebäuden zurückzuführen¹. Die Eigentümer und Nutzer dieses Teils des Gebäudeparks sind von den nationalen Klimazielsetzungen damit künftig besonders betroffen.

Um die unterschiedlichen Treibhausgase einheitlich zu erfassen und in Bezug auf ihre Klimawirkung vergleichen zu können, werden CO₂-Äquivalente (CO₂e) als Masseinheit verwendet. Dabei wird einem Treibhausgas jene Mengen an CO₂ zugewiesen, die den gleichen Treibhauseffekt wie das Treibhausgas hat (SIA, 2022, S. 17).

Da die CO₂e-Emissionen einer Immobilie nicht zeitlich beschränkt, sondern über den ganzen Lebenszyklus anfallen, sieht der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen einen „Lebenswegansatz“ vor (SIA, 2020b, S. 11). Dieser reicht von Rohstoffbereitstellung über die Errichtung und Betrieb bis zur Baustoffentsorgung. Auch internationale Bilanzierungsmodelle betrachten den ganzen Lebenszyklus einer Immobilie. Dazu gehören die Normen ISO 14040:2006 und EN 15978 (2011) sowie das vom Weltwirtschaftsrat für Nachhaltige Entwicklung vorgeschlagene Modell The Building System Carbon Framework (WBCSD, 2021, S. 7–14).

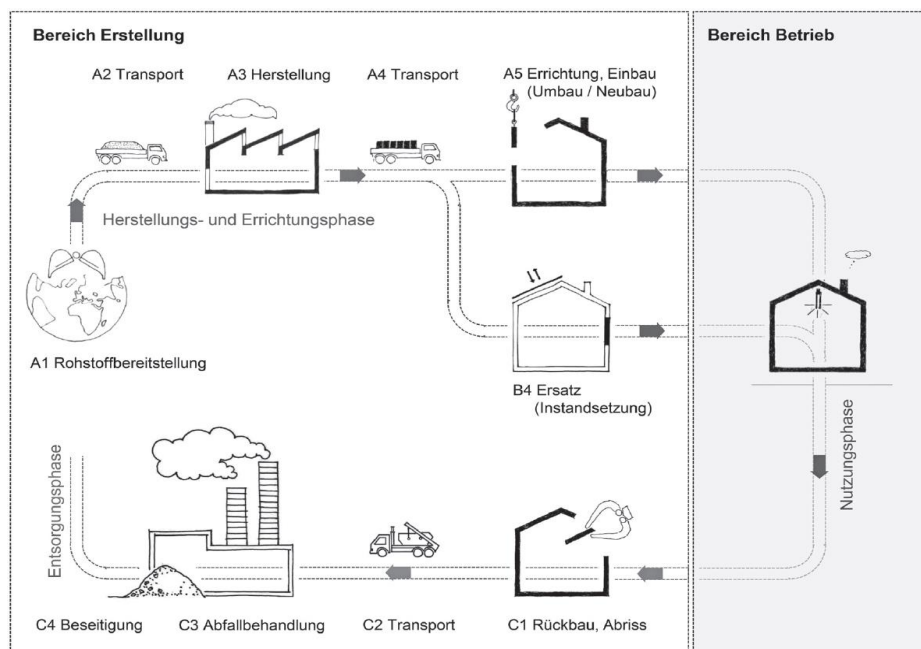


Abbildung 1: Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes nach SIA (SIA, 2020b, S. 11)

¹ Abschätzung des Autors auf Basis der Untersuchungsergebnisse von Näf et al. (2021, S. 25) sowie des Treibhausgasinventars der Schweiz (Kanton Zürich, 2022).

Die öffentliche Hand und institutionelle Eigentümer haben die Reduktion von direkten und indirekten CO₂e-Emissionen des Immobilienbetriebs als dringliches Ziel erkannt und verfolgen deren Reduktion. Der finanzielle Aufwand für das Erreichen konkreter CO₂e-Reduktionsziele (Einhalten des Absenkpfeils) kann heute individuell konkret berechnet oder für ganze Immobilienportfolios abgeschätzt und so in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigt werden (vgl. Fritschi, 2020; Wüest Partner AG, 2021). Die CO₂e-Emission aus Bau- und Rückbauprozessen und der durch Gebäude induzierten Mobilität werden bei einer derartigen betrieblichen Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die Anstrengungen, welche im Hinblick auf die Reduktion der CO₂e-Emissionen im Betrieb unternommen werden, schlagen sich auch in dessen prozentuellem Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen einer Immobilie positiv nieder. Die zunehmende Energieeffizienz von Gebäuden im Betrieb sowie die Abkehr von kohlenstoffbasierten Energieträgern führt dazu, dass die CO₂e-Emissionen aus der Erstellung von Immobilien zunehmend Gewicht erhalten (One Click LCA, 2018, S. 13).

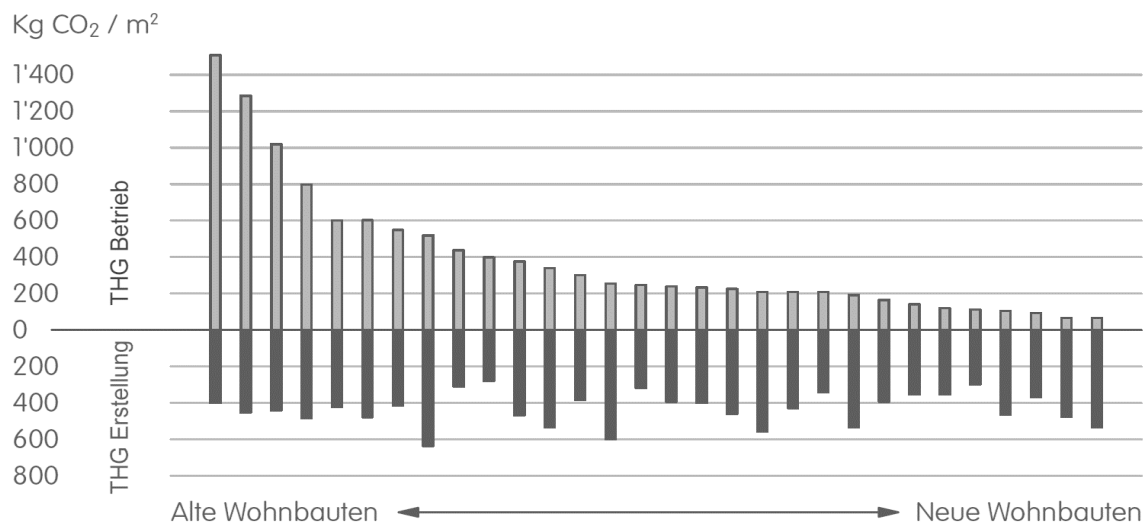


Abbildung 2: CO₂e-Emissionen aus Erstellung und Betrieb von Gebäuden aus unterschiedlichen Zeiträumen (Hinweis: Legendenbeschriftung für bessere Verständlichkeit angepasst. Vertikale Achse: Emissionen während des ganzen Gebäudelebenszyklus. Horizontale Achse: Sortierung der untersuchten Gebäude nach Erstellungsjahr), (Salza 2020, S. 15)

1.2 Problemstellung

Spätestens wenn eine Liegenschaft das Ende ihres Lebenszyklus erreicht oder vor einem Sanierungszyklus steht, stellt sich die Frage, inwiefern die vorhandene Baustruktur im Rahmen eines Bauprojekts saniert, erweitert oder abgebrochen und ersetzt werden soll.

Stehen verschiedene Handlungsoptionen zur Auswahl, bietet eine **ökonomische** Bewertung der einzelnen Projektvarianten eine fundierte Entscheidungsgrundlage. Da sich Zeitpunkt und Grösse der durch sie ausgelösten Zahlungsströme im Regelfall unterscheiden, bietet sich an, die verschiedenen Projektvarianten dynamisch beispielsweise mittels Discounted-Cash-Flow (DCF) Methode zu bewerten. Dabei ergibt sich der Kapitalwert einer Projektvariante jeweils aus der Summe aller auf den Bewertungsstichtag diskontierten zukünftigen Aufwände und Erträge, welche das Projekt bei einer Umsetzung im Betrachtungszeitraum generieren wird.

Gesellschaft und Politik fordern vermehrt, dass derartige Variantenentscheide auch unter Berücksichtigung **ökologischer** Gesichtspunkte erfolgen. Vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung stellen die CO₂e-Emissionen dabei die wichtigste Einflussgrösse dar. Mit den Rechenhilfen Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie (SIA, 2022) und Tool Graue Energie Minergie-ECO® (Minergie, 2022) stehen Hilfsmittel zu Verfügung, mit denen die CO₂e-Bilanzen der einzelnen Varianten bereits in den frühen Planungsphasen Vorstudien/Vorprojekt gemäss Norm SIA 112 Modell Bauplanung (SIA, 2014) abgeschätzt werden können.

Hat der Entscheidungsträger für die Projektvarianten erst einmal die ökonomischen und ökologischen CO₂e Bewertungen zur Hand, stellt er häufig fest, dass sich aus diesen entgegengesetzte Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Es stellt sich folglich die Frage, wie der daraus resultierende Zielkonflikt überwunden werden kann.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die DCF-Bewertung als **ökonomische** und die CO₂e-Bilanz als **ökologische** Projektbewertung zu einer konsolidierten Entscheidungsgrundlage für einen Variantenentscheid in der Vorstudienphase (Phase 2 gemäss SIA Norm 112) zusammenzuführen. Diese soll es erlauben, die Gesamtheit der CO₂e-Emissionen aus dem Lebenszyklus einer Immobilie als Einflussfaktor ökonomisch zu berücksichtigen. Die vorliegende Arbeit untersucht dabei anhand eines Fallbeispiels, wie sich zukünftige regulatorische Massnahmen zur Erreichung des Klimaziels in der Bewertung von drei Projektvarianten niederschlagen

und den Projektierungsentscheid beeinflussen. Vor dem Hintergrund dieser übergeordneten Zielsetzung werden folgende Forschungsfragen untersucht:

- Frage 1: Wie unterscheiden sich die drei Projektvarianten im Hinblick auf die durch sie verursachten CO₂e-Emissionen?
- Frage 2: Wie würde sich die Ausweitung der heute bestehenden CO₂e-Abgabepflicht auf die Gesamtheit der CO₂e-Emissionen eines Immobilienprojektes in dessen Bewertung niederschlagen?
- Frage 3: Welchen Einfluss hat die Speicherung von CO₂ in Baustoffen und die Wiederverwendung von Bauelementen auf das Ergebnis?

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in fünf Kapitel, wovon das erste die Problemstellung beschreibt, konkrete Forschungsziele formuliert und eine Eingrenzung des Themas vornimmt.

Im zweiten Kapitel werden die übergeordneten Rahmenbedingungen und die wichtigsten theoretischen Grundlagen erläutert, welche für die Beantwortung der Forschungsfragen relevant sind.

Das dritte Kapitel ist der empirischen Untersuchung gewidmet. Es beschreibt die Forschungsmethode, stellt das Untersuchungsprojekt sowie die verwendeten Datengrundlagen vor und beschreibt die im Rahmen der Untersuchung angenommenen hypothetischen Zukunftsszenarien.

In Kapitel vier werden die Untersuchungsergebnisse zuerst sachlich und unkommentiert vorgestellt, bevor sie kritisch hinterfragt und diskutiert werden.

Im abschliessenden Kapitel werden die erlangten Erkenntnisse zusammengefasst und Bereiche identifiziert, für die sich aus der Arbeit weitere Forschungsfragen ableiten lassen.

1.5 Eingrenzung des Themas

Die vorliegende Arbeit legt den thematischen Fokus auf die CO₂e-Emissionen von Immobilien in den Bereichen Erstellung und Betrieb sowie auf die CO₂e-Emissionen der durch die Bewohner und Nutzer verursachten Mobilität. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf als weiterer wichtiger Indikator für Umweltauswirkungen wird nur betrachtet, sofern dies für die Herleitung der CO₂e-Emissionen des Untersuchungsobjektes notwendig ist. Nicht berücksichtigt wird der Einfluss weiterer Nachhaltigkeitsaspekte.

Untersucht werden die Auswirkungen projektspezifischer Einzelmaßnahmen auf die Immobilienbewertung, wobei sich der Betrachtungsperimeter auf die untersuchte Liegenschaft beschränkt. Die Auswirkungen, welche entsprechende Massnahmen auf die Gesamtwirtschaft haben, werden nicht betrachtet. Technische Fortschritte, Änderungen des Flächenbedarfs pro Person und des Mobilitätsverhaltens werden nur in dem Masse angenommen, wie sie für eine Umweltbilanzierung nach SIA vorgesehen sind (vgl. SIA, 2022, S. 4).

Steuerliche Aspekte, Ansprüche auf Fördergelder aus dem Gebäudeprogramm und Aspekte der Projektfinanzierung werden bei der Untersuchung ausgeklammert. Auch die aktuell hohen Preise im Hochbau sowie für Energie werden nicht berücksichtigt.

2. Grundlagen

2.1 Politik

2.1.1 Klimapolitik Schweiz

Die Notwendigkeit, im Sinne des Klimaschutzes CO₂e-Emission weitestmöglich zu vermeiden, wurde von der Schweizer Politik auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene als dringlich erkannt.

In der **Bundesverfassung** ist der Klimaschutz nicht explizit verankert. Zu einer entsprechenden Volksinitiative (Gletscher-Initiative) hat der Bundesrat im August 2021 einen Gegenvorschlag unterbreitet. Durch dessen Annahme würde das Netto-Null-Ziel 2050 - wie in der Gletscher-Initiative vorgeschlagen - in die Verfassung aufgenommen, von einem Verbot fossiler Brenn- und Treibstoffe aber abgesehen. Der Gegenvorschlag wurde vom Nationalrat am 3. März 2022 mit Anpassungen angenommen und an den Ständerat zur Vernehmlassung weitergereicht (Keystone-SDA, 2022).

Die im Auftrag des Bundesrates durch das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK erarbeitete **langfristige Klimastrategie der Schweiz** (UVEK, 2021) formuliert als übergeordnetes Ziel, dass die Bilanz der Treibhausgase der Schweiz spätestens im Jahr 2050 ausgeglichen ist (Netto-Null Ziel 2050). Die vom Menschen verursachten Treibhausgase müssen sich von diesem Zeitpunkt an also mit den Treibhausgasmengen, welche physikalisch aus der Atmosphäre entfernt werden können, im Gleichgewicht befinden (Knüsel, 2022, S. 5). Dabei beziehen sich die Treibhausgasemissionen auf die in der Schweiz verursachten Emissionen (Territorialprinzip). Emissionen, welche von der Schweiz im Ausland verursacht werden (beispielsweise bei der Herstellung von importierten Baumaterialien), liegen ausserhalb der Bilanzierungsgrenzen des Netto-Null-Ziels und werden somit nicht berücksichtigt. In Bezug auf die Emissionsverminderung durch natürliche oder technische Senken sowie emissionsreduzierende Massnahmen ist hingegen keine territoriale Abgrenzung vorgesehen. In der Schweiz verursachte Emissionen können folglich durch Massnahmen im Ausland (z.B. die Unterstützung von ausländischen Klimaschutzprogrammen) kompensiert werden (UVEK, 2021, S. 14).

Die langfristige Klimastrategie der Schweiz ist nach sieben Wirtschaftssektoren gegliedert, wovon für die vorliegende Arbeit insbesondere zwei relevant sind.

Für den **Sektor Gebäude**, welcher die betrieblichen Emissionen privater Haushalte und des Dienstleistungssektors umfasst, wird das strategische Ziel formuliert, dass der Gebäudepark ab 2050 keine Treibhausgase mehr verursacht (UVEK, 2021, S. 29).

Im Gegensatz zum Betrieb fallen die Erstellung und Erneuerung des Gebäudeparks in den **Sektor Industrie**. Für diesen wird bis 2050 das ambitionierte Ziel gesetzt, eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 90 Prozent gegenüber 1990 zu erreichen. Von den verbleibenden 10 Prozent der Emissionen ist rund ein Drittel auf die Herstellungsprozesse der Zementindustrie zurückzuführen. Es handelt sich dabei um geogene Emissionen, die bei der Verbrennung des Rohmaterials Kalkstein entstehen (UVEK, 2021, S. 33–36). Die verbleibenden Treibhausgasemissionen sollen ab 2050 durch Negativemissionstechnologien (NET) vollständig aus der Atmosphäre entfernt sowie dauerhaft und sicher gespeichert werden (UVEK, 2021, S. 51).

2.1.2 Klimapolitik Kanton und Stadt Zürich

Die Stimmbevölkerung des Kantons Zürich hat sich im Rahmen der Volksabstimmung vom 15. Mai 2022 dafür ausgesprochen, den Klimaschutz in der kantonalen Verfassung zu verankern (Kanton Zürich, 2022). Mit der angepassten Verfassung werden der Kanton Zürich und dessen Gemeinden explizit verpflichtet, sich unter Berücksichtigung der Ziele des Bundes für die Begrenzung des Klimawandels einzusetzen und ihre Massnahmen darauf auszurichten, die Treibhausgasemissionen bis zur Treibhausgasneutralität zu vermindern. Die entsprechenden Massnahmen werden nicht weiter präzisiert. Hingegen ist explizit festgehalten, dass die Entwicklungen und Anwendung von Technologien, Materialien und Prozessen, die zum Klimaschutz beitragen, gefördert werden können (Kantonsrat Zürich, 2021).

Auf kommunaler Ebene wurde zeitgleich mit der Änderung der Kantonsverfassung auch eine Verschärfung der in der Gemeindeordnung der Stadt Zürich festgelegten Klimaschutzziele beschlossen. Über die Klimavorgaben des Bundes hinausgehend sollen die direkten Treibhausgasemissionen auf dem Stadtgebiet bereits bis 2040 auf netto-null reduziert werden. Ferner wird angestrebt, die indirekten, d.h. die durch Stadtzürcher Aktivitäten ausserhalb der Stadtgrenzen anfallenden CO₂e Emissionen, um 30% gegenüber dem Stand von 1990 zu senken (Stadtkanzlei Zürich, 2022).

2.2 Gesetzliche Grundlagen

2.2.1 Revision des CO₂-Gesetzes

Das Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz, SR 641.71) ist zentrales Steuerungsinstrument, um den Treibhausgas-Ausstoss der Schweiz entsprechend den Zielvorgaben der langfristigen Klimastrategie der Schweiz (UVEK, 2021) zu senken. Es ermöglicht unter anderem die Erhebung von Lenkungsabgaben (CO₂-Abgaben) auf **fossile Brennstoffe** (wie beispielsweise Heizöl, Erdgas oder Kohle) bis maximal 120.- CHF/t CO₂ und regelt deren Rückerstattung an Bevölkerung und Wirtschaft. Der Abgabesatz wurde mit der revidierten CO₂-Verordnung per 1.1.2022 von zuvor 96.- CHF auf den Maximalsatz von 120.- CHF angehoben (Änderung CO₂-Verordnung vom 24.11.2021, 2022 Art. 94). Für gewisse treibhausgasintensive Anlagen besteht die Möglichkeit zur Befreiung von den CO₂-Abgaben durch freiwillige Teilnahme am Emissionshandelssystem (EHS) oder Abschluss einer Verminderungsverpflichtung. Bei ausgewählten Anlagen besteht die Pflicht, am EHS teilzunehmen. Dazu gehören unter anderem Anlagen aus den Sektoren Zement, Fernwärme und Stahl.

Ecoplan, EPFL und FHNW haben die Wirksamkeit der CO₂-Abgabe 2015 in einer Studie untersucht. Diese wurde von Ecoplan 2017 aktualisiert (Ecoplan, 2017). Die aktualisierte Studie kommt zum Schluss, dass die CO₂-Abgabe im Jahr 2015 im Vergleich zu anderen Instrumenten (Gebäudeprogramm und Zielvereinbarung) eine zwei- bis dreimal höhere CO₂-Reduktionswirkung hat. Weiter hält sie fest, dass sich die Reduktionswirkung bei bisherigen Erhöhungen stetig verstärkt hat (Ecoplan, 2017, S. 1, 32). Die Studie deckt den Zeitraum bis und mit 2015 an dessen Ende die CO₂-Abgabe 60 CHF/t CO₂ betrug. Über die Reduktionswirkung der seither erfolgten CO₂-Abgabeerhöhungen und die Wirkung allfälliger zukünftiger Erhöhungen wurde keine Studie gefunden.

Auf **fossilen Treibstoffen** (wie beispielsweise Benzin oder Diesel) fallen keine CO₂-Abgaben an. Stattdessen müssen die Importeure einen Teil der CO₂-Emissionen, die bei Verbrauch der Treibstoffe entstehen, kompensieren (z.B. mittels Unterstützung entsprechender Klimaschutzprojekte im In- oder Ausland).

Eine vom Parlament beschlossene Revision des Gesetzes, mit der die Erreichung der Zielvorgaben der langfristigen Klimastrategie sichergestellt werden sollte, wurde im Juni 2021 vom Schweizer Stimmvolk verworfen. Mit der Verschärfung des Gesetzes wäre die CO₂-Abgaben bis 2030 schrittweise auf 210 CHF/t CO₂ erhöht worden. Um das Auslaufen mehrerer per Ende 2021 terminierter Lenkungsmaßnahmen zu verhindern, hat

das Parlament das geltende CO₂-Gesetz im Sinne einer Übergangslösung bis Ende 2024 verlängert. Für die Zeit nach 2024 wurde vom Bundesrat ein neuer Vorschlag für ein revidiertes CO₂-Gesetz verabschiedet (Entwurf Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 17.12.2021). Dieser befindet sich gegenwärtig in der Vernehmlassung. Der Vorschlag sieht keine weitere Anhebung der geltenden CO₂-Abgaben und auch keine Erhebung neuer Lenkungsabgaben mehr vor. Das Erreichen der Zielvorgaben soll stattdessen mit steuerlichen Anreizen und Förderinstrumenten sichergestellt werden (BAFU, 2021, S. 6).

2.2.2 Kantonales Energiegesetz Zürich – Umsetzung der MuKE 2014

Im Kanton Zürich hat die Stimmbevölkerung im November 2021 einer Anpassung des Energiegesetzes zugestimmt (Kanton Zürich, 2022). Damit werden die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2014 (MuKE 2014) (EnDK, 2014) umgesetzt. In bestehenden Gebäuden sind Öl- und Gasheizungen am Ende ihrer Lebensdauer durch klimaneutrale Alternativen zu ersetzen, d.h. der Betrieb von Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung muss CO₂e-neutral erfolgen. Ausnahmen sind nur unter gewissen Umständen zulässig. Ferner müssen Neubauten ihren Energiebedarf durch Eigenproduktion vor Ort (z.B. mittels Solaranlagen) selbst decken.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Projektvarianten wurden derart ausgelegt, dass sie oben gesetzlichen Vorgaben genügen.

2.3 Staatliche und private Förderinstrumente

Das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen soll das Erreichen der nationalen Klimaziele unterstützen. Es basiert auf dem CO₂-Gesetz, welches vorschreibt, dass ein Drittel der CO₂e-Abgaben, für die Förderung der Geothermie und für Massnahmen, mit denen CO₂e-Emissionen bei Gebäuden langfristig reduziert werden können, zu verwenden sind (Teilzweckbindung). Die entsprechenden Fördergelder werden jenen Kantonen ausbezahlt, welche über ein kantonales Förderprogramm im Gebäudehüllenbereich verfügen. Die jeweiligen Beiträge werden dabei in Abhängigkeit der kantonalen Einwohnerzahl sowie der Höhe des Kredits festgelegt, mit dem der Kanton sein eigenes Programm unterstützt. Die Fördergelder werden für energetische Sanierung von Gebäuden, die Optimierung der Gebäudetechnik sowie für Investitionen in erneuerbare Energien und die Abwärmenutzung verwendet (BAFU, 2022b).

Auch die Förderprogramme der Stiftung klik (Stiftung klik, 2022), Energie Zukunft Schweiz AG (*Energie Zukunft Schweiz*, 2022), oder myclimate (myclimate, 2022) setzen

finanzielle Anreize. Diese lassen sich aber nicht mit Fördergeldern aus dem Gebäudeprogramm kombinieren (Baudirektion Kanton Zürich (2022), o. J., S. 14).

2.4 Wirksamkeit der Massnahmen und politische Handlungsbereitschaft

Es kann festgestellt werden, dass auf politischer Ebene grundsätzliche Handlungsbereitschaft besteht. So sieht der Entwurf des neuen CO₂-Gesetzes verschiedene Verschärfungen vor (*Entwurf Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 17.12.2021*, o. J.). Inwiefern diese umgesetzt werden können, wird der weitere politische Prozess zeigen. In Bezug auf die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fragestellungen lässt sich erkennen:

- Die aktuellen Gesetze fokussieren primär auf die Regulierung der durch den Gebäudebetrieb bedingten CO₂e-Emissionen.
- In Bezug auf die CO₂e-Emissionen der Gebäudeerstellung gibt es keine direkten Vorschriften. Die Bestimmungen des CO₂-Gesetzes wirken indirekt, d.h. über die Baumateriallieferanten, die davon betroffen sind.
- Neben den erwähnten Gesetzen bestehen zahlreiche weitere Regulierungen mit kontraproduktivem Charakter. Dazu zählt beispielsweise die Pflicht zur Erstellung von Parkplätzen in kommunalen Bauordnungen oder die Abzugsfähigkeit von Rückbaukosten in Steuergesetzen.

Zur Fragestellung, ob die gesetzlichen Regelungen und Förderinstrumente ausreichen, um die Zielvorgaben der langfristigen Klimastrategie der Schweiz einzuhalten, finden sich in der Literatur unterschiedliche Meinungen.

So kommen Beuttler et al. (2019) zum Schluss, dass die in der Schweiz vorgesehenen Massnahmen zu verschärfen sind (2019, S. 11–13), um die langfristige Klimastrategie zu erreichen.

Näf et al. (2021) halten fest, dass die auf Seite der Baumateriallieferanten greifenden Massnahmen unzureichend sind. Aus ihrer Sicht bedarf es daher eines grösseren Engagements seitens der Abnehmer von Baumaterialien (2021, S. 27), womit sie im Endeffekt die Grundeigentümer bzw. Investoren in die Pflicht nehmen.

Die hohe Reduktionswirkung der CO₂-Abgabe scheint in der Literatur unbestritten (siehe dazu Kapitel 2.2.1). Vor diesem Hintergrund wurde der Lenkungsabgabe auch im Rahmen der durchgeführten Untersuchung ein hoher Stellenwert zugemessen (siehe Kapitel 3.8.1).

2.5 CO₂e-Emissionen von Gebäuden

2.5.1 Lebenszyklusbetrachtung

Die CO₂e-Emissionen von Immobilie fallen nicht zeitlich beschränkt, sondern über deren ganzen Lebensdauer an. Im Rahmen dieser Arbeit wird diesem Umstand mit einer CO₂e-Bilanzierung nach der SIA Norm 380 (SIA, 2015) und den SIA Merkblättern 2031, 2032, 2039, 2040 (SIA, 2015, 2016, 2016, 2017, 2020b) Rechnung getragen. Die Verfahren des SIA bauen auf der Bilanzierungsmethode der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) auf. Sie ermöglichen die standardisierte Ermittlung der CO₂e-Emissionen, welche durch Gebäude in den drei Bereichen **Erstellung**, **Betrieb** und **Mobilität** verursacht werden. Der Bereich Erstellung umfasst dabei auch die Bereitstellung der Baustoffe, Ersatzinvestitionen während des Betriebs sowie den Rückbau und die Entsorgung sämtlicher Bauteile am Ende des Lebenszyklus.

Um Vergleiche zwischen den drei Bereichen wie auch zwischen unterschiedlichen Projekten zu ermöglichen, wird die Energiebezugsfläche A_E als Bezugsgrösse verwendet (SIA, 2017, 2020b).

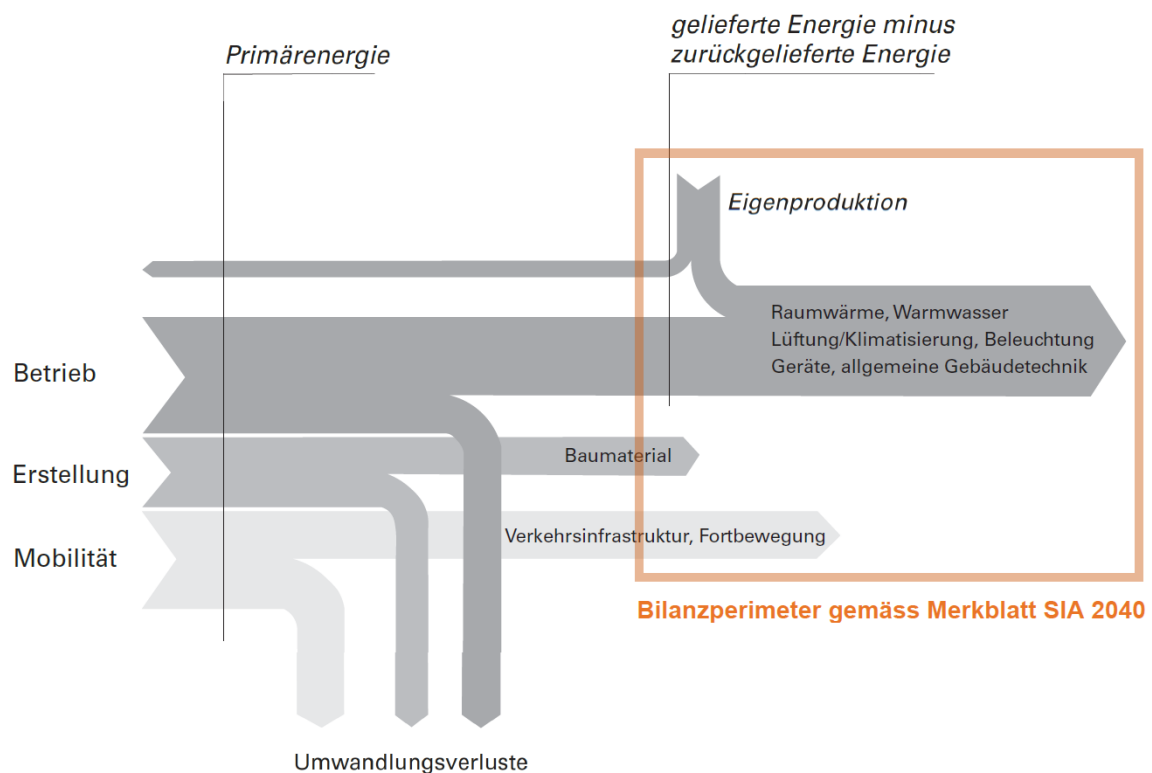


Abbildung 3: Energiefluss mit Darstellung des Bilanzperimeters (SIA, 2022, S. 8)

2.5.2 CO₂e-Emissionen des Bereichs Betrieb

Die im Betrieb eines Gebäudes anfallenden CO₂e-Emissionen ergeben sich aus den am Standort für Wärme, Kühlung und Elektrizität konsumierten Energien (Endenergien), welche mit den auf die jeweiligen Energieträger abgestimmten Treibhausgasemissionskoeffizienten gewichtet werden. Die resultierenden Werte beziehen sich dabei jeweils auf ein Betriebsjahr (SIA, 2015, 2017).

Ein Gebäudebetrieb ohne CO₂e-Emission ist aus technischer Sicht heute bereits möglich. Ob ein Gebäude einen klimaneutralen Betrieb erlaubt, hängt dabei insbesondere davon ab, ob die für Wärme, Kühlen und Elektrizität benötigte Energie CO₂e-neutral zur Verfügung gestellt werden kann, sprich, ob ausreichend erneuerbare Energiequellen wie Solarzellen, Sonnenkollektoren, Wasserkraft und dergleichen zur Verfügung stehen. Bei entsprechenden bauphysikalischen Eigenschaften eines Gebäudes (Wärme-/Kälteschutz) und zielführendem Nutzerverhalten kann die CO₂e-Bilanz für den Bereich Betrieb sogar einen negativen Saldo ausweisen. Dies, wenn die am Standort jährlich anfallende erneuerbare Energie über dem jährlichen Verbrauch des Gebäudes liegt und Dritten verfügbar gemacht werden kann (SIA, 2017, S. 20). Wissenschaftlich ist die Berücksichtigung solcher negativer CO₂e-Emissionen aber umstritten: Wird die CO₂e-freie Überschussenergie in der Energiebilanz von Dritten als CO₂e-neutral verbucht, liegt gesamthaft betrachtet eine Doppelzählung der CO₂e-frei produzierten Energie vor (Knüsel, 2022, S. 19). Kumulieren sich derartige Doppelzählungen wird eine schlüssige Ermittlung der nationalen CO₂e-Emissionen verunmöglicht.

2.5.3 CO₂e-Emissionen des Bereichs Erstellung

Die im Rahmen der Erstellung verursachten CO₂e-Emissionen werden basierend auf den KBOB-Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB, 2022) oder qualitativ vergleichbaren Datenquellen pro Bauteil ermittelt (SIA, 2020b, S. 13).

Um die CO₂e-Emissionen des Bereichs Erstellung mit den für den Bereich Betrieb ermittelten Werten in einen Bezug setzen zu können, werden die CO₂e-Emissionen der Bauteile entsprechend der jeweiligen Amortisationszeit in Jahreswerte umgerechnet. Die vorgegebene theoretische Amortisationszeit des jeweiligen Bauteils liegt zwischen 20 und 60 Jahren.

Wie gross der Anteil der CO₂e-Emissionen aus der Erstellung im Verhältnis zu jenen des Betriebs ist, hängt stark von der Bausubstanz und Nutzung ab. Entsprechend finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. Dinkel et al. (2021, S. 35–36) kommen

aufgrund ihrer Untersuchung von neun im Zeitraum 2017 bis 2020 geplanten und erstellten Schweizer Mehrfamilienhäusern zum Schluss, dass der Bereich Erstellung rund 59% der CO₂e-Lebenszyklusemissionen (ohne Mobilität) ausmacht. Gemäss Herzog (2021, S. 9) liegt der Anteil sogar bei über 70%. Sicher ist: in diesem Bereich liegt der grösste Handlungsbedarf, wenn die Zielvorgaben des Bundes bis 2050 erreicht werden sollen. Knüsel (2022, S. 13) sieht für eine Zielführende Reduktion der baulichen Emissionen in erster Linie folgende Ansätze:

- Lange Nutzungsdauer
- Effiziente Gebäude- / Raumkonzepte, die sich auf das Notwendige beschränken
- Wiederverwendung von Bauteilen und Baustoffen, insbesondere auch dank einfach trennbarer Verbundsysteme
- Verwendung treibhausgasreduzierter Baustoffe. Dazu gehören biobasierte Rohstoffe wie Massivholz oder Stroh aber auch klimaoptimierte mineralische Baustoffe wie zement- oder karbonreduzierte Zementprodukte.

Diese Ansätze werden bei einer Bilanzierung von CO₂e-Emissionen gemäss SIA Merkblatt 2032 (SIA, 2020) heute allerdings nur teilweise berücksichtigt:

- Lange Nutzungsdauer: Im SIA Merkblatt 2032 sind die theoretischen Amortisationsdauern von 20, 30 bzw. 60 Jahren massgebend. Wird ein Bauteil über diesen Zeitraum hinaus genutzt, findet dies keine Würdigung.
- Wiederverwendung von Bauteilen: Im SIA Merkblatt 2032 bleiben die bauteilspezifischen CO₂e-Emissionen massgebend, unabhängig davon, ob diese durch die vorangehende Nutzung bereits (teilweise) abgeschrieben sind.

Da auf heutigem Kenntnisstand eine CO₂e-emissionslose Gebäudeerstellung nicht möglich ist (Knüsel, 2022, S. 13), sind die verbleibenden CO₂e-Emissionen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels zu eliminieren oder zu kompensieren. Folgende Handlungsoptionen stehen dabei zu Verfügung (Knüsel, 2022, S. 7, 25):

- Erwerb von CO₂e-Zertifikaten (Emissionshandel)
- Negativemissionstechnologien (NET) für die Bauindustrie
- Verwendung von Baustoffen mit langfristiger CO₂e-Speicherung

Im Rahmen der Untersuchung wurde die letztgenannte Option näher betrachtet. Diese sieht vor, dass der Atmosphäre entzogener Kohlenstoff in Baustoffen eingelagert und ein Gebäude so zum CO₂e-(Zwischen-)Speicher wird. Die entsprechenden Bauteile bestehen

entweder aus Baustoffen, in denen biogener Kohlenstoff eingelagert wurde (z.B. Holz) oder aus Baustoffen, welche mittels chemischer Prozesse mit Kohlenstoff angereichert wurden (z.B. CO₂-angereichertes Betongranulat). Inwiefern derartige Negativemissionen im Rahmen einer Bilanzierung gutgeschrieben werden dürfen, ist wissenschaftlich allerdings umstritten. Zumal auch Effekte, die erst in den kommenden Jahrzehnten wirken, ihre Bedeutung haben. Handkehrum ist festzuhalten, dass die Einlagerung von biogenem Kohlenstoff grundsätzlich als temporär zu betrachten ist. So kann beispielsweise der in Holz eingelagerte Kohlenstoff am Ende des Gebäudelebenszyklus durch einen Verbrennungsprozess wieder in die Atmosphäre gelangen. Ein langfristiges Entfernen von Treibhausgasen aus der Atmosphäre ist auf diese Weise also nicht sichergestellt (Knüsel, 2022, S. 17). Bei einer Bilanzierung von CO_{2e}-Emissionen gemäss SIA-Merkblatt 2032 (SIA, 2020b) wird die Zwischenspeicherung von Kohlenstoff in Baumaterialien nicht berücksichtigt.

2.5.4 CO_{2e}-Emissionen des Bereichs Mobilität

Im Gegensatz zu den Bereichen Betrieb und Erstellung, für welche die CO_{2e}-Emissionen relativ präzise eingeschätzt werden können, sind die Emissionen der durch das Gebäude induzierten Mobilität schwer und nur basierend auf einer starken Verallgemeinerung zu prognostizieren.

Die entsprechenden CO_{2e}-Emissionen leiten sich dabei aus Schweizer Durchschnittswerten ab, welche mittels Korrekturfaktoren auf den jeweiligen Gebäudestandort angepasst werden. Dabei werden auch die durch die zugehörigen Infrastrukturen (Fahrzeuge, Strassen, Gleise) ausgelösten Emissionen berücksichtigt. Wenn Gebäudenutzer und deren Mobilitätsverhalten bekannt sind, können die Emissionen präziser eruiert werden. Bei dem im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Untersuchungsobjekt ist dies nicht der Fall.

Auch im Bereich Mobilität wird ein Projektvergleich ermöglicht, in dem die pro Person ermittelten CO_{2e}-Emissionen auf die Energiebezugsfläche A_E umgerechnet werden. Die entsprechende Umrechnung geschieht unter Annahme gesamtschweizerischer Durchschnittswerte für den Energiebezugsflächenbedarf pro Person (SIA, 2016, 2017).

2.6 Grundlagen der Projektbewertung mittels DCF-Methode

Bei der Discounted-Cash-Flow (DCF) Methode handelt es sich um eine dynamische Ertragswertmethode. Sie ermöglicht differenzierte und transparente Aussagen zu den Erträgen, Kosten und Risiken, welche sich durch ein Immobilienprojekt ergeben und eignet sich insbesondere für die Anwendung bei Liegenschaften mit veränderlichen Erträgen und Kosten (SVS, 2017, S. 64).

Der Methode liegt die Annahme zugrunde, dass der Marktwert einer Liegenschaft der Summe aller auf den Bewertungsstichtag diskontierten Geld Zu- und Abflüssen (Cashflows) der zukünftigen Zeitperioden entspricht. Dabei fällt insbesondere der Zeitwert des Geldes ins Gewicht, bei welchem davon ausgegangen wird, dass ein in der Zukunft ausbezahlter Geldbetrag auf den heutigen Zeitpunkt bezogen einen tieferen Wert hat. Dies aufgrund der Tatsache, dass ein heute ausbezahlter Geldbetrag bis zum Erreichen des in der Zukunft liegenden Zeitpunkts anderweitig und wertvermehrend angelegt werden kann. Da diese Möglichkeit der Wertvermehrung bei einem in Zukunft ausbezahltem Geldbetrag nicht besteht, sind die dadurch entgangenen Erträge (Opportunitätskosten) angemessen zu berücksichtigen. Mathematisch geschieht dies, indem sämtliche zukünftig anfallenden Beträge um den entgangenen Zins korrigiert werden. Der hierfür angewendete Diskontierungssatz berücksichtigt dabei auch sämtliche Chancen und Risiken, welche nicht bereits durch die zukünftigen Zahlungsflüsse explizit abgedeckt sind (SVKG, 2019, S. 158–165). Mathematisch ergibt sich der Wert einer Liegenschaft damit wie folgt:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

wobei gilt:

NPV =	Net Present Value
CF _t =	Cashflow (Nettoertrag) in Periode t
r =	Diskontierungssatz
T =	Laufzeit in Jahren

Da für die Abschätzung in ferner Zukunft liegenden Cashflows (CF) oft verlässliche Grundlagen fehlen ist deren effektive Höhe mit grossen Unsicherheiten behaftet. In der Praxis wird daher oft ein 2-Phasen Modell verwendet. Bei diesem werden die in der ersten Phase (häufig 10 Jahre) anfallenden CF explizit ermittelt und auf den Bewertungsstichtag abdiskontiert. Die abdiskontierten Werte werden als Barwerte bezeichnet und summiert.

Die CF der zweiten Phase (häufig alle dem 10. Jahr nachfolgenden Jahre) ergeben sich aus dem CF des ersten Jahres der Phase, welcher kapitalisiert wird. Die Vorgehensweise ist hier also mit einer Wertermittlung mittels Ertragswertverfahren vergleichbar. Der resultierende Residualwert wird auf den Bewertungsstichtag abdiskontiert und zu den Barwerten der ersten Phase addiert. Mathematisch lässt sich der Vorgang mit folgender Formel beschreiben:

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^T \frac{\text{CF}_t}{(1+r)^t} + \frac{\text{CF}_{T+1}}{i} \times \frac{1}{(1+r)^T}$$

wobei gilt:	NPV =	Net Present Value
	CF _t =	Cashflow (Nettoertrag) in Periode t
	r =	Diskontierungssatz
	i =	Kapitalisierungssatz
	T =	Laufzeit in Jahren

Unabhängig davon, ob ein 1-Phasen oder 2-Phasen Modell zur Anwendung kommt, ist auf eine klare Abgrenzung zwischen realer und nominaler Betrachtung zu achten. Bei einem nominalen Bewertungsansatz werden nominale (d.h. nicht inflationsbereinigte) CF mit einem nominalen Diskontierungssatz abgezinst. Bei einem realen Bewertungsansatz ist sowohl der Diskontierungssatz wie auch der Kapitalisierungssatz um das Teuerungsmass zu bereinigen.

3. Empirische Untersuchung

3.1 Methodisches Vorgehen

Die eingangs formulierten Fragestellungen wurden im Rahmen einer explorativen Fallstudie untersucht. Dabei wurden für eine bestehende Immobilie drei Erneuerungsstrategien formuliert, zwischen denen in der Praxis üblicherweise abgewogen wird, wenn die Immobilie das Ende ihres Lebenszyklus erreicht:

- Variante Sanierung: Sämtliche Bauteile der Technik, des Ausbaus und der Gebäudehülle werden ersetzt bzw. grunderneuert. Sofern regulatorisch vorgeschrieben, wird die Tragstruktur ertüchtigt (Erdbebensicherheit).
- Variante Verdichtung: Neben der Sanierung wird die Ausnutzung der Parzelle durch Erweiterung der Gebäudevolumetrie erhöht.
- Variante Ersatzneubau: Der Bestand wird abgebrochen und durch einen Neubau ersetzt.

Die drei Varianten wurden anhand eines Untersuchungsobjektes im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Auswirkungen untersucht und bewertet. Dazu wurden in einem ersten Schritt die CO₂e-Emissionen der drei Varianten in den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden die für den Marktwert einer Liegenschaft relevanten wirtschaftlichen Einflussfaktoren bestimmt. Als Drittes wurden die ermittelten Werte in einem für die Untersuchung erarbeiteten DCF-Bewertungsmodell zusammengeführt. Der Kontenplan des Modells zeichnet sich dabei dadurch aus, dass er neben den üblichen immobilienwirtschaftlichen Konten auch Konten für CO₂e-bedingte Kosten vorsieht. Letztere ergaben sich dabei bei jeder der Varianten aus den ermittelten CO₂e-Emissionen und deren Gewichtung mittels eines CO₂e-Kostenfaktors. Das Modell erlaubt dadurch die Berücksichtigung der durch die Projektvariante verursachten CO₂e-Emissionen. Letztere können im Modell sowohl als Emissionen wie auch Senken erfasst und vollständig oder auch nur teilweise berücksichtigt werden.

Parallel dazu wurde im Rahmen einer Grundlagenrecherche mögliche regulatorische Massnahmen identifiziert, welche zukünftig ergriffen werden könnten, um das Erreichen der in der langfristigen Klimastrategie der Schweiz formulierten Ziele sicherzustellen.

Mit dem Ziel, einen für die Fragestellungen relevanten Erkenntnisgewinn zu erlangen, wurden die drei Projektvarianten anschliessend unter Anwendung des erarbeiteten Modells bewertet. Dies unter Berücksichtigung der identifizierten Massnahmen von denen angenommen wurde, dass sie regulatorische Wirkung erlangen und daher von allen Projektvarianten gleichermassen zu berücksichtigen sind.

Zur Beurteilung der Ergebnisse wurden Rendite- und Rentabilitätskennzahlen gebildet und zwischen den Projektvarianten verglichen. Dabei wurde mit einer iterativen Zielwertsuche ermittelt, wie hoch der CO₂e-Kostenfaktor angesetzt werden muss, damit sich eine nach rein wirtschaftlichen Überlegungen agierende Eigentümerin im vorliegenden Fall für die Variante mit den geringsten CO₂e-Emissionen entscheidet.

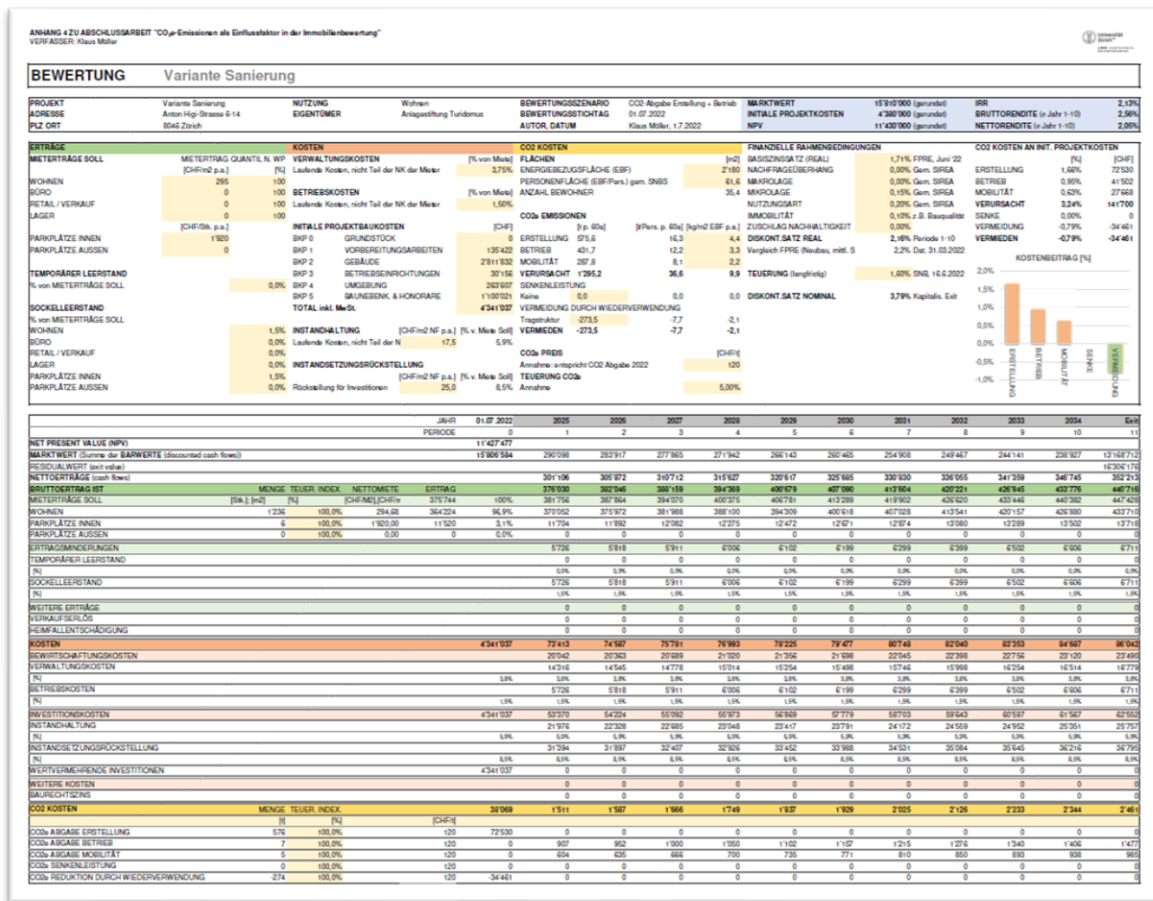


Abbildung 4: Erarbeitetes DCF-Bewertungsmodell

3.2 Untersuchungsobjekt

3.2.1 Auswahl

Für die Auswahl eines geeigneten Untersuchungsobjekts wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Renditelienshaft, idealerweise Mehrfamilienhaus
- Am Ende des Lebenszyklus und mit unmittelbarem Investitionsbedarf
- Fundierte planerische Variantenstudie mit Szenario Ersatzneubau vorhanden

Nach Anfrage verschiedener institutioneller Immobilieninvestoren konnte folgendes Objekt identifiziert werden, welches den Auswahlkriterien gut entspricht:

Gebäudekategorie:	Mehrfamilienhaus
Standort:	Stadt Zürich, Kreis 11
Baujahr:	1953, 1995 letztmals erneuert (Fenster, Küche/Bad)
Grösse:	Grundstück ca. 2'300m ² , mit 2 MFH bebaut
Zustand:	Gebäudehülle und -ausbau teilweise stark abgenutzt und erneuerungsbedürftig. Wärmedämmung und -erzeugung nicht mehr den heutigen Vorschriften entsprechend
Zone gem. BZO:	Zone W3
Ausnutzungsreserve:	Ca. 30% ohne Berücksichtigung des Dachgeschosses Ca. 55% mit Berücksichtigung des Dachgeschosses

Die Liegenschaft befindet sich im Eigentum der Schweizer Anlagestiftung Turidomus. Im Sinne der Vertraulichkeit wurden im Rahmen der Arbeit keine Angaben aus Bewertungen oder Mieterspiegeln übernommen. Die entsprechenden Kennzahlen wurden aus Marktangaben hergeleitet, welche auch Dritten zugänglich sind.

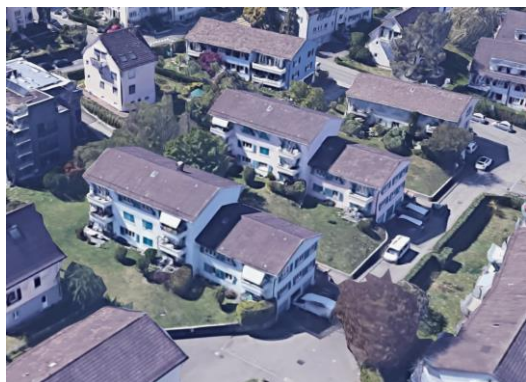


Abbildung 5:
Luftbild der Liegenschaft (Google Maps)



Abbildung 6:
Perimeter (Pensimo Management AG, 2020, S. 4)

3.2.2 Hintergrund und verfügbare Unterlagen

Vor dem Hintergrund des offensichtlichen Investitionsbedarfs hatte die Eigentümerin 2019 eine Potentialstudie erstellen lassen, welche das Ausnutzungspotential aufzeigt (planzeit GmbH, 2019), Ergebnis siehe oben. Darauf basierend wurde im Rahmen einer weiteren Studie abgeschätzt, wie sich die strategischen Entscheide Gesamterneuerung, zehn Jahre Weiterbetrieb und dann Ersatzneubau und umgehender Ersatzneubau auf die Energie- und Klimabilanz auswirken würden (durable Planung und Beratung GmbH, 2020). Der Bericht wies den Varianten Gesamterneuerung und Ersatzneubau bei einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren in Bezug Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen eine Gleichwertigkeit aus. Die Eigentümerin entschloss sich in der Folge zu einem Ersatzneubau und führte für dessen Projektierung einen Studienauftrag durch.

Ergänzend zu den erwähnten Studien standen für die empirische Untersuchung folgende Unterlagen zu Verfügung:

- Aktuelle Bewertung, Stichtag 1.1.2022 (Wüest Partner AG, 2022)
- Gebäudezustandsbericht (Meier + Steinauer Partner AG, 2016)
- Vermasste Pläne Bestand (Seitzmeier Verwaltungs AG, 1994)
- Pläne Bestand mit Flächenangaben (Regimo Zürich AG, 2005)
- Studienauftrag Anton-Higi-Strasse, Bericht des Beurteilungsgremiums (Pensimo Management AG, 2020)
- Planstand Baueingabe (Projekt gemäss Studienauftrag) (Chebbi Thomet Bucher Architektinnen AG & BGS & Partner Architekten AG, 2021)
- Aktualisierte Energie- & Treibhausgasbilanz (Lemon Consult AG, 2021)



Abbildung 7: Siegerprojekt Studienauftrag (Pensimo Management AG, 2020)

3.2.3 Bautechnische Annahmen zu den Projektvarianten

Als mögliche Zukunftsszenarien wurden drei Projektvarianten entwickelt, welche auf folgenden Grundlagen und Annahmen beruhen:

	SANIERUNG	VERDICHTUNG	ERSATZNEUBAU
Projektbasis	Vorschlag des Autors	Vorschlag des Autors	Effektiv geplantes Projekt
Gebäudevolumen	Keine Erweiterung	Teilweise Aufstockung	Gemäss Projekt Baueingabe
Gebäudehülle	Vollständig erneuert: - AWD verputzt - Neue Fenster & Storen - Bestehendes Schrägdach gedämmt	Vollständig erneuert - AWD verputzt - Neue Fenster & Storen - Neue Aufstockung	Holzverkleidung hinterlüftet
Tragstruktur	Teilweise ertüchtigt (Erdbebensicherheit)	Teilweise ertüchtigt (Erdbebensicherheit) Aufstockung in Holzbau	Holz-/Hybird-Bauweise: - Decken Stahlbeton - Wände & Fassaden als Holzelementbau
Innenausbau	Grundlegend erneuert: - UB nicht ersetzt - Decke gegen UG gedämmt - Ausbau erneuert	Grundlegend erneuert: - UB nicht ersetzt - Decke gegen UG gedämmt - Ausbau erneuert	Vollständig neu
HLKS	Ersatz Wärmeanlage (Erdwärmepumpe inkl. Verteilung), Keine Lüftung	Ersatz Wärmeanlage (Erdwärmepumpe inkl. Verteilung), Keine Lüftung	Erdwärmepumpe Abluft mit Wärmerückgewinnung (Keine kontrollierte Wohnlüftung)
Elektro	Ersatz Elektroanlage inkl. Verteilung, PV Anlage 150m2 (Annahme)	Ersatz Elektroanlage inkl. Verteilung, PV Anlage 150m2 (Annahme)	PV Anlage 233m2 (gemäss Plan Baueingabe)

Tabelle 1: Übersicht über die drei festgelegten Projektvarianten

Bei der Projektvariante Verdichtung wurde im Sinne einer Arbeitshypothese davon ausgegangen, dass die in der Höhe versetzte Gebäudevolumetrie im niedrigeren Bereich um ein Geschoss ergänzt werden kann. Dadurch wird eine Vergrösserung der oberirdischen Geschossfläche um 10,9% und folglich auch eine leichte Erhöhung der Grundstücksausnutzung erreicht. Die technische und baurechtliche Machbarkeit einer entsprechenden Verdichtung wurde nicht vertieft geprüft.

3.2.4 Ermittlung der projektspezifischen Volumen- & Flächenkennzahlen

Die Volumen- und Flächenkennzahlen der drei Projektvarianten wurden gemäss Vorgaben der Norm SIA 416 (SIA, 2003) und auf folgenden Grundlagen ermittelt:

	SANIERUNG	VERDICHUNG	ERSATZNEUBAU
Plangrundlagen	Vermasste Pläne Bestand	Vermasste Pläne Bestand	Planstand Baueingabe
Basis für Mengengerüst	Ausmass Pläne Bestand	Ausmass Pläne Bestand, Flächen der Aufstockung aus Mengengerüst Bestand abgeleitet	Ausmass Baueingabepläne

Tabelle 2: Verwendete Plangrundlagen

3.3 Ermittlung der CO₂e-Emissionen

Für die Abschätzung der CO₂e-Emissionen wurde die Rechenhilfe Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie (SIA, 2022) verwendet (Version v2-5, letztes Update: 15.9.2021). Diese greift auf die Ökobilanzdaten zurück, welche von KBOB, ecobau und IPB für den Baubereich herausgegeben werden (KBOB, 2022). Die Liste der Ökobilanzdaten wurde im Frühjahr 2022 aktualisiert publiziert. Zum Zeitpunkt der empirischen Untersuchung stand allerdings noch keine aktualisierte Version des Tools zu Verfügung, die den Zugriff auf diesen neusten Datenstand erlaubt hätte. Bei der verwendeten Version der Rechenhilfe sind die Ökobilanzdaten von 2016 hinterlegt.

Da die Norm SIA 380 eine thermische Energiebilanzierung über die thermische Gebäudehülle vorsieht, gilt es, deren Verlauf zu bestimmen. Gemäss SIA umschliesst die thermische Gebäudehülle sämtliche konditionierten Räume. Die Energiebezugsfläche ist in der Folge die Summe aller innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegenden Geschossflächen für die eine Konditionierung notwendig ist (SIA, 2015, S. 8). Die entsprechenden Flächen wurden aus den vorhandenen Plangrundlagen ermittelt. Bis in das Untergeschoss geführte Treppenhäuser wurden dabei der Energiebezugsfläche zugeordnet. Die umgebenden Kellerräume wurden als nicht konditionierte Räume betrachtet.

Das verwendete SIA Tool ermittelt die CO₂e-Emissionen für die drei Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität und weist diese pro Quadratmeter Energiebezugsfläche aus. Die Ergebnisse werden nachfolgend pro Bereich präsentiert.

3.3.1 CO₂e-Emissionen des Bereichs Erstellung

Bei der Ermittlung der CO₂e-Emissionen des Bereichs Erstellung wurden bezüglich der Materialisierung und der technischen Ausrüstung der Varianten die Annahmen gemäss Tabelle 1 getroffen. Bei der Projektvariante Verdichtung wurde entsprechend den Vorgaben des SIA Merkblatt 2032 Graue Energie (SIA, 2020) das zusätzliche Geschoss (teilweise Aufstockung) als Neubau betrachtet.

Die durch die Rechenhilfe ermittelten Treibhausgasemissionen werden als CO₂-Äquivalente in Kilogramm pro Quadratmeter Energiebezugsfläche pro Jahr ausgewiesen. Die Energiebezugsfläche umfasst dabei erhaltene Strukturen (Bestand) wie auch deren Ergänzungen (Aufstockung) oder deren Ersatz (Neubau).

Ein Vergleich der drei untersuchten Projektvarianten ergibt folgendes Bild:

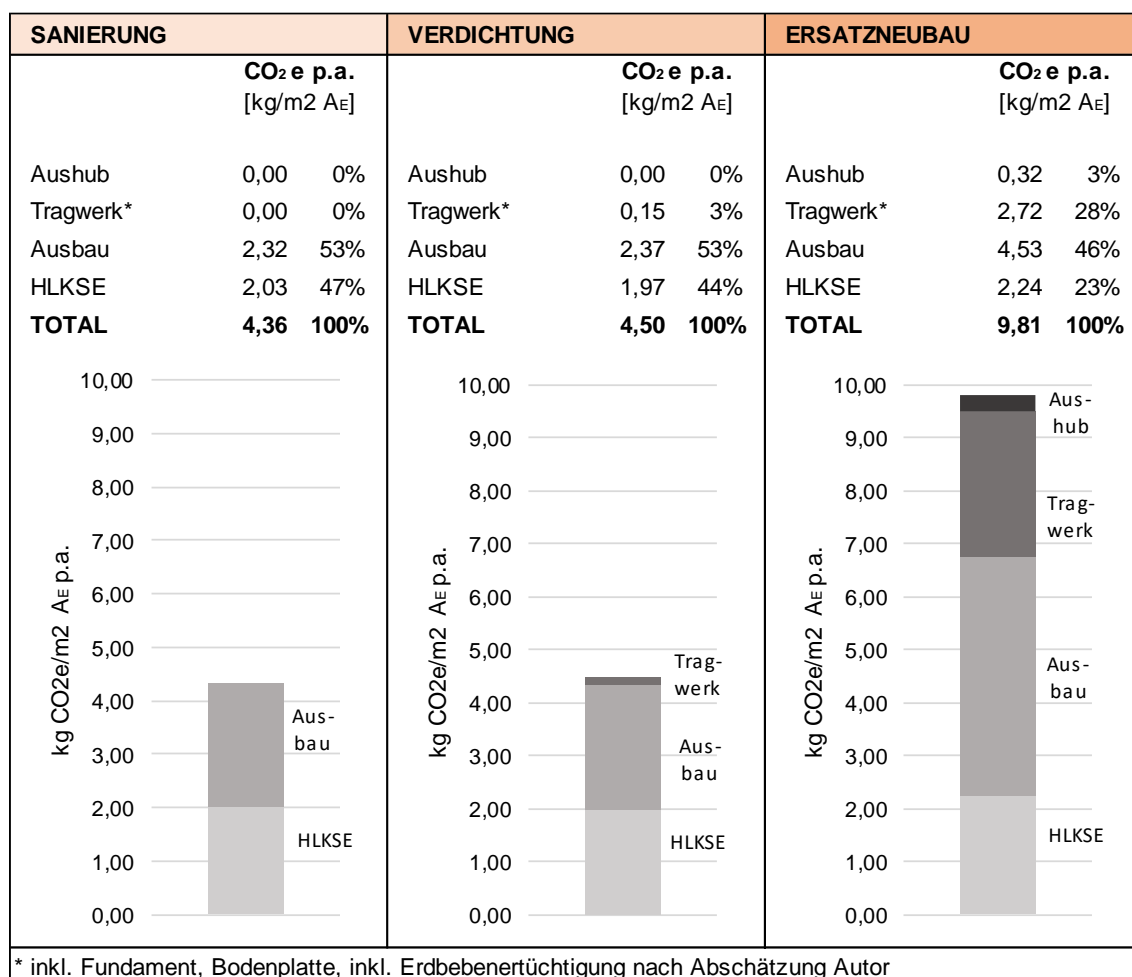


Tabelle 3: CO₂e-Emissionen des Bereichs Erstellung im Vergleich

Eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse findet sich im Anhang dieser Arbeit.

3.3.2 CO₂e-Emissionen des Bereichs Betrieb

Auch die Abschätzung der betrieblichen CO₂e-Emissionen erfolgte mit der Rechenhilfe Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie (SIA, 2022). In Bezug auf die Energieversorgung wurde dabei die Annahme getroffen, dass ein Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz nicht möglich ist. Der Entscheid erfolgte nach Einsicht in den seitens Stadt Zürich online zu Verfügung gestellten GIS-Plan, welcher die Verfügbarkeit thermischer Netze aufzeigt (EnerGIS, 2022):

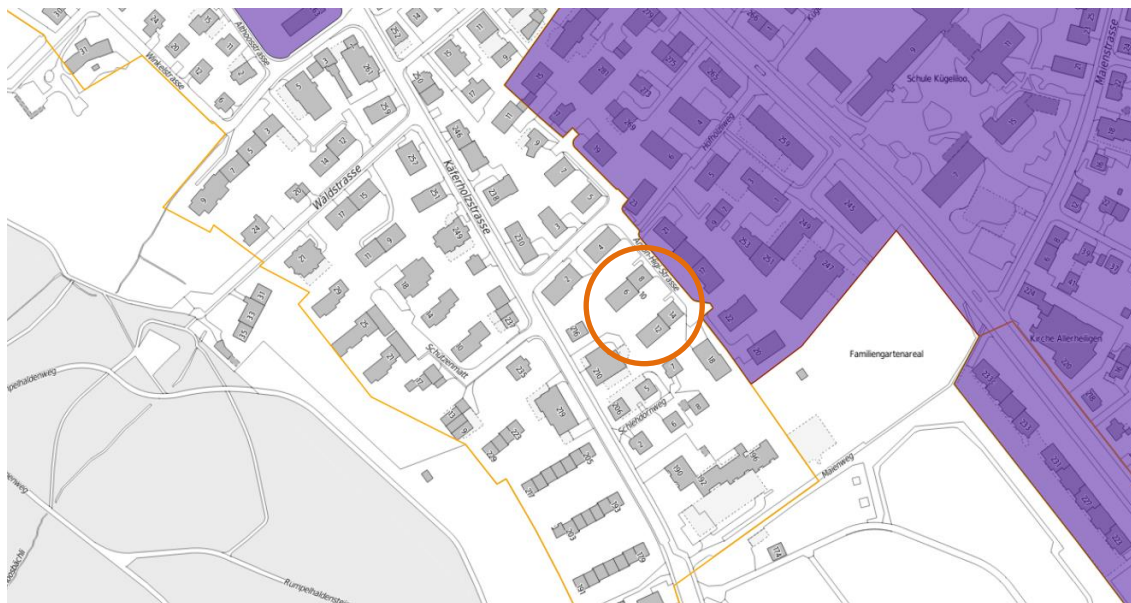


Abbildung 8: Ausschnitt online Karte EnerGIS (EnerGIS, 2022). Anmerkung: Bestehende Fernwärme-Gebiete sind violett dargestellt. Das Untersuchungsobjekt liegt ausserhalb dieses Bereichs.

In der Folge wurde die Annahme getroffen, dass die Energieversorgung in allen Varianten mittels Erdwärmesonde erfolgt, da diese in Kombination mit einer PV Anlage dem Stand der Technik entspricht und in der Stadt Zürich im Regelfall bewilligungsfähig ist.

Weiter wurde davon ausgegangen, dass der Eigentümer seine Mieter in keiner der Varianten dazu verpflichtet wird, ein nach ökologischen Gesichtspunkten zertifiziertes Stromprodukt zu beziehen und er selbst auch für den durch ihn zu tragenden Anteil am Allgemeinstrom darauf verzichtet. Die elektrischen Verbraucher (Beleuchtung und Geräte) wurden als neu und effizient angenommen.

Die Rechenhilfe bietet die Möglichkeit, die Einschätzung des Heizwärmebedarfs auf die effektiven Projekteigenschaften abzustimmen, wovon im Rahmen der Untersuchung Gebrauch gemacht wurde. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die sanierten Gebäudehüllen der Varianten Sanierung und Verdichtung den Grenzwert SIA 380/1 einhalten (Standard Minergie). Da für den Ersatzneubau ein Minergie-P Standard

angestrebt wird, wurde hier der Wärmestandard auf 70% des Grenzwertes festgesetzt. Die effektiven Gebäudehüllzahlen wurden für alle drei Varianten berechnet und bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs berücksichtigt.

Bei der Projektvariante Ersatzneubau wurde davon ausgegangen, dass eine Abluftanlage vorgesehen wird. Eine solche eröffnet die Möglichkeit, die Abwärme aus der Raumluft anderweitig zu verwenden. Es wurde die Annahme getroffen, dass ein entsprechender Wärmetauscher vorgesehen wird und die rückgewonnene Energie 40% des Warmwasser Wärmebedarfs deckt. Da für die Projektvarianten Sanierung und Verdichtung kein Einbau einer Abluft- oder Lüftungsanlage vorgesehen ist, steht hier eine entsprechende Abwärmenutzung nicht zur Diskussion.

Obige Annahmen wurden mit dem projektbegleitenden Bauphysiker besprochen und konnten von diesem als plausible Planungsannahmen bestätigt werden.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass ein Ersatzneubau aufgrund seines höheren Wärmedämmstandards (Minergie-P) pro Quadratmeter Energiebezugsfläche deutlich weniger CO₂e-Emissionen verursachen würde.

SANIERUNG		VERDICHTUNG		ERSATZNEUBAU	
	CO₂ e p.a. [kg/m ² A _E]		CO₂ e p.a. [kg/m ² A _E]		CO₂ e p.a. [kg/m ² A _E]
TOTAL	3,30 100%	TOTAL	3,30 100%	TOTAL	1,90 100%
Ausgewählte Kennzahlen:		Ausgewählte Kennzahlen:		Ausgewählte Kennzahlen:	
Heizwärmebedarf: 49 kWh/m ² A _E		Heizwärmebedarf 46 kWh/m ² A _E		Heizwärmebedarf 21 kWh/m ² A _E	
Abwärmenutz. Warmwasser: 0%		Abwärmenutz. Warmwasser: 0%		Abwärmenutz. Warmwasser: 40%	

Tabelle 4: CO₂e-Emissionen des Bereichs Betrieb im Vergleich

3.3.3 CO₂e-Emissionen des Bereichs Mobilität

Die CO₂e-Emissionen aufgrund der durch das Gebäude induzierten Mobilität wurde und unter Annahme folgender Rahmenbedingungen ermittelt:

ÖV-Güteklasse:	A	(Bedingt durch Standort Zürich)
Distanz zu Detailhandel:	250m	(Ermittelt via Google Maps)
Distanz zu Mobility Standort:	600m	(Ermittelt via Google Maps)
Naherholungsintensität:	mittel	(Annahme des Autors)
Anzahl ÖV-Abos/Bewohner:	0,27	(im Tool vorgeschlagener CH-Mittelwert)
Höhe Haushaltseinkommen:	mittel	(Annahme des Autors)

Folgende Eingabeparameter wurden für die drei Projektvarianten spezifisch ermittelt:

Anzahl PKW PP / Wohnung:	Anzahl PKW PP gemäss Plan / Anzahl Wohnungen
Anzahl PKW / Bewohner:	Anzahl PKW PP / Anzahl Bewohner

Da die effektive Anzahl an zukünftigen Bewohnern vor Vermietung nicht bekannt ist, wurde diese mit der Anwendungshilfe zur Ermittlung der Nutzungsdichte berechnet, welche seitens SNBS zu Verfügung gestellt wird (Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS), 2022). Die Anwendungshilfe berücksichtigt dabei den Umstand, dass Wohnungen mit weniger Zimmern in Relation zu ihrer Zimmeranzahl von mehr Bewohnern genutzt werden.

Die für die drei Projektvarianten resultierenden CO₂e-Emissionen des Bereichs Mobilität unterscheiden sich in ihrer Grösse nur geringfügig. Die Variante Verdichtung schneidet im Vergleich zur Variante Sanierung leicht besser ab, da sie bei gleichbleibender PKW Parkplatzanzahl zwei zusätzliche Wohnungen (Verdichtung) bietet. Entsprechend stehen pro Haushalt und pro Bewohner weniger Parkplätze zu Verfügung.

SANIERUNG		VERDICHUNG		ERSATZNEUBAU	
	CO ₂ e p.a. [kg/m ² A€]		CO ₂ e p.a. [kg/m ² A€]		CO ₂ e p.a. [kg/m ² A€]
TOTAL	2,20 100%	TOTAL	2,10 100%	TOTAL	2,40 100%
Ausgewählte Kennzahlen:		Ausgewählte Kennzahlen:		Ausgewählte Kennzahlen:	
PP / Wohnung	0,38	PP / Wohnung	0,33	PP / Wohnung	0,58
PKW / Bewohner	0,17	PKW / Bewohner	0,15	PKW / Bewohner	0,24

Tabelle 5: CO₂e-Emissionen des Bereichs Mobilität im Vergleich

3.3.4 CO₂-Speicherung in Beton

Für die Projektvariante Ersatzneubau wurde die CO₂-Menge abgeschätzt, die durch den Einsatz eines CO₂-angereicherten Betons langfristig gespeichert werden könnte. Dabei wurden die durch den Anbieter Neustark publizierten Angaben verwendet (*Neustark - Beton mit Klimaziel, 2022*). Die Kubaturen wurden auf Basis der Baueingabepläne und unter folgenden Annahmen ermittelt:

- Wohnungstrennwände, Kelleraussenwände & Fluchttreppenhäuser in Stahlbeton
- Deckenstärken: 26cm
- Stärke Bodenplatte: 35cm
- Durchschnittliche Wandstärke: 20cm

Der Volumenteil von Stahlarmierungen und Einlagen wurde bei der Mengenermittlung als vernachlässigbar betrachtet. Die resultierende Menge von rund 52 Tonnen CO₂ ergibt sich wie folgt:

ERSATZNEUBAU				
Ermittlung Betonvolumen				
Decken:	d [m]	[m2]		[m3]
3.OG	0,26	602		156
2.OG	0,26	771		200
1.OG	0,26	771		200
EG	0,26	771		200
UG	0,26	1'057		275
Bodenpla	0,35	1'057		370
Total				1'402
Wände:	h [m]	l [m]	d [m]	[m3]
3.OG	2,95	86	0,2	51
2.OG	2,72	107	0,2	58
1.OG	2,55	107	0,2	55
EG	2,55	107	0,2	55
UG	2,72	192	0,2	104
Total				322
Gesamtvolumen Beton				1'724
Baustoff-Kennzahlen				
CO ₂ -Speichervermögen		10 kg/m ³		Produkt Neustark ggü. Standardbeton
CO ₂ -Verhinderung bei Produktion		20 kg/m ³		Produkt Neustark ggü. Standardbeton
CO₂-Potential Total		30 kg/m³		
Mehrpreis ggü. Standardbeton		17,2 CHF/m³		Einheitspreis gem. Referenzprojekt
Resultierende Senkenleistung und Mehrkosten Bau				
Gespeicherte CO₂-Menge ca.		51,7 t CO₂ e		
Mehrkosten Bau ca.		29'700 CHF		gerundet

Tabelle 6: Langfristig in Beton gespeicherte CO₂-Menge

3.3.5 CO₂e-Vermeidung durch Wiederverwendung

Bei den Projektvarianten Sanierung und Verdichtung wird auf den Abbruch der bestehenden (und gemäss einer CO₂e-Bilanzierung nach SIA bereits vollständig amortisierten) Tragstruktur verzichtet. Durch deren Wiederverwendung kann die Entstehung erheblicher CO₂e-Emissionen vermieden werden.

Die Betonkubatur der Tragstruktur wurde auf Basis der Pläne des Bestands und unter folgenden Annahmen ermittelt:

- Kelleraussenwände und Haustrennwand in Stahlbeton
- Deckenstärken: 20cm (reduziert, da Altbau)
- Stärke Bodenplatte: 25cm (reduziert, da Altbau)
- Durchschnittliche Wandstärke: 20cm
- Durchschnittlicher Armierungsgehalt: 100kg/m³

Der Volumenteil von Stahlarmierungen und Einlagen wurde bei der Mengenermittlung als vernachlässigbar betrachtet. Gesamthaft können 274 Tonnen CO₂e-Emissionen vermieden werden.

SANIERUNG / VERDICHTUNG				
Ermittlung Betonvolumen				
Decken:	d [m]	[m²]		[m³]
2.OG	0,2	362		72
1.OG	0,2	598		120
EG	0,2	598		120
UG	0,2	598		120
Bodenpla	0,25	598		150
Total				581
Wände:	h [m]	l [m]	d [m]	[m³]
2.OG	2,52	20	0,2	10
1.OG	2,52	20	0,2	10
EG	2,52	20	0,2	10
UG	2,52	200	0,2	101
Total				131
Gesamtvolumen Beton				712
Baustoff-Kennzahlen				
Relative Dichte Beton		2'300 kg/m ³		Gemäss Ökobilanzdaten KBOB
Spezifische CO ₂ e-Emissionen Beton		0,101 kg CO ₂ e/kg		Gemäss Ökobilanzdaten KBOB
Armierungsgehalt		100 kg/m ³		Erfahrungswert
Spezifische CO ₂ e-Emissionen Stahl		1,520 kg CO ₂ e/kg		Gemäss Ökobilanzdaten KBOB
CO₂e-Emissionen Stahlbeton		384 kg CO₂ e/m³		
Vermiedene CO ₂ e-Emissionen				
Total				273,5 t CO₂ e

Tabelle 7: Durch Wiederverwendung der Tragstruktur vermiedene CO₂e-Emissionen

3.3.6 Erarbeitetes Bewertungsmodell

Als Grundlage für die vorliegende empirische Untersuchung wurde ein 2-phasiges DCF-Modell erarbeitet, welches neben den üblichen Immobilienkosten und -erträgen auch die Berücksichtigung geldgewichteter CO₂e-Emissionen erlaubt. Dafür wurde der seitens SVS vorgeschlagene Kontorahmen (vgl. SVS, 2017, S. 95) um Konten für CO₂e-bedingte Erträge und Kosten erweitert. Die erste Phase erstreckt sich über die ersten 10 Jahre nach Projektfertigstellung und erfasst nominale Geldflüsse und Zinsen. Die zweite Phase umfasst sämtliche anschliessenden Jahre und einen zeitlich unbegrenzten Betrachtungshorizont. Die Ermittlung der CF erfolgt hier nach realen Gesichtspunkten.

Die CO₂e-Emissionen der untersuchten Varianten fallen entlang ihres ganzen zukünftigen Lebenszyklus an. In dem erarbeiteten Bewertungsmodell wird diesem Umstand Rechnung getragen, indem die entsprechenden CO₂e-Emissionen erst zum Zeitpunkt ihrer Entstehung kostenwirksam werden. CO₂e-Abgaben für die Emissionen aus dem Bereich Erstellung fallen zeitgleich mit den Planungs- & Baukosten an. Die Gesamtheit dieser Kosten wird im Modell unter dem Begriff Initiale Projektkosten (IPK) summiert. Die auf die Bereiche Betrieb und Mobilität bezogenen CO₂e-Abgaben fallen jährlich und zeitlich unbegrenzt an.

Die Eingabeparameter, welche bei der Bewertung der drei Projektvarianten verwendet wurden, werden nachfolgend eingehend erläutert. Werden dabei keine expliziten Quellen genannt, wurden Annahmen getroffen, die auf einer Besprechung mit dem für das Untersuchungsobjekt zuständigen Bewerter der Wüest Partner AG beruhen.

3.3.7 Rendite- und Rentabilitätskennzahlen

Bei der Beurteilung von Projekten wird in der Praxis unter anderem auf die Brutto- und Nettorenditen derselben abgestützt. Diese definiert der Swiss Valuation Standard wie folgt (SVS, 2017, S. 103):

$$\text{Bruttorendite} = \frac{\text{Bruttoertrag (Soll) per Stichtag}}{\text{Wert ohne Erwerbsnebenkosten}} \times 100$$

$$\text{Nettorendite} = \frac{\text{Nettoertrag annualisiert per Stichtag}}{\text{Wert zzgl. Erwerbsnebenkosten}} \times 100$$

Die entsprechenden jährlichen Renditen wurden für die Jahre 1 bis 10 einzeln ermittelt und im Anschluss deren arithmetisches Mittel als Vergleichsgrösse verwendet. Als Wert

wurde dabei der Marktwert angenommen. Da dieser für die Jahre 2 bis 10 noch nicht bekannt ist, wird vereinfachend der Marktwert von Jahr 1 verwendet. Da sich die Liegenschaft bereits im Eigentum des Investors befindet, fallen keine Erwerbsnebenkosten an.

Um die mittlere, jährliche Rentabilität der Kapitalanlage zu beurteilen, wurde ferner der interne Zinssatz (Internal Rate of Return, IRR) ermittelt. Dieser entspricht dem Diskontierungssatz, bei welchem ein NPV von Null resultieren würde und stellt damit jenen Zinssatz dar, zu welchem der investierte Kapitalwert über den betrachteten (hier unendlichen) Zeitraum jährlich verzinst wird.

$$\text{NPV} = 0 = \sum_{t=1}^T \frac{\text{CF}_t}{(1+\text{IRR})^t}$$

wobei gilt:

- NPV = Net Present Value
- CF_t = Cashflow (Nettoertrag) in Periode t
- IRR = Internal Rate of Return
- T = Laufzeit in Jahren

Werden alle anderen Aspekte ausgeblendet, kann eine Investition als sinnvoll erachtet werden, wenn ihr IRR über der Diskontierungsrate liegt (Wilding, 2021, S. 28). Werden unterschiedliche Investitionen verglichen, ist jene mit dem höheren IRR vorteilhafter.

Oben erwähnte Renditekennzahlen setzen die zukünftigen Nettoerträge in Bezug zum Marktwert beziehungsweise zum NPV. Da sie den Wert der heutigen Liegenschaft dabei ausser Acht lassen, sind sie für eine Aussage über die wirtschaftliche Attraktivität der einzelnen Projektvarianten nur bedingt interessant. Vor diesem Hintergrund kommt dem NPV besondere Bedeutung zu. In Bezug auf diesen ist folgende Entscheidungsregel von Bedeutung:

„Bei einem Investitionsprojekt: Investiere in das Projekt, wenn ein positiver NPV resultiert. Bei mehreren Projekten: Investiere in das Projekt mit dem höheren NPV.“
(Wilding, 2021, S. 27)

3.4 Erträge

3.4.1 Mieterträge

Die zukünftigen Mieterträge wurden auf Basis der FPPE Marktdaten für das 2. Quartal 2022 geschätzt (FPPE, 2022a). Diese weisen für die Stadt Zürich, Quartier Affoltern für den Bereich Wohnen (Neubau) Nettomieten von 357.- CHF/m² p.a. (1.5-Zimmer Wohnung) bis 298.- CHF/m² p.a. (4.5-Zimmer Wohnung) aus. Bei der Herleitung der projektspezifischen Mietpreise wurden folgende Annahmen getroffen:

- Varianten Sanierung & Verdichtung: 20.- CHF/m² Reduktion aufgrund demodierter Grundrisse
- Variante Ersatzneubau: 20.- CHF/m² Zuschlag aufgrund grosszügiger Aussenräume, effizienter und räumlich hochwertiger Grundrisse, tieferer Mietnebenkosten²
- Mietpreise 3 Zimmer-Wohnung: Mittelwert der Mietpreise von 3.5- und 2.5-Zimmer Wohnungen

Die Mietpreise wurden pro Wohnungstyp (nach Zimmeranzahl) berechnet (vgl. auch Übersicht Marktdaten im Anhang). Zur Übernahme in das DCF-Modell wurde daraus ein flächengewichteter Mittelwert gebildet. Dieser liegt für die Varianten Sanierung und Verdichtung bei 295.- CHF/m² p.a. und bei der Variante Ersatzneubau bei 334.- CHF/m² p.a. Die angegebenen Mieten verstehen sich als „netto“, das heisst, sie beinhalten keine durch den Mieter zu tragende Nebenkosten.

Für die Parkplätze wurden monatliche Mietpreise von 160.- CHF/Stück angenommen.

3.4.2 Ertragsminderungen

Gemäss der verwendeten Marktdaten (FPPE, 2022a) betrug die Leerstandsquote in der Stadt Zürich im Jahr 2021 sehr tiefe 0,17%. Für das Quartier Affoltern weisen die Daten einen noch niedrigeren Wert von 0,07% aus. Es wurde daher davon ausgegangen, dass die Wohnungen in allen Projektvarianten direkt nach Fertigstellung vermietet werden und sich ein langfristiger Sockelleerstand von 1,5% einstellen wird.

² Durch den deutlich höheren Wärmedämmstandard des Neubaus ist im Vergleich zu den Projektvarianten mit tieferen Mietnebenkosten zu rechnen. Es wurde davon ausgegangen, dass der Mieter in Bezug auf den Mietpreis eine entsprechend höhere Zahlungsbereitschaft hat.

3.5 Aufwände

3.5.1 Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen sämtliche vom Eigentümer zu tragende Kosten, sofern diese nicht aufgrund der Mietverträge auf die Mieter überwältzt werden können (SVS, 2017, S. 95). Dazu gehören unter anderem die Kosten für die Hauswartung, Versicherungen, Allgemeinstrom, Wasser-/Abwassergebühren, Entsorgung, objektspezifische Steuern und die Verwaltung. Da bei Renditeliegenschaften die Kosten für die Liegenschaftsverwaltung im Regelfall den grössten Anteil an den Betriebskosten darstellen, wurden diese im DCF-Modell aus den Betriebskosten herausgelöst und separat erfasst (siehe unten). Die verbleibenden Kosten wurden mit 1,5% der Mieterträge SOLL (Mieten vor Abzug von Ertragsminderungen) angenommen.

3.5.2 Verwaltungskosten

In Bezug auf die Kosten für die Liegenschaftsverwaltung wurde davon ausgegangen, dass diese 3,75% der Mieterträge SOLL (Mieten vor Abzug von Ertragsminderungen) betragen.

3.5.3 Instandhaltungskosten

Instandhaltungsaufwände stellen den Erhalt der Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes sicher. Es handelt sich um einfache Massnahmen zur Behebung von Schäden oder den Ersatz defekter Geräte (SVS, 2017, S. 96). Es wird angenommen, dass sich die entsprechenden Kosten bei der Variante Ersatzneubau auf jährlich 15.- CHF pro Quadratmeter vermietbarer Nutzfläche belaufen. Da die Varianten Sanierung und Verdichtung in Teilen über eine ältere Bausubstanz verfügen, wird hier der entsprechende Betrag um 2,50 CHF erhöht. Bezogen auf Mieterträge SOLL zu Beginn des Betrachtungszeitraums betragen die resultierenden Kosten 5,9% (Sanierung und Verdichtung) beziehungsweise 4,5% (Ersatzneubau).

3.5.4 Instandsetzungsrückstellungen

Im Gegensatz zu Instandhaltungskosten handelt es sich bei Instandsetzungskosten um wertvermehrnde Investitionen. Sie kompensieren die Altersentwertung des Gebäudes am Ende seines Lebenszyklus (oder des Lebenszyklus einzelner Bauteile). Die entsprechenden baulichen Massnahmen zeichnen sich üblicherweise durch eine grosse Eingriffstiefe und ihren Projektcharakter aus. Sie werden daher als Einzelmassnahmen budgetiert (SVS, 2017, S. 95–96). Da die drei untersuchten Projektvarianten alle einen neuen Lebenszyklus begründen, ist nicht damit zu rechnen, dass innerhalb der ersten

Phase des DCF-Modells (10 Jahre) bereits Erneuerungsmassnahmen notwendig werden. Anstelle der Budgetierung expliziter Instandsetzungsmassnahmen wurden im DCF-Modell jährliche Rückstellungen vorgesehen. Diese basieren auf der Annahme, dass der pro Quadratmeter vermietbarer Nutzfläche benötigte Rückstellungsbetrag 25.- CHF beträgt. Dies entspricht 8,5% (Sanierung und Verdichtung) beziehungsweise 7,5% (Ersatzneubau) der Mieterträge SOLL zu Beginn des Betrachtungszeitraums.

3.5.5 Planungs- und Baukosten

In der Schweizer Immobilien- und Bauwirtschaft erfolgt die Baukostenplanung üblicherweise nach den Normen und Standards der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung CRB. Diese sehen abgestimmt auf die SIA Verständigungsnorm 112 Modell Bauplanung (SIA, 2014) verschiedene Möglichkeiten der Kostengliederung vor.

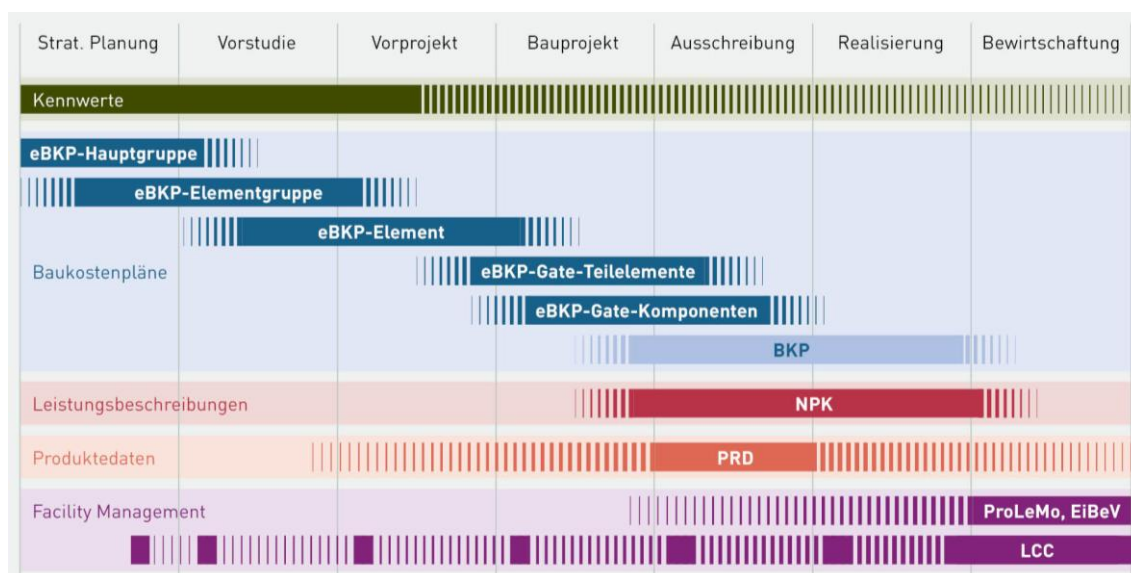


Abbildung 9: Systematik der Kostengliederungen nach CRB (CRB, 2022b)

Während der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten SIA Phase Vorstudie werden Baukostenpläne nach eBKP-Elementgruppe oder eBKP-Element erstellt, wobei für die Kostengrobschätzung eine Baukostenstrukturierung nach eBKP-Elementgruppen im Vordergrund steht (CRB, 2022a). Dabei werden die Kosten pro Elementgruppe (beispielsweise G 1 Trennwand/Tür, G 2 Bodenbelag, G 3 Wandbekleidung) erfasst. Die Kosten ergeben sich durch Multiplikation der entsprechenden Elementmenge mit entsprechenden Kostenkennzahlen.

Alternativ können die Baukosten auch über Kennwerte abgeschätzt werden. Dabei werden bereits realisierte Projekte gleicher Bauart und Nutzung als Vergleichsgrösse herangezogen. Die Abschätzung der Baukosten kann dabei über Volumen- oder

Flächenkennwerte nach Norm SIA 416 (SIA, 2003) erfolgen, sofern die Baukosten der Vergleichsprojekte entsprechend strukturiert und mit den Volumen- und Flächenkennwerte nach SIA in Bezug gesetzt wurden. Für die Ermittlung der Planungskosten kann nach dem gleichen Prinzip vorgegangen werden.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Baukosten der drei Projektvarianten aus Kennwerten realisierter, vergleichbarer Projekte abgeleitet. Diese stammen aus der Datenbank von Losinger Marazzi, der Arbeitgeberin des Autors. Die Herleitung der Kennwerte kann aus Vertraulichkeitsgründen nicht offengelegt werden. Die Kosten der Umgebung wurden entsprechend einer Kostenermittlung nach eBKP über Elementgruppenflächen abgeschätzt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass bei allen Varianten 30% der unbebauten Grundstücksflächen versiegelt und 70% begrünt werden. Die Baunebenkosten, Honorare und Reserve wurden auf Basis der Baukosten prozentual ermittelt. Basierend auf den Erkenntnissen, die sich aus einem Kennwertevergleich der Referenzprojekte ergeben, wurde die Reserve bei den Varianten Sanierung und Verdichtung gegenüber der Variante Ersatzneubau um 3% erhöht (Umbaurisiko). Auch die Honorare wurden leicht höher angesetzt, da tiefere Gesamtbaukosten erfahrungsgemäss zu höheren Honoraranteilen führen.

ERSATZNEUBAU						
Gebäude:			Umgebung:			
	[m2]		[m2]		[m2]	
GF oberirdisch (Neubau)	2'913	GF Untergeschosse	1'057	Umgebungsfläche versiegt	455	
GF Bestand (Abbruch)	2'754	GF Bodenplatte	1'057	Umgebungsfläche begrünt	1'061	
	FLÄCHE	EHP	TOTAL 1	TOTAL 2	ANTEIL	ANMERKUNG
	[m2]	[CHF/m2]	[CHF]	[CHF]	[%]	
BKP 1 VORBEREITUNGSARBEITEN				539'525		
GF oberirdisch (Neubau)	0	0	0			
GF Bestand (Abbruch)	2'754	100	275'400			Abbruch Bestand
GF unterirdisch	1'057	250	264'125			Aushub & Baugrubenabschlüsse
GF Bodenplatte	1'057	0	0			
BKP 2 GEBÄUDE				8'034'025		
GF oberirdisch (Neubau)	2'913	2'250	6'554'925			Aufw. Fassadenabwicklung, viel AGF
GF oberirdisch (Bestand)	0	0	0			Ohne Ersatz UB, Komplettersatz HLKSE
GF unterirdisch	1'057	1'150	1'214'975			Komplettersatz HLKSE
GF Bodenplatte	1'057	250	264'125			Inkl. Anteil Werkleitungen unter Bodenplatte
BKP 3 BETRIEBSEINRICHTUNGEN				48'000		
Geräte (WM / TM)	24	2'000	48'000			
BKP 4 UMGEBUNG				219'748		
Umgebungsfläche versiegelt	455	250	113'663			
Umgebungsfläche begrünt	1'061	100	106'085			
TOTAL BKP 1-4				8'841'298	100%	
Baunebenkosten	% von BKP 1-4	2%	176'826			
Honorare	% von BKP 1-4	23%	2'033'498			
Reserve	% von BKP 2	5%	401'701			
TOTAL BKP 5				2'612'026	30%	
TOTAL			exkl. MwSt	11'453'323	130%	
TOTAL			inkl. MwSt	12'335'229		

Tabelle 8: Herleitung Projektkosten am Beispiel der Variante Ersatzneubau

Die detaillierten Herleitungen der Planungs- und Baukosten der drei Varianten finden sich im Anhang zu dieser Arbeit.

3.6 Finanzielle Gewichtung der CO₂-Emissionen

3.6.1 Preisliche Gewichtung der CO₂-Emissionen

Im Gegensatz zu den CO₂-Abgaben, welche heute bereits auf Brennstoffe zu leisten sind, existieren für anderweitige durch Immobilien bedingte CO₂-Emissionen keine direkten Abgabepflichten. Entsprechende Mehrkosten entstehen dem Besteller von Bauleistungen heute nur in dem Masse, in dem sie ihm durch die Baustofflieferanten aufgrund der von ihnen aufgewendeten CO₂-Abgaben und CO₂-Vermeidungskosten durch höhere Preise weiterbelastet werden. Die im Rahmen dieser Untersuchung angenommenen CO₂-Lenkungsabgaben, wurden in der Höhe den heute gültigen CO₂-Abgaben auf Brennstoffe gleichgestellt. Die entsprechenden Abgaben liegen aktuell bei 120.- CHF/t CO₂ (Änderung CO₂-Verordnung vom 24.11.2021, 2022 Art. 94).

3.6.2 Teuerung der CO₂-Abgaben

Die Höhe der in der Schweiz geltenden CO₂-Abgabe ist nicht Resultat einer Marktpreisbildung, sondern einer Festsetzung durch den Gesetzgeber. Eine historische Betrachtung zeigt, dass die Abgabe seit ihrer Einführung vor 14 Jahre mehrmals und bedeutend erhöht wurde:

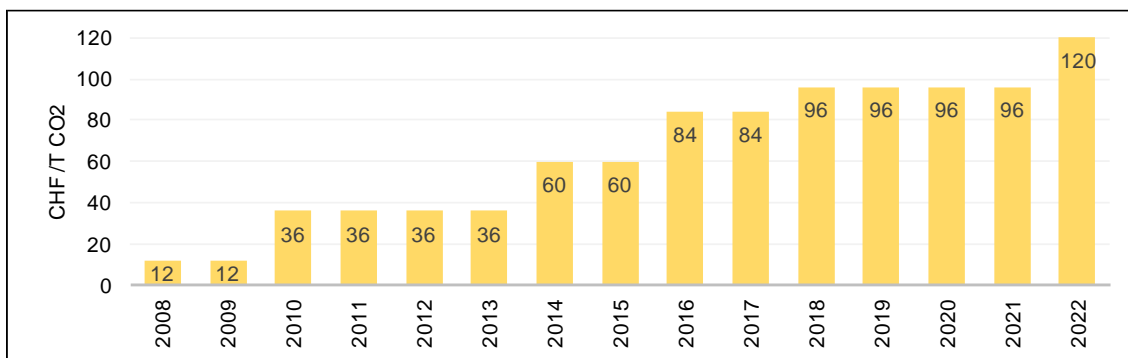


Abbildung 10: Preisentwicklung der CO₂ Abgabe seit Einführung. Datenquelle: Statista (Statista, 2022)

Betrug die Abgabe 2008 noch 12.- CHF/t CO₂, liegt sie heute bei 120.- CHF/t CO₂. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährliche Teuerung von 17,9%. Deren zukünftiger Verlauf bleibt Tatbestand von Mutmassungen. International betrachtet, liegen die in der Schweiz zu leistenden Abgaben unter den vier höchsten weltweit (gemeinsam mit Uruguay, Schweden und Liechtenstein) und deutlich über der seitens CPLC vorgeschlagenen Preis-Bandbreite (The World Bank, 2022, S. 26). Im Rahmen der Untersuchung wurde eine langfristige Teuerung der Lenkungsabgabe von 5% angenommen. Die Teuerungsrate wird dabei mit der zurückliegenden Entwicklung begründet, in der die Abgabe mehrfach und deutlich erhöht wurde.

3.7 Diskontierungssatz und Teuerung

3.7.1 Allgemeine Teuerung

Gemäss SNB liegt die Inflation aktuell (Mai 2022) bei 2,9% und dürfte zunächst erhöht bleiben, bevor sie langfristig auf ein moderateres Niveau zurückkehrt. Für 2024 wird eine Teuerungsrate von 1,6% prognostiziert (SNB, 2022). Diese wurde im Rahmen der Untersuchung als langfristige jährliche Teuerung angenommen.

3.7.2 Diskontierungs- und Kapitalisierungssätze

Da Diskontierungs- und Kapitalisierungssätze nicht aus anderen Zinsen abgeleitet werden können, sind die entsprechenden Zinssätze projektspezifisch herzuleiten (SIREA, 2019, S. 16).

Im vorliegenden Fall wurde hierfür das synthetische Zinssatzmodell von SIREA verwendet, welches sich an dem Opportunitätskostenprinzip orientiert (siehe SIREA, 2019, S. 20–32). Das Modell verwendet den risikoarmen Immobilien-Basiszinssatz, welcher durch FPRE auf Basis einer Befragung der acht in der Schweiz bedeutendsten Bewertungsunternehmen quartalsweise ermittelt wird. Der Basiszinssatz bezieht sich dabei auf die (hypothetische) Immobilie mit dem schweizweit tiefsten Immobilienanlagerisiko (Mittelgrosses Mietwohnungsgebäude in einem Top Stadtquartier in Zürich, an Top Mikrolage und mit Neubauqualität) (FPRE, 2022b, S. 7). Dieser Zinssatz wird im Modell mit Zuschlägen ergänzt, welche die Risiken des Immobilienmarktes und die Aspekte der Liegenschaft berücksichtigen. Der reale Diskontierungssatz für das Untersuchungsobjekt wurde wie folgt hergeleitet:

	Zuschlag gemäss Vorschlag SIREA	Annahme des Autors	Anmerkung
Basiszinssatz real		1,71%	Gemäss Metanalyse FPRE, Juni 22
Nachfrageüberhang	0.00% bis 1.00%	0,00%	Sehr niedrige Leerstandsquote
Makrolage	0.00% bis 0.60% (oder mehr)	0,00%	Stadt Zürich
Mikrolagen	0.00% bis 0.20% (oder mehr)	0,15%	Peripheres Stadtquartier
Nutzungsart	0.00% bis 5.00%	0,20%	Wohnen gemäss SIREA bis 0.50%
Immobilität	0.00% bis 0.20% (oder mehr)	0,10%	
Resultierender Diskontierungssatz real:		2,16%	Vergleich mit statistisch ermitteltem Wert: 2,20% (FPRE, Juni 22)

Tabelle 9: Herleitung des projektspezifischen realen Diskontierungssatzes

Der mit obiger Methode hergeleitete Diskontierungssatz wurde im Sinne einer Plausibilitätsprüfung mit dem durch FPRE für das Quartier Affoltern mittels statistischer

Analyse von Transaktionen hergeleiteten Diskontierungssatz (FPRE, 2022a) verglichen. Der Unterschied beträgt vier Basispunkte. Der ermittelte Diskontierungssatz erscheint damit als hinreichend belastbar und wurde nur noch im Hinblick auf den Energiestandard der einzelnen Varianten justiert.

Schlöpfer et al. (2022) haben untersucht, welchen Einfluss der fossile CO₂-Ausstoss einer Liegenschaften auf deren Marktwert hat. Sie kommen zum Schluss, dass Investoren für fossil beheizte Liegenschaften gegenüber nachhaltig beheizten Liegenschaften eine um 4 Prozent reduzierte Zahlungsbereitschaft zeigen (Schlöpfer et al., 2022, S. 3). Im vorliegenden Fall weist zwar keine der Projektvarianten eine fossile Heizung auf, da aber die Variante Ersatzneubau aufgrund ihres höheren Wärmedämmstandards deutlich weniger CO₂e-Emissionen im Betrieb verursacht, wird davon ausgegangen, dass sich auch hierdurch eine höhere Zahlungsbereitschaft von Seiten des Investors ergibt, zumal Neubauten generell weniger Risiken ausgesetzt sind als Bestandesbauten. Entsprechend wurde der Diskontsatz für die Variante Ersatzneubau um sechs Basispunkte reduziert. Der Marktwert erhöht sich dadurch um rund 2%.

Die Ermittlung des nominalen Diskontierungssatzes erfolgte auf Basis der Fisher-Hypothese, die besagt, dass zwischen realen und nominalen Diskontsätzen folgender mathematische Zusammenhang besteht (SVKG, 2019, S. 161):

$$i = (1+r) \times (1+p) - 1$$

wobei gilt:

- i = nominaler Diskontierungssatz
- r = realer Diskontierungssatz
- p = Inflationsrate

Unter Annahme einer langfristigen Teuerung von 1,6% betragen die nominalen Diskontsätze demnach 3,79% (Sanierung und Verdichtung) bzw. 3,73% (Ersatzneubau inkl. oben erwähnter Reduktion für höheren Energiestandard).

3.8 Hypothetische Zukunftsszenarien

In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise auf Massnahmen, mit denen die Erreichung der Klimazielvorgaben des Bundes unterstützt werden können. Davon wurden jene ausgewählt, welche nach Einschätzung des Autors für den Bausektor besondere Relevanz oder in der aktuellen Diskussion besonderes Gewicht haben. Die Funktionsweise der einzelnen Massnahme wird kurz erläutert, bevor im Absatz **Arbeitshypothese** dargelegt wird, inwiefern und aus welchen Beweggründen die Massnahme bei der Bewertung der einzelnen Projektvarianten berücksichtigt wurde.

3.8.1 Erweiterung der CO₂-Abgabe

Die hohe Wirksamkeit der in der Schweiz geltenden CO₂-Abgabe wurde in Kapitel 2.4 bereits erläutert. Aufgrund der Effizienz der Lenkungsabgabe erstaunt es nicht, dass in der Klimadiskussion zunehmend Stimmen laut werden, die deren Erweiterung auf andere Bereiche, namentlich auch die Gebäudeerstellung fordern.

Arbeitshypothese: Im Rahmen der Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass CO₂-Abgaben zukünftig nicht mehr nur auf Brennstoffe, sondern auch auf Immobilienbedingte CO₂e-Emissionen zu leisten sind, sobald diese anfallen. Dabei werden alle drei Bereiche (Erstellung, Betrieb und Mobilität) gleichermassen betrachtet. Ein solches Szenario hätte allerdings zur Folge, dass es in gewissen Bereichen zu Doppelbelastungen kommen würde:

Beispiel Mobilität: Bereits heute müssen Brennstoff Importeure einen Teil der CO₂-Emissionen, die bei Verbrauch der Treibstoffe entstehen, kompensieren und geben die daraus resultierenden Kosten über den Benzinpreis an den Endverbraucher weiter. Mit der Einführung einer CO₂e-Abgabe für den Bereich Mobilität würde auf den Tatbestand der Treibstoffverbrennung nochmals eine Lenkungsabgabe erhoben. Diese wäre in erster Linie durch den Immobilieninvestor zu tragen, welcher die Kosten wohl aber mittels entsprechender Parkplatzmietpreise an den Endverbraucher weitergeben würde.

Beispiel Baumaterialien: CO₂e-Abgaben, die durch Baumaterialproduzenten zu leisten waren, werden durch diese in den Verkaufspreisen eingerechnet. Die Einführung einer CO₂e-Abgabe für den Bereich Erstellung würde also auch hier dazu führen, dass der Endverbraucher für den gleichen Tatbestand doppelte Abgaben leistet.

Im Rahmen der Untersuchung wird davon ausgegangen, dass derartige Mehrfachbelastungen explizit angestrebt werden, um eine höhere Lenkungswirkung zu erreichen.

3.8.2 Emissionsvermeidung durch Wiederverwendung von Bauteilen

Kindermann (2021) hat auf das ökonomische Potential hingewiesen, dass in der Wiederverwendung von Bauteilen liegt. Die aus ökologischer Sicht positiven Aspekte werden bei einer CO₂e-Bilanzierung nach SIA heute allerdings noch nicht betrachtet. Konkret wird bei der Ermittlung der CO₂e-Emissionen nicht zwischen neu produzierten und wiederverwendeten Bauteilen unterschieden (siehe Kapitel 2.5.3).

Arbeitshypothese: Im Rahmen der Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass bei der Bilanzierung der CO₂e-Emissionen von wiederverwendeten Bauteilen, deren bisherige Verwendungsdauer berücksichtigt wird.

Beispiel: Ein Bauelement mit einer durchschnittlichen Amortisationsdauer (Lebenszyklus) von 30 Jahren wird nach 20 Jahren demontiert und in einem neuen Bauvorhaben wiederverwendet. In der CO₂e-Bilanzierung des neuen Projektes gelten zwei Drittel der CO₂e-Emissionen des Bauelements als abgeschrieben und werden in der Bilanz folglich nicht mehr berücksichtigt.

Eine vollständige Berücksichtigung dieses Aspektes würde eine detaillierte Aufnahme des Bestands bedürfen. Ferner wären die getätigten CO₂e-Abschreibungen auch auf Seite der Instandsetzungskosten zu berücksichtigen, da das Bauteil früher ausgewechselt werden muss. Im vorliegenden Fall wurde daher nur die Wiederverwendung der Tragstruktur betrachtet (siehe Kapitel 3.3.5). Dabei wird davon ausgegangen, dass mit deren Wiederverwendung ein neuer Lebenszyklus begründet wird und nicht mit einem vorzeitigen Ersatz zu rechnen ist.

3.8.3 Bauliche CO₂-Speicher

Wie in Kapitel 2.5.3 erläutert, ist die Berücksichtigung von in Bauteilen gebundenem Kohlenstoff im Rahmen von Umweltbilanzierungen umstritten. In einer CO₂e-Bilanzierung nach SIA ist sie heute nicht vorgesehen. In der Fachdiskussion wird dargelegt, dass mit einer Einlagerung von CO₂ in Baustoffen zwar deren spätere Freisetzung nicht ausgeschlossen werden kann, die Einlagerung aber trotzdem eine valable Zwischenlösung darstellt. Dies, da durch die vorübergehende Einlagerung die Zeit überbrückt werden kann, bis die notwendigen technologischen Fortschritte erzielt wurden, um die weltweiten CO₂e-Emissionen umfangreich zu reduzieren oder um der Atmosphäre gar künstlich CO₂ zu entziehen und dieses langfristig und sicher im Erdreich einzulagern. Im Frühjahr 2022 wurden die Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB, 2022) aktualisiert publiziert. Neu weisen Sie auch den in Baumaterialien und Bauelementen

enthaltene biogene Kohlenstoff aus. Inwiefern diese Kennzahlen zur Kohlenstoffspeicherung zukünftig in Umweltbilanzierungen berücksichtigt werden, wird sich zeigen.

Arbeitshypothese: Im Rahmen der Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass CO₂-angereicherter Beton als langfristiger Speicher betrachtet und im Rahmen der CO₂e-Bilanzierung entsprechend angerechnet werden kann. Da in den Varianten Sanierung und Verdichtung nur von punktuellen und in ihrem Umfang untergeordneten Betonarbeiten auszugehen ist (Erdbebenertüchtigung), wurde der Aspekt nur anhand der Tragstruktur des Neubaus untersucht (siehe Kapitel 3.3.4).

3.8.4 CO₂e-optimierte Baustoffe

Es ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung von Baustoffen aufgrund technischer Fortschritte zukünftig weniger CO₂-Emissionen verursacht. Alig et al. (2021) haben im Auftrag des BFE und des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich untersucht, in welchem Ausmass bei den wichtigsten Baustoffen bis 2050 mit Verbesserungen zu rechnen ist. Für die 28 untersuchten Baumaterialien wurden Ökobilanzen prognostiziert, welche angewendet auf die Umweltbilanz eines Wohnbaureferenzgebäudes in einer 55% Reduktion der CO₂-Emissionen (Bereich Erstellung) resultierten (Alig et al., 2021, S. 84).

Arbeitshypothese: Die Untersuchung basiert auf der Annahme, dass die Eigentümerschaft eine Projektierungsentscheidung fällt und damit Baumassnahmen auslöst, welche zu Beginn des zeitlichen Betrachtungshorizonts umgesetzt werden. Damit sind zukünftige CO₂e-Optimierungen von Baustoffen nur noch für die Lebensabschnitte Ersatz und Rückbau relevant. Da diese nur einen untergeordneten Anteil an den Gesamtemissionen darstellen wurde auf eine Berücksichtigung des Effekts verzichtet. Der Aspekt wird aber im Rahmen der Diskussion nochmals aufgegriffen (siehe Kapitel 5).

4. Vorstellung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse

4.1 Vorstellung der Ergebnisse

4.1.1 Projektvariante Sanierung

Die Variante Sanierung verursacht sowohl absolut wie auch relativ zur Energiebezugsfläche am wenigsten CO₂e-Emissionen. Dies aufgrund einer geringen baulichen Eingriffstiefe und der begrenzten Anzahl an Parkplätzen (Mobilität). Die Emissionen des Bereichs Betrieb fallen im Vergleich zum Ersatzneubau hoch aus.

Die prognostizierte Personenfläche (Energiebezugsfläche pro Bewohner) liegt leicht über der Standardpersonenfläche gemäss SIA von 60m² (Wohnnutzung).

Die Variante weist mit 11,4 Mio. CHF den niedrigsten NPV aus.

SANIERUNG					
Projektkennzahlen:		[Stk.]	Nutzungsichte:		
Anz. Wohnungen		16	Bewohner pro Wohnung	2,21	
Anz. Parkplätze		6	Personenfläche (A _E pro Bew.)	61,6	
Anz. Bewohner (gem. SNBS)		35,4	Parkplatz pro Bewohner	0,17	
CO₂ e-Emissionen:		[kg/m ² A _E]			
Erstellung		4,36			
Betrieb		3,30			
Mobilität		2,20			
Total		9,86			
CO₂ e-Kosten:		[% IPK*]	[CHF]		
Erstellung		1,6%	72'000		
Betrieb		0,9%	42'000		
Mobilität		0,6%	28'000		
Total Kosten		3,2%	142'000		
Speicherung		0,0%	0		
Vermeidung		-0,8%	-34'000		
Total Gutschriften		-0,8%	-34'000		
Finanzkennzahlen:		[CHF]			
Marktwert		15'810'000	Internal Rate of Return	2,13%	
Initiale Projektkosten (IPK)*		4'380'000	Bruttorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	2,56%	
Net Present Value		11'430'000	Nettorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	2,05%	

* Initiale Projektkosten (IPK) = Planungs- & Baukosten + CO₂e-Emissionen Erstellung (vgl. Kapitel 3.3.6)

Tabelle 10: Bewertungskennzahlen Variante Sanierung (für vollständige Angaben siehe Anhang)

4.1.2 Projektvariante Verdichtung

Betrachtet man die CO₂e-Emissionen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche, ist die Variante Verdichtung praktisch mit einer Sanierung gleichzusetzen. Zwar nehmen die Emissionen aufgrund der Aufstockung zu, die Zunahme wird aber durch eine Reduktion der CO₂e-Emissionen im Bereich Mobilität annähernd kompensiert. Die Verbesserung im Bereich Mobilität erklärt sich aus dem Umstand, dass trotz zunehmender Wohnungsanzahl die Anzahl an zu Verfügung stehenden Parkplätzen konstant bleibt.

Die prognostizierte Personenfläche liegt aufgrund der kompakteren Gebäudevolumetrie leicht tiefer als bei der Variante Sanierung.

Aufgrund der Zunahme an vermietbarer Fläche, erhöht sich der NPV gegenüber der Variante Sanierung um rund 14% auf 13 Mio. CHF.

VERDICHTUNG				
Projektkennzahlen:		[Stk.]	Nutzungsichte:	
Anz. Wohnungen		18	Bewohner pro Wohnung	2,27
Anz. Parkplätze		6	Personenfläche (A _E pro Bew.)	59,2
Anz. Bewohner (gem. SNBS)		40,8	Parkplatz pro Bewohner	0,15
CO₂e-Emissionen:		[kg/m ² A _E]		
Erstellung		4,50		
Betrieb		3,30		
Mobilität		2,10		
Total		9,90		
CO₂e-Kosten:		[% IPK*]	[CHF]	
Erstellung		1,6%	82'000	
Betrieb		0,9%	46'000	
Mobilität		0,6%	29'000	
Total Kosten		3,1%	157'000	
Speicherung		0,0%	0	
Vermeidung		-0,7%	-34'000	
Total Gutschriften		-0,7%	-34'000	
Finanzkennzahlen:		[CHF]		[%]
Marktwert		18'110'000	Internal Rate of Return	2,13%
Initiale Projektkosten (IPK)*		5'060'000	Bruttorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	2,56%
Net Present Value		13'050'000	Nettorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	2,05%

Mobilität 21%
Erstellung 46%
Betrieb 33%

In % von initialen Projektkosten (IPK)*

Erstellung 1,6%
Betrieb 0,9%
Mobilität 0,6%
Speicherung 0,0%
Vermeidung -0,7%

* Initiale Projektkosten (IPK) = Planungs- & Baukosten + CO₂e-Emissionen Erstellung (vgl. Kapitel 3.3.6)

Tabelle 11: Bewertungskennzahlen Variante Verdichtung (für vollständige Angaben siehe Anhang)

4.1.3 Projektvariante Ersatzneubau

Der Ersatzneubau verursacht am meisten CO₂e-Emissionen. Im Bereich Erstellung fallen diese in Relation zur Energiebezugsfläche mehr als doppelt so hoch aus wie in den ersten zwei Varianten. Zwar sind im Gegenzug die betrieblichen CO₂e-Emissionen rund 40% niedriger, die zusätzlichen Emissionen, welche durch die umfangreicheren Baumassnahmen verursacht werden, vermögen sie aber nicht zu kompensieren.

Die prognostizierte Personenfläche fällt aufgrund des höheren Anteils an Wohnungen mit tiefer Zimmeranzahl deutlich geringer als bei den ersten zwei Varianten aus.

Die Variante generiert mit 20,7 Mio. CHF den mit Abstand höchsten NPV der drei Projektvarianten.

ERSATZNEUBAU					
Projektkennzahlen:		[Stk.]	Nutzungsichte:		
Anz. Wohnungen		24	Bewohner pro Wohnung	2,45	
Anz. Parkplätze		14	Personenfläche (A _E pro Bew.)	50,4	
Anz. Bewohner (gem. SNBS)		58,7	Parkplatz pro Bewohner	0,24	
CO₂e-Emissionen:		[kg/m ² A _E]			
Erstellung		9,81			
Betrieb		1,90			
Mobilität		2,40			
Total		14,11			
CO₂e-Kosten:		[% IPK*]	[CHF]		
Erstellung		1,7%	219'000		
Betrieb		0,3%	33'000		
Mobilität		0,3%	42'000		
Total Kosten		2,3%	294'000		
Speicherung		0,2%	23'000		
Vermeidung		0,0%	0		
Total Gutschriften		0,2%	23'000		
Finanzkennzahlen:		[CHF]	[%]		
Marktwert		33'280'000	Internal Rate of Return	2,07%	
Initiale Projektkosten (IPK)*		12'580'000	Bruttorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	2,40%	
Net Present Value		20'700'000	Nettorendite (Mittelwert Jahre 1-10)	1,99%	
* Initiale Projektkosten (IPK) = Planungs- & Baukosten + CO ₂ e-Emissionen Erstellung (vgl. Kapitel 3.3.6)					

Tabelle 12: Bewertungskennzahlen Variante Ersatzneubau (für vollständige Angaben siehe Anhang)

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Diskussion 1: Für den Projektvergleich relevante CO₂e-Kennzahlen

Werden die Ergebnisse einem direkten Vergleich unterzogen, stellt sich unweigerlich die Frage, welches die massgebende Bezugsgrösse für einen Vergleich der CO₂e-Emissionen sein sollte. Abhängig von deren Wahl fällt das Urteil unterschiedlich aus:

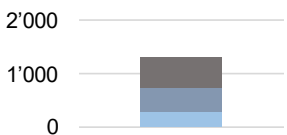
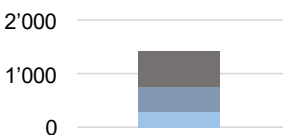
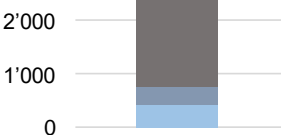
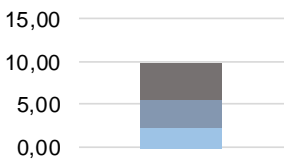
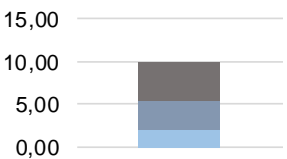
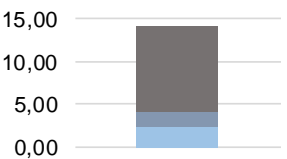
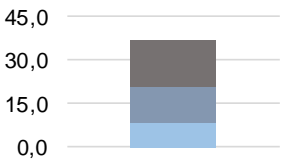
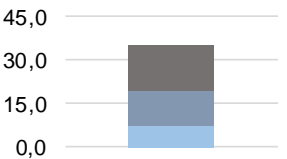
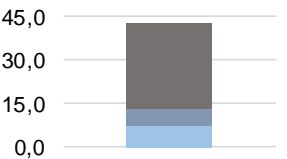
SANIERUNG		VERDICHTUNG		ERSATZNEUBAU		DIFFERENZ	
CO₂e-Emissionen Total über Lebenszyklus von 60 Jahre							
CO₂e p. 60a [t]		CO₂e p. 60a [t]		CO₂e p. 60a [t]			
Erstellung	570	Erstellung	652	Erstellung	1'741		205,2%
Betrieb	432	Betrieb	478	Betrieb	337		-21,9%
Mobilität	288	Mobilität	304	Mobilität	426		48,0%
Total	1'290	Total	1'435	Total	2'504		94,1%
							
CO₂e-Emissionen pro m2 Energiebezugsfläche im Jahr							
CO₂e p.a. [kg/m2 Ae]		CO₂e p.a. [kg/m2 Ae]		CO₂e p.a. [kg/m2 Ae]			
Erstellung	4,36	Erstellung	4,50	Erstellung	9,81		125,0%
Betrieb	3,30	Betrieb	3,30	Betrieb	1,90		-42,4%
Mobilität	2,20	Mobilität	2,10	Mobilität	2,40		9,1%
Total	9,86	Total	9,90	Total	14,11		43,1%
							
CO₂e-Emissionen pro Bewohner über Lebenszyklus von 60 Jahren							
CO₂e p.60a [t]		CO₂e p.60a [t]		CO₂e p.60a [t]			
Erstellung	16,1	Erstellung	16,0	Erstellung	29,7		85,6%
Betrieb	12,2	Betrieb	11,7	Betrieb	5,7		-51,0%
Mobilität	8,1	Mobilität	7,5	Mobilität	7,3		-2,7%
Total	36,4	Total	35,2	Total	42,7		21,3%
							

Tabelle 13: Vergleich der Varianten nach unterschiedlichen CO₂e-Kennzahlen

Bezogen auf die in einer Umweltbilanzierung nach SIA angenommene theoretische Lebenszyklusdauer von 60 Jahren, fallen die CO₂e-Emissionen bei der Variante Sanierung am tiefsten und bei einem Ersatzneubau am höchsten aus. Aufgrund des grossen Unterschieds zwischen den jeweiligen Baumassnahmen, erstaunt dies nicht. Da die zwei Varianten aber unterschiedlich viel Nutzflächen bereitstellen, hat ein Vergleich dieser absoluten Werte nur eine bedingte Aussagekraft.

Die mit dem Übereinkommen von Paris vereinbarten Klimaziele beziehen sich auf die nationalen Gesamtemissionen des Referenzjahres 1990. Da die nationale Bevölkerungszahl einer stetigen Veränderung unterworfen ist, sind die Klimaziele insbesondere auch in Relation zur Einwohnerzahl zu betrachten. In der Schweiz hat diese seit 1990 massgeblich zugenommen und auch im Hinblick auf ihre zukünftige Entwicklung ist nicht von einem Rückgang auszugehen. Das Bundesamt für Statistik (BFS) rechnet in seinem Referenzszenario A damit, dass die ständige Wohnbevölkerung bis 2050 gegenüber 2020 um 20% auf 10,44 Mio. wachsen wird. Selbst im „tiefen“ Szenario C wird noch von einer Bevölkerungszunahme um ganze 10% auf 9,52 Mio. ausgegangen (BFS, 2020, S. 9). Gegenüber der Einwohnerzahl von 1990 (6,67 Mio.) entspricht dies einer Zunahme von 56% (Referenzszenario A) bzw. 43% (Szenario C).

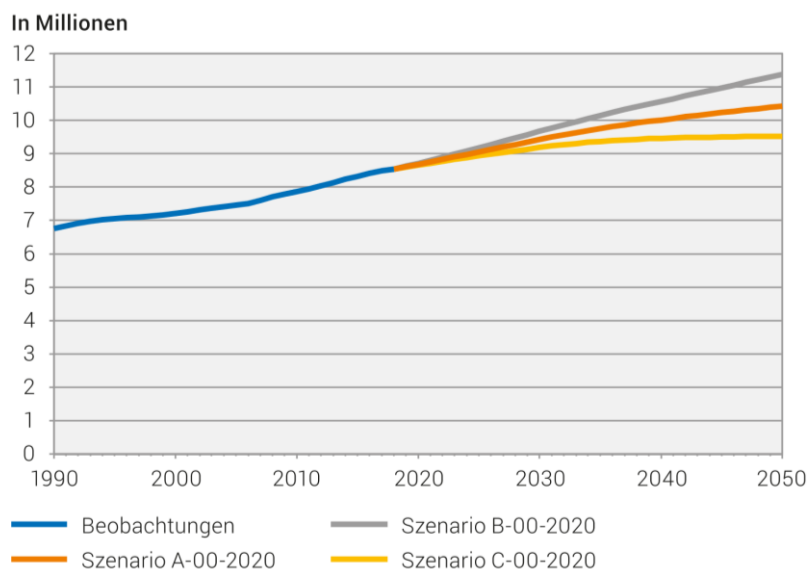


Abbildung 11: Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung (BFS, 2020, S. 9)

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die CO₂e-Emissionen der unterschiedlichen Varianten relativ zur ihrer jeweiligen Energiebezugsfläche, verbessert sich die Bilanz des Ersatzneubaus deutlich. Zwar liegen die CO₂e-Emissionen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche immer noch 43% über jenen der Sanierung. Die relative Abweichung zwischen den zwei Varianten hat sich dadurch aber schon um mehr als die Hälfte reduziert.

Ein auf den CO₂e-Emissionen pro Energiebezugsfläche basierender Vergleich krankt daran, dass die Energiebezugsfläche nicht der durch die Bewohner effektiv beanspruchten Fläche entspricht. Sie umfasst beispielsweise auch Treppenhäuser und Korridore, welche ausserhalb der Wohnungen liegen. Zwei in Bezug auf die Energiebezugsfläche identische

Projekte können folglich über unterschiedliche Nutzflächen verfügen und einer unterschiedlichen Anzahl an Bewohnern Platz bieten.

Um die Varianten in Bezug auf die durch sie pro Bewohner ausgelösten CO₂e-Emissionen vergleichen zu können, muss die Anzahl der Hausbewohner bekannt sein. Diese hängt massgeblich vom Wohnungsmix ab und wurde im Rahmen der Untersuchung wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben hergeleitet. Ein Variantenvergleich auf dieser Basis zeigt, dass sich die CO₂e-Emissionen weiter annähern. Allerdings bleibt der Ersatzneubau auch bei dieser personenbezogenen Betrachtung die Variante mit den meisten CO₂e-Emissionen pro Bewohner. Neu ist nicht mehr die Sanierung, sondern die Verdichtung die Variante mit den tiefsten CO₂e-Emissionen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Variante pro Quadratmeter Energiebezugsfläche 3,8% mehr Wohnfläche zu Verfügung stellt.

SANIERUNG		DIFF.	VERDICHTUNG		DIFF.	ERSATZNEUBAU	
	[m ²]			[m ²]			[m ²]
A _E	2'180		A _E	2'416		A _E	2'958
HNF	1'236		HNF	1'422		HNF	2'142
HNF / A_E	0,57	3,8%	HNF / A_E	0,59	23,0%	HNF / A_E	0,72
A _E = Energiebezugsfläche HNF = Vermietbare Hauptnutzfläche							

Abbildung 12: Vergleich der Varianten nach ihrem HNF/A_E-Verhältnis

Oben beschriebener Koeffizient HNF/A_E kann allerdings nur bedingt für die Beurteilung der CO₂e-Effizienz eines Gebäudes herangezogen werden. Zu beachten ist, dass bei einer CO₂e-Bilanzierung nach SIA sämtliche Emissionen eines Gebäudes auf die Energiebezugsfläche umgerechnet werden. Das betrifft auch jene Emissionen, die bei Erstellung und Betrieb von Bauteilen anfallen, welche ausserhalb des Dämmperimeters liegen und damit gar keinen Teil der Energiebezugsfläche darstellen. Im betrachteten Fall sind dies die Untergeschossflächen (exkl. Treppenhäuser). Bei einem Vergleich zwischen Sanierung und Verdichtung sind diese Bauteile identisch. Ein Vergleich mit dem Ersatzneubau wäre allerdings irreführend. Der Ersatzneubau weist ein sehr günstiges HNF/A_E-Verhältnis aus. Die Schlussfolgerung, dass der Ersatzneubau daher effizienter ist, wäre aber falsch. Der Ersatzneubau weist beispielsweise ein deutlich grösseres Untergeschoss auf, welches sogar über den Fussabdruck des Gebäudes hinausragt. Diese ungünstige Formgebung wird durch den HNF/A_E- Koeffizienten nicht wiedergegeben.

4.2.2 Diskussion 2: Auswirkungen einer erweiterten CO₂e-Abgabe

Die Kosten, welche durch die auf die CO₂e-Emissionen zu leistenden Abgaben anfallen, können absolut oder in Relation zu anderen Kennzahlen betrachtet werden.

In den in Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 vorgestellten Ergebnissen wurden sie im Verhältnis zu den Initialen Projektkosten (kurz: IPK, bestehend aus Planungs- & Baukosten zuzüglich CO₂e-Abgaben Erstellung, vgl. Kapitel 3.3.6) betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der CO₂e-Abgaben im Bereich **Erstellung** bei den Varianten Sanierung und Verdichtung nur 1,6% der initialen Projektkosten ausmachen. Beim Ersatzneubau resultiert mit 1,7% annähernd der gleiche Zuschlag. Die durch die Abgabe ausgelöste prozentuale „Verteuerung“ der initialen Planungs- & Projektkosten ist also bei allen Varianten praktisch identisch. Anders verhält es sich bei den CO₂e-Abgaben, welche für die Bereiche **Betrieb** und **Mobilität** zu entrichten sind. Werden die entsprechenden zukünftigen Zahlungen auf den Betrachtungszeitpunkt abdiskontiert, summiert und mit den IPK verglichen, ist festzustellen, dass die entsprechenden CO₂e-Kosten beim Ersatzneubau deutlich tiefer ausfallen.

Im Hinblick auf die zu untersuchende Fragestellungen ist aber insbesondere ein Vergleich der Varianten interessant, bei dem die Varianten jeweils mit und ohne Berücksichtigung der CO₂-Abgaben bewertet werden. Die Ergebnisse der entsprechenden Simulation sind in Tabelle 14 übersichtlich dargestellt. Aus der Aufstellung geht hervor, dass sich die diskutierte Ausweitung einer CO₂e-Abgabe in einer Reduktion der **Marktwerte** niederschlagen würde. Bei den Varianten Sanierung und Verdichtung sinkt dieser um rund 0,6% und damit etwas stärker als bei der Variante Ersatzneubau. Der Unterschied erklärt sich hierbei durch die in Relation zur Energiebezugsfläche deutlich tieferen CO₂e-Emissionen des Gebäudebetriebs. Da im Rahmen der Untersuchung der direkte Effekt einer Lenkungsabgabe berechnet wird, ist es nicht überraschend, dass der Marktwert sinkt. Allerdings ist zu beachten, dass mit steigender Lenkungsabgabe auch die Höhe der aus der Lenkungsabgabe zu verteilenden Gelder zunimmt. Da diese Fördergelder aus dem Gebäudeprogramm aber nicht berücksichtigt wurden, sollte die mit einer eingeschränkten Methodik ausgewiesene Marktwertverschiebung nicht überbewertet werden.

Der Einfluss obiger Effekte auf den **NPV** ist gering. Er liegt bei den Varianten Sanierung und Verdichtung knapp über einem Prozent und fällt auch bei der Variante Ersatzneubau nur geringfügig höher aus. Vergleicht man **IRR, Brutto- und Nettorendite** der drei Projektvarianten vor und nach Ausweitung der CO₂e-Abgabe, so stellt man fest, dass auch diese bei allen Varianten praktisch unverändert bleiben. Das ist insofern nicht

überraschend, da sich die Bestandteile der Kennzahlen aus den zukünftigen Geldflüssen und nicht etwa den aufzuwendenden Planungs- & Baukosten ableiten. Bei den Bewertungen, welche die Lenkungsabgabe berücksichtigen, fallen die Renditekennzahlen minimal höher aus. Der Unterschied beträgt dabei nie mehr als zwei Basispunkte. Die geringfügige Verbesserung der Kennzahlen erklärt sich dabei durch die leicht reduzierten Marktwerte, die sich durch die CO₂e-Abgaben für Betrieb und Mobilität ergeben.

SANIERUNG	VERDICHTUNG	ERSATZNEUBAU	DIFFERENZ
Kennzahlen aus DCF-Bewertung ohne Ausweitung der CO₂e-Abgabe			
Marktwert [Mio. CHF] 15,91	Marktwert [Mio. CHF] 18,22	Marktwert [Mio. CHF] 33,40	Diff. Kapitalwert [Mio. CHF]
Initiale Projektkosten -4,34	Initiale Projektkosten -5,01	Initiale Projektkosten -12,36	
NPV 11,57	NPV 13,21	NPV 21,04	7,83
Kennzahlen aus DCF-Bewertung mit Ausweitung der CO₂e-Abgabe			
Marktwert [Mio. CHF] 15,81	Marktwert [Mio. CHF] 18,11	Marktwert [Mio. CHF] 33,28	Diff. Kapitalwert [Mio. CHF]
Initiale Projektkosten -4,38	Initiale Projektkosten -5,06	Initiale Projektkosten -12,58	
NPV 11,43	NPV 13,05	NPV 20,70	7,65
Einfluss CO₂e-Abgabe			
Marktwert [Mio. CHF];[%] -0,10 (-0,6%)	Marktwert [Mio. CHF];[%] -0,11 (-0,6%)	Marktwert [Mio. CHF];[%] -0,12 (-0,4%)	Diff. Kapitalwert [Mio. CHF];[%]
Initiale Projektkosten -0,04 (0,9%)	Initiale Projektkosten -0,05 (1,0%)	Initiale Projektkosten -0,22 (1,8%)	
NPV -0,14 (-1,2%)	NPV -0,16 (-1,2%)	NPV -0,34 (-1,6%)	-0,18 (-2,3%)

Tabelle 14: Einfluss der CO₂-Abgaben auf Marktwert, IPK und NPV

Da die erwähnten Renditekennzahlen der drei Varianten sehr eng beieinander liegen, ist nicht davon auszugehen, dass sie eine massgebende Grundlage für einen Variantenentscheid bilden. Ganz anders verhält es sich mit dem NPV. Dieser fällt bei der Variante Ersatzneubau annähernd doppelt so hoch aus wie bei einer Sanierung oder Verdichtung. Bei derart grossen Unterschieden zwischen den NPVs ist es gut möglich, dass die Eigentümerin – eine Schweizer Anlagestiftung – den Ersatzneubau vorzieht. Dies insbesondere, da ihr Anlagebedarf für die Tätigkeit erhöhter Investitionen spricht. Im vorliegenden Fall dürfte der Variantenentscheid auch von einer Ausweitung der CO₂-Abgabe unberührt bleiben, obwohl der durch die Investition zu generierende Kapitalmehrwert dadurch um 180'000.- CHF auf 7,65 Mio. CHF abnimmt.

4.2.3 Diskussion 3: Höhe einer entscheidungsrelevanten CO₂e-Abgabe

Basierend auf dem im Kapitel 4.2.1 diskutierten Sachverhalt wurde die Variante Verdichtung als jene mit den tiefsten CO₂e-Emissionen und die Variante Ersatzneubau als jene mit den höchsten CO₂e-Emissionen identifiziert. Vor diesem Hintergrund wurde geprüft, inwiefern eine Anhebung der CO₂e-Abgabe dazu führt, dass sich eine nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten agierende Eigentümerin für die Umsetzung der Variante mit den tiefsten CO₂e-Emissionen entscheidet. Mit einer iterativen Zielwertsuche im Tabellenkalkulationsprogramm Excel wurde eine kritische Preisschwelle identifiziert. Steigen die CO₂e-Lenkungsabgaben auf 5'665.- CHF/t CO₂ an, resultieren für die Varianten Verdichtung und Ersatzneubau der gleichen NPV Werte. Liegt sie noch höher, wird die Variante Verdichtung zur interessantesten Handlungsoption. Allerdings ist fraglich, ob die Eigentümerin bei entsprechenden CO₂e-Abgaben überhaupt noch Investitionsbereitschaft zeigen würde:

Bei einer CO₂e-Abgabe von 5'665.- CHF/t CO₂ steigen die initialen Projektkosten der Variante Ersatzneubau um 10 Mio. CHF beziehungsweise 80%, während der Marktwert aufgrund der erhöhten CO₂e-Kosten in der Betriebsphase um 5,5 Mio. CHF beziehungsweise 17% sinkt. Unter dem Strich resultiert ein NPV von 5,5 Mio. CHF, was gerade noch einem Viertel des Kapitalwertes entspricht, der ohne Ausweitung der CO₂e-Abgabe geschaffen wird.

Bei der Variante Verdichtung resultiert der gleiche NPV, die initialen Projektkosten steigen um 2,3 Mio. CHF beziehungsweise 45% und der Marktwert sinkt um 0,5 Mio. CHF beziehungsweise 4%.

Im Bewertungsmodell bleiben die Mieterträge von der Ausweitung der CO₂e-Abgabe unberührt, da die entsprechenden Kosten durch die Eigentümerin der Immobilie zu tragen sind. Aufgrund der sinkenden Marktwerte steigen in der Folge zwar die Brutto- und Nettorenditen, die absoluten Nettoerträge sinken aber, da die durch die Eigentümerin ab Erstellung zu leistenden CO₂e-Abgaben höher ausfallen. Viel erheblicher fällt aber der reduzierten NPV ins Gewicht. Er illustriert, auf welchen Neubewertungsgewinn die Eigentümerin bei einer Ausweitung der CO₂e-Abgaben verzichten muss. Im Falle des Ersatzneubaus wären dies 15,6 Mio. CHF.

4.2.4 Diskussion 4: Einfluss von Wiederverwendung und CO₂-Speicherung

In der aktuellen Diskussion werden die Wiederverwendung von Bauteilen und die langfristige Kohlenstoffspeicherung in Baustoffen als wichtige Elemente des klimaneutralen Bauens erwähnt. Die Elemente wurden im Rahmen der Untersuchung berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.4, 3.3.5, 3.8.3 und 3.8.4). Die Bewertungen zeigen, dass im vorliegenden Fall die Wiederverwendung der bestehenden Tragstruktur den grössten Beitrag zur Emissionsvermeidung leistet. Bei den Varianten Sanierung und Verdichtung können damit je 274 Tonnen an CO₂e-Emissionen vermieden werden. Da sich diese Emissionsvermeidung auf den Zeitpunkt der Gebäudeerstellung bezieht, kann sie in Relation zu den übrigen CO₂e-Emissionen aus dem Bereich der Erstellung betrachtet werden. Im Fallbeispiel haben sich diese praktisch halbiert, da die Vermeidung von Emissionen als „Gutschrift“ anerkannt wurde. In der Folge nehmen die CO₂e-Abgaben um 34'000.- CHF ab und der NPV erhöht sich um denselben Betrag.

Die langfristige Kohlenstoffspeicherung in der Tragstruktur des Ersatzneubaus ist hingegen deutlich weniger kosten- und klimawirksam. Durch die Massnahme werden die CO₂-Emissionen zwar um 52 Tonnen reduziert, im Verhältnis zu den Gesamtemissionen des Bereichs Erstellung sind dies aber lediglich 3%. Die CO₂e-Abgaben reduzieren sich noch um 23'000.- CHF. Da die baulichen Mehrkosten aber bei rund 30'000.- CHF liegen, dürfte eine nach rein wirtschaftlichen Überlegungen agierende Eigentümerin von der Umsetzung dieser Massnahme wohl absehen.

4.3 Kritische Würdigung der gewählten Methode

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Thematik einer zukünftigen Bepreisung von CO₂e-Emissionen anhand eines Fallbeispiels untersucht. Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um einen für den Schweizer Gebäudebestand repräsentativen Bautyp. Die untersuchte Liegenschaft steht für zahlreiche andere Mehrfamilienhäuser aus den Jahren reger Bautätigkeit, welche dem zweiten Weltkrieg folgte. Diese weisen oft eine ähnliche Siedlungsstruktur, Gebäudetypologie und Bauqualität auf. Es ist daher davon auszugehen, dass die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung auch für andere Objekte wegweisenden Charakter hat. Allerdings ist festzuhalten: Die dabei erlangten Erkenntnisse sind für die betrachtete Immobilie von Relevanz, lassen sich aber nicht generalisieren. So ist etwa die kritische Höhe einer CO₂e-Abgabe, die einen Entscheid für die Projektvariante mit den tiefsten CO₂e-Emissionen begünstigt, im vorliegenden Fall mit 5'665.- CHF/t CO₂ sehr hoch. Je nach Immobilie könnte dieser Wert aber auch tiefer oder noch höher liegen. An einer spezifischen Betrachtung der

jeweiligen Immobilie und der sich bietenden Handlungsoptionen führt also kein Weg vorbei. Die gewählte Methode und das verwendete Bewertungsmodell stellen für derartige objektspezifische Betrachtungen wertvolle Werkzeuge dar. Die Ergebnisse werden – wie bei allen Bewertungen – stark durch die Eigenschaften des jeweiligen Objektes und die Marktsituation geprägt sein.

4.4 Datenqualität und Datenunsicherheit

Die Qualität der Ergebnisse, die mit dem erarbeiteten Bewertungsmodell ermittelt werden, hängt direkt von der Verlässlichkeit der Eingabeparameter ab. Diesbezüglich bestehen insbesondere in Bezug auf die Baukosten, die anfallenden CO₂e-Emissionen und deren Folgekosten erhebliche Unsicherheiten. Dies ist unter anderem dem Umstand geschuldet, dass sich die Untersuchung auf eine Vorstudie gemäss Norm SIA 112 Modell Bauplanung (SIA, 2014) und damit einen frühen Planungszeitpunkt bezieht. Da die einzelnen Projektvarianten in dieser frühen Planungsphase noch nicht detailliert ausgearbeitet sind, bestehen Unwägbarkeiten für die plausible Annahmen zu treffen sind.

Für die Genauigkeit der Kostenschätzung wird in der Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten SIA 102 (SIA, 2020a) für die Phase Vorstudie keine Vorgabe gemacht. Für die anschliessende Phase Vorprojekt wird eine Kostengenauigkeit von $\pm 15\%$ vorgeschlagen, dies mit dem Hinweis, dass die Genauigkeiten grundsätzlich zu vereinbaren sind. In der Praxis hängt die Genauigkeit der Kostenschätzung insbesondere davon ab, ob die Projektanforderungen seitens Auftraggeberschaft bekannt und klar formuliert sind. Erfolgt die Einschätzung der Baukosten wie in der vorliegenden Untersuchung mittels Kennwerten realisierter Projekte und ist die Auftraggeberschaft bereit, die entsprechende Materialisierung/Ausstattung auch für das neue Projekt zu übernehmen, können in der Regel deutlich höhere Genauigkeiten von 5-10% erzielt werden.

Die Abschätzung der CO₂e-Emissionen erfolgt mit der Rechenhilfe Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie (SIA, 2022). In der Literatur finden sich im Hinblick auf die Genauigkeit der mit dem Tool ermittelten Ergebnisse keine Untersuchungen. Gemäss telefonischer Rücksprache mit Katrin Pfäffli, die an der aktuellen Revision des Merkblattes SIA 2040 als Expertin mitwirkt, kann von einer Genauigkeit von 15-20% ausgegangen werden. Tammler (Tammler, 2014) hat anhand von zwölf von der Losinger Marazzi AG realisierten Projekten untersucht, inwiefern zwischen einer Abschätzung mit dem Tool SIA 2040 (Phase Vorprojekt) und einer detaillierteren Ermittlung mit der

Software LESOSAI (Phase Bauprojekt) Abweichungen festgestellt werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abweichungen innerhalb einer Bandbreite von $\pm 10\%$ liegen.

Die durch die CO₂e-Emissionen verursachten Kosten wurden im Rahmen der Untersuchung mit 120.- CHF/t CO₂ angenommen. Es handelt sich dabei um eine rein hypothetische Annahme, die sich an der in der Schweiz aktuell gültigen CO₂-Abgaben für Brennstoffe orientiert.

Neben oben genannten Parametern, sind auch alle übrigen im Bewertungsmodell verwendeten Eingabegrößen von Unsicherheiten behaftet. Um diese zu reduzieren, wurden aktuelle Mietmarktdaten von FPRE verwendet, selbst hergeleitete Diskontierungssätze mit durch FPRE statistisch ermittelten Werten abgeglichen und die übrigen Eingabeparameter mit dem für das Untersuchungsobjekt zuständigen Bewerter der Wüest Partner AG diskutiert. Die Bewertung weist keinen Spekulationscharakter auf. Die der Bewertung zugrunde liegenden Flächenangaben basieren auf Bestandsbeziehungsweise Baueingabeplänen, Masstoleranzen der Ausführung können ignoriert werden, da die Festlegung von CO₂e-Abgabepflichten zwangsläufig auf Plangrundlagen erfolgen muss.

Auf eine rechnerische Quantifizierung der Unsicherheiten wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Die Arbeit konzentriert sich darauf, die Abhängigkeiten zwischen den CO₂e-Emissionen und den resultierenden Bewertungsergebnissen zu erfassen und zu diskutieren. Sie arbeitet dabei mit hypothetischen Annahmen betreffend zukünftiger regulatorischer Massnahmen. Ob und wie diese effektiv umgesetzt werden, wird einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

5. Fazit und Ausblick

5.1 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt anhand von drei untersuchten Projektvarianten widerspruchsfrei auf, welchen Einfluss CO₂e-Emissionen in der Bewertung von Immobilien haben. Wie sich eine Ausweitung der heute geltenden CO₂-Abgabe auf die Gesamtheit, der durch die Varianten ausgelösten CO₂e-Emissionen auswirkt, wird in den jeweiligen Bewertungen deutlich sichtbar.

Die Untersuchung legt dar, dass die **Beurteilung der CO₂e-Emissionen der Varianten** je nach gewählter Bezugsgrösse unterschiedlich ausfällt:

- Absolut betrachtet verursacht die Variante Ersatzneubau fast doppelt so viele CO₂e-Emissionen wie die Variante Sanierung, die am wenigsten Emissionen nach sich zieht.
- Werden die Emissionen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche betrachtet, reduziert sich diese Differenz um die Hälfte.
- Setzt man die CO₂e-Emissionen in Relation zur prognostizierten Bewohnerzahl, so zeigt sich, dass die Variante Verdichtung am wenigsten Emissionen pro Bewohner verursacht. Die Variante Ersatzneubau bleibt zwar die Variante mit den grössten Emissionen, dank optimierter Wohnungsgrössen liegen diese aber nur noch 21% über jenen der Variante Verdichtung.
- **Schlussfolgerung:** Der Wahl der richtigen Bezugsgrösse kommt eine grosse Bedeutung zu, wenn es darum geht, unterschiedliche Projektvarianten im Hinblick auf ihre CO₂e-Emissionen zu beurteilen. Der Autor plädiert für eine Bilanzierung der Emissionen pro Bewohner. Einerseits wird so dem Spannungsfeld zwischen nationalen Klimazielen und nationalem Bevölkerungswachstum Rechnung getragen und andererseits die Qualität der unterschiedlichen Projektvarianten im Hinblick auf deren prognostizierte Nutzungsdichte berücksichtigt.

Eine **Ausweitung der heute bestehenden CO₂e-Abgabepflicht** auf die Gesamtheit der CO₂e-Emissionen der Varianten schlägt sich wie folgt in deren Bewertungskennzahlen nieder:

- Die Marktwerte sinken je nach Variante zwischen 0,4% und 0,6%. Dabei fällt der Wertverlust umso höher aus, je grösser der prozentuale Anteil an CO₂e-Emissionen ist, welche in den Bereichen Betrieb und Mobilität verursacht werden.

- IRR, Brutto- und Nettoerträgen aller Varianten bleiben trotz CO₂e-Abgabe praktisch unverändert. Zwar sinken die Nettoerträge, diese stehen aber einem reduzierten Marktwert gegenüber, so dass sich der Einfluss auf die prozentualen Renditekennzahlen auf maximal zwei Basispunkte beschränkt.
- Der NPV sinkt je nach Variante zwischen 1,2% und 1,6%. Die Reduktion des Kapitalwertes ist dabei bei der Variante Ersatzneubau am grössten, da diese am meisten CO₂e-Emissionen verursacht.
- **Schlussfolgerung:** Eine Ausweitung der CO₂e-Abgabe vermag den Entscheid einer nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten agierenden Eigentümerin nur in Ausnahmefällen zu beeinflussen. Im vorliegenden Fall weist die Projektvariante Verdichtung die geringsten CO₂e-Emissionen pro Bewohner aus, generiert aber erst dann den höchsten NPV, wenn die zu leistende CO₂e-Abgabe auf über 5'665.- CHF pro Tonne CO₂ steigen würde.

In Bezug auf den Einfluss der **Speicherung von CO₂ in Baustoffen** und der **Wiederverwendung von Bauelementen** auf das Ergebnis, lässt sich feststellen:

- Die Verwendung eines CO₂e-angereicherten Betons beim Ersatzneubau verringert die während der Erstellung anfallenden CO₂e-Emissionen nur um 3%. Die dadurch bedingte Reduktion der CO₂e-Abgaben mit einer Höhe von 120.- CHF/t CO₂ reicht nicht aus, um die Mehrkosten zu kompensieren, welche der Einsatz des Spezialbetons auslöst.
- Hingegen hat die Wiederverwendung der bestehenden Tragstruktur in den Varianten Sanierung und Verdichtung einen weitaus grösseren Effekt. Durch sie wird im Vergleich zum Einsatz eines CO₂e-angereicherten Betons beim Ersatzneubau die fünffache Menge an CO₂e-Emissionen vermieden. Der Einfluss auf den NPV, der dadurch um rund 0,3% höher ausfällt, ist aber gering.
- **Schlussfolgerung:** CO₂e-angereicherte Baustoffe werden in der Debatte um den Klimawandel als vielversprechende Lösungen ins Feld geführt. Inwiefern entsprechende Baustoffe in der Praxis tatsächlich eine valable Lösung darstellen, ist im Rahmen eines Vergleichs mit den sich bietenden alternativen Handlungsoptionen – insbesondere auch dem Erhalt bestehender Strukturen – sorgfältig abzuwägen.

5.2 Ausblick

Mit dem vorgeschlagenen Bewertungsmodell steht ein wertvolles Instrument zur Verfügung, das die Berücksichtigung von CO₂e-Emissionen bei einer Projektierungsentscheidung erlaubt. In welchem Umfang für CO₂e-Emissionen in Zukunft Abgaben zu leisten sind, bleibt abzuwarten.

In Kapitel 4.2.3 wurden 5'665.- CHF pro Tonne CO₂ als die Höhe einer entscheidungsrelevanten CO₂e-Abgabe ermittelt. Diese könnten präzisiert werden, indem bei ihrer Herleitung auch die Fördergelder aus dem Gebäudeprogramm berücksichtigt werden. Letztere wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht beachtet.

Weiter sollte untersucht werden, inwiefern das Abwarten technologischer Fortschritte mittels Hinauszögern von Baumassnahmen eine valable Handlungsalternative darstellt. In Kapitel 3.8.4 wurde auf die Thematik hingewiesen, die im Rahmen einer Variantenstudie vertieft untersucht werden könnte.

Der Fokus auf die CO₂e-Emissionen bleibt auch in Zukunft wichtig. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass die Treibhausgasemission nur ein Aspekt unter vielen ist, wenn es um das Thema des nachhaltigen Bauens geht. Im untersuchten Fall verursacht die Variante Verdichtung pro Bewohner die geringsten CO₂e-Emissionen. Der Ersatzneubau bietet auf gleicher Grundstücksfläche aber deutlich mehr Bewohnern ein Zuhause. Daher sollte auch untersucht werden, inwiefern der Verzicht auf einen Ersatzneubau negative Auswirkungen wie einen erhöhten Landverbrauch oder Mehrverkehr aufgrund zusätzlich notwendiger Wohnbauten an dezentraleren Wohnlagen nach sich zieht.

6. Literaturverzeichnis

- Alig, M., Frischknecht, R., Krebs, L., Ramseier, L., & Stolz, P. (2021). *LCA of climate friendly construction materials*. Uster: treeze Ltd.
- BAFU. (2021). *Revision des CO₂-Gesetzes. Erläuternder Bericht zur Vernehmlassungsvorlage*. Bern: Autor.
- BAFU. (2022a). *Klima: Das wichtigste in Kürze*. Gefunden unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html>
- BAFU. (2022b). *Das Gebäudeprogramm*. Bern: Autor. Gefunden unter <https://www.dasgebaeudeprogramm.ch/de/>
- Baudirektion Kanton Zürich (2022). (o. J.). *Informationsbroschüre Förderprogramm 2022*. Zürich: Autor.
- Beuttler, C., Keel, S. G., Leifeld, J., Schmid, M., Berta, N., Gutknecht, V., Wohlgemuth, N., Bodmann, N., Stadler, Z., Tinibaev, D., Wlodarczak, D., Honegger, D., & Stettler, C. (2019). *The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy – Fundamentals and Recommended Actions*. Zürich: Risk Dialogue Foundation.
- BFS. (2020). *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone*. Neuchâtel: Autor.
- Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 23.12.2011, SR 641.71, Stand am 1.1.2022*. (o. J.).
- Chebbi Thomet Bucher Architektinnen AG, & BGS & Partner Architekten AG. (2021). *Planstand Baueingabe Ersatzneubau*. Zürich/Rapperswil-Jona: Autor.
- CRB. (2022a). *Modellbasierte Kostenermittlung nach eBKP*. Zürich: Autor. Gefunden unter <https://www.crb.ch/Stories/Modellbasierte-Kostenermittlung.html>
- CRB. (2022b). *Standards für die Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauwerken*. Zürich: Autor. Gefunden unter <https://www.crb.ch/Normen-Standards.html>
- durable Planung und Beratung GmbH. (2020). *Variantevergleich Gesamtenergie*. Zürich: Autor.
- Ecoplan. (2017). *Wirkungsabschätzung zur CO₂-Abgabe*. Bern: Autor.
- EnDK. (2014). *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE_n)*. Bern: Autor.
- Energie Zukunft Schweiz*. (2022, Mai 26). <https://energiezukunftschweiz.ch/weblication/grid5/tmpHTTP/directorylisting/>

- EnerGIS. (2022, Juni 26). Stadt Zürich - EnerGIS. Gefunden unter <https://www.stadt-zuerich.ch/energis/frontend/>
- Entwurf Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 17.12.2021. (o. J.).
- FPRE. (2022a). *Gemeindecheck Wohnen: Stadt Zürich, 2. Quartal 2022*. Zürich: Autor.
- FPRE. (2022b). *Metaanalyse Immobilien Schweiz*. Zürich: Autor.
- Fritschi, R. (2020). *CO₂-Absenkpfad Immobilien-Anlageportfolio: Analyse des zusätzlichen Finanzbedarfs anhand eines Fallbeispiels*. Zürich: Universität Zürich.
- Herzog, A. (2021). *Klima bauen*. Zürich: Edition Hochparterre.
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Genf: Autor.
- IPCC. (2022). *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Final Draft Chapter 1: Introduction and Framing*. Genf: Autor.
- Kanton Zürich. (2022). *Kanton Zürich—Wahlen & Abstimmungen*. Gefunden unter https://app.statistik.zh.ch/wahlen_abstimmungen/prod/#/Actual
- Kantonsrat Zürich. (2021). *Verfassung des Kantons Zürich, Änderung vom 25. Oktober 2021; Klimaschutz*. Zürich: Autor.
- KBOB. (2022). *Ökobilanzdaten im Baubereich*. Gefunden unter https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html
- Keystone-SDA. (2022). *Nationalrat lehnt Gletscher-Initiative ab und will Gegenvorschlag*. Bern: Autor. Gefunden unter https://www.parlament.ch/de/services/news/Seiten/2022/20220303133536274194158159038_bsd129.aspx
- Kindermann, M. (2021). *Gebäude mit Materialpass, Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf die Immobilienbewertung*. Zürich: Universität Zürich.
- Knüsel, P. (2022). *Transfer, Netto-Null, Handlungsoptionen für ein klimaneutrales Bauen*. Zürich: Espazium.
- Lemon Consult AG. (2021). *Aktennotiz SIA MB 2040*. Zürich: Autor.
- Meier + Steinauer Partner AG. (2016). *Gebäudezustand „Erneuerungsbedarf“*. Zürich: Autor.

- Minergie. (2022). *Tool Graue Energie Minergie-ECO®*. Gefunden unter <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/eco/>
- myclimate. (2022, Mai 26). *Myclimate*. Gefunden unter <https://myclimate.org/>
- Näf, P., Sacher, P., Dinkel, F., & Stettler, C. (2021). *Klimapositives Bauen—Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad*. Basel: Nova Energie Basel AG, Carbotech AG.
- Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS). (2022). *Anwendungshilfe SNBS 2.1 für Indikator 103.1 Nutzungsdichte, Version 2.11*. Zürich: Autor.
- Neustark—Beton mit Klimaziel. (2022). Gefunden unter <https://de.neustark.com>
- One Click LCA. (2018). *The Embodied Carbon Review*. Gefunden unter <https://www.oneclicklca.com/embodied-carbon-review/>
- Pensimo Management AG. (2020). *Studienauftrag Anton-Higi-Strasse, Bericht des Beurteilungsgremiums*. Zürich: Autor.
- planzeit GmbH. (2019). *Potentialstudie*. Zürich: Autor.
- Regimo Zürich AG. (2005). *Bestandspläne*. Zürich: Autor.
- Salza (im Auftrag des BAFU). (2020). *Wiederverwendung Bauen*. Zürich/Genf: Autor.
- Schläpfer, J., de Caes, P., Meier, S., Bracher, J., Brändle, A., Aroujo Sousa, T., Weinert, R., Wider, T., & Wild, N. (2022). *Die Wirkung von Nachhaltigkeit auf Immobilienwerte. Eine empirische Untersuchung über den Zusammenhang zwischen dem fossilen CO₂-Ausstoss von Wohnrenditeliegenschaften und deren Marktwert*. Zürich: Wüest Partner AG.
- Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung), (2022).
- Seitzmeier Verwaltungs AG. (1994). *Vermasste Umbaupläne Bestand*. Zürich: Autor.
- SIA. (2003). *SIA Norm 416 Flächen und Volumen von Gebäuden*. Zürich: Autor.
- SIA. (2014). *SIA Norm 112 Modell Bauplanung*. Zürich: Autor.
- SIA. (2015). *SIA Norm 380 Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*. Zürich: Autor.
- SIA. (2016). *SIA Merkblatt 2039 Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort*. Zürich: Autor.
- SIA. (2017). *SIA Merkblatt 2040 SIA-Effizienzpfad Energie*. Zürich: Autor.
- SIA. (2020a). *SIA 102 Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten*. Zürich: Autor.
- SIA. (2020b). *SIA Merkblatt 2032 Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden*. Zürich: Autor.

- SIA. (2022). *Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie*. Zürich: Autor. Gefunden unter <https://www.energytools.ch/index.php/de/downloads/tools/download/2-tools/66-tool-sia-2040-d>
- SIREA. (2019). *Zinssätze in der Immobilienbewertung*. St. Gallen: SIV.
- SNB. (2022). *Geldpolitische Lagebeurteilung vom 16. Juni 2022*. Zürich: Autor.
- Stadtkanzlei Zürich. (2022). *Zürich stimmt ab. Informationsbroschüre zu den kommunalen Sachvorlagen der Volksabstimmung vom 15.5.2022*. Zürich: Autor.
- Statista. (2022, Juli 2). *Schweiz—CO₂-Abgabe bis 2022*. Statista. Gefunden unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1008172/umfrage/co2-abgabe-in-der-schweiz/>
- Stiftung klik. (2022). *Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation*. Zürich: Autor. Gefunden unter <https://www.klik.ch/>
- SVKG. (2019). *Das Schweizerische Schätzerhandbuch*. Aarau: Autor.
- SVS. (2017). *Swiss Valuation Standard (SVS)*. Zürich: vdf Verlag.
- Tammler, N. (2014). *Leitfaden Graue Energie im Rahmen des Labels für nachhaltiges Bauen*. Bern: Losinger Marazzi AG.
- The World Bank. (2022). *State and Trends of Carbon Pricing 2022*. Washington DC: Autor.
- Übereinkommen von Paris vom 12.12.2015, SR 0.814.012, (2021). <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/619/de>
- UVEK. (2021). *Langfristige Klimastrategie der Schweiz*. Bern: Autor im Auftrag des Schweizerischen Bundesrats.
- Vereinte Nationen. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. New York: Autor.
- WBCSD. (2021). *Net-zero buildings, where do we stand?* London: Autor, in Zusammenarbeit mit ARUP.
- Wilding, B. (2021). *Finanzmathematische Grundlagen & Investitionsrechnung*. Zürich: Universität Zürich.
- Wüest Partner AG. (2021). *Den CO₂-Ausstoss Ihrer Immobilien bewerten und gezielt Massnahmen realisieren*. Gefunden unter <https://www.wuestpartner.com/ch-de/2021/11/15/co2-ausstoss-immobilien-bewerten/>
- Wüest Partner AG. (2022). *Bewertungsbericht ID 101-2923-125*. Zürich: Autor.

7. Anhang

Anhang 9

Übersicht CO₂e-Emissionen

PROJEKT	Ersatzneubau / Sanierung
ADRESSE	Anton Higi-Strasse 6-14
PLZ ORT	8046 Zürich

CO₂e-EMISSIONEN ERSTELLUNG

ERSTELLUNG GEM. RECHENHILFE TOOL SIA 2040				SANIERUNG			VERDICHTUNG			ERSATZNEUBAU							
BEREICH	BAUTEIL	BEZUG	EH	MENGE	AUSFÜHRUNGSVARIANTE	CO ₂ e p.a. [kg/m ² EBF]	MENGE	AUSFÜHRUNGSVARIANTE	CO ₂ e p.a. [kg/m ² EBF]	MENGE	AUSFÜHRUNGSVARIANTE	CO ₂ e p.a. [kg/m ² EBF]					
GEBÄUDE	Aushub	Volumen	m3	0	ohne Grundwasser	0,00	0,00	0	ohne Grundwasser	0,00	0,00	6'240	ohne Grundwasser	0,32	1,58		
UNTER TERRAIN	Fundament, Bodenplatte	BTF	m2	0	ungedämmt	0,00		0	ungedämmt	0,00		1'057	gedämmt	0,80			
	Aussenwand	BTF	m2	0	ungedämmt	0,00		0	ungedämmt	0,00		438	ungedämmt	0,23			
	Dach	BTF	m2	0	ungedämmt	0,00		0	ungedämmt	0,00		276	ungedämmt	0,23			
GEBÄUDE	Aussenwand: Tragwerk	BTF	m2	0	Backsteinwand	0,00	2,32	108	Holzwannd	0,02	2,53	1'058	Holzwannd	0,13	5,99		
ÜBER TERRAIN	(Reserve)	BTF	m2	0	Backsteinwand	0,00		0	Backsteinwand	0,00		0	Backsteinwand	0,00			
	Aussenwand: Aufbau	BTF	m2	1'026	Verputzte Aussenwärmedämmung	0,58		1'134	Verputzte Aussenwärmedämmung	0,58		1'058	Bekleidung leicht, hinterlüftet	0,35			
	(Reserve)	BTF	m2	0	Bekleidung leicht, hinterlüftet	0,00		0	Bekleidung leicht, hinterlüftet	0,00		0	Bekleidung leicht, hinterlüftet	0,00			
	Fenster inkl. Sonnenschutz	BTF	m2	234		0,57		265		0,58		557		0,99			
	Innenwände	BTF	m2	551		0,33		773		0,42		3'176		1,40			
	Decke: Tragwerk	BTF	m2	0	Betondecke (25 cm)	0,00		236	Holzelementdecke	0,06		3'199	Betondecke (25 cm)	1,45			
	(Reserve)	BTF	m2	0	Betondecke (25 cm)	0,00		0	Betondecke (25 cm)	0,00		0	Betondecke (25 cm)	0,00			
	Decke: Aufbau	BTF	m2	1'361	Bodenbelag ohne Unterlagsboden	0,25		1'571	Bodenbelag ohne Unterlagsboden	0,26		2'166	Unterlagsboden und Bodenbelag	0,73			
	(Reserve)	BTF	m2	998	Dämmung gegen unbeheizt	0,14		998	Dämmung gegen unbeheizt	0,12		771	Dämmung gegen unbeheizt	0,08			
	Balkon	BTF	m2	0		0,00		0		0,00		0		0,00			
	Dach: Tragwerk	BTF	m2	0	Holzelementdecke	0,00		260	Holzelementdecke	0,07		771	Betondecke (25 cm)	0,35			
	(Reserve)	BTF	m2	0	Dach, Tragwerk:	0,00		0	Dach, Tragwerk:	0,00		0	Dach, Tragwerk:	0,00			
	Dach: Aufbau	BTF	m2	783	gedämmt (Geneigtes Dach)	0,47		523	gedämmt (Geneigtes Dach)	0,28		771	gedämmt (Flachdach)	0,51			
	(Reserve)	BTF	m2	0	Dach Aufbau:	0,00		260	gedämmt (Geneigtes Dach)	0,14		0	Dach Aufbau:	0,00			
GEBÄUDETECHNIK	Elektroanlage	EBF	m2	2'180	Elektroanlage inklusiv Verteilung	0,43	2,03	2'416	Elektroanlage inklusiv Verteilung	0,43	1,97	2'958	Elektroanlage inklusiv Verteilung	0,43	2,24		
	Photovoltaikanlage	max. Leis kWp		21	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,63		21	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,57		33	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,72			
	Wärmeanlage	EBF	m2	2'180	Wärmeanlage inklusiv Verteilung	0,59		2'416	Wärmeanlage inklusiv Verteilung	0,59		2'958	Wärmeanlage inklusiv Verteilung	0,59			
		EBF	m2	2'180	nur Erdsonde	0,00		2'416	nur Erdsonde	0,00		2'958	nur Erdsonde	0,00			
		EBF	m2	0	Abzug Wärmeerzeugung	0,00		0	Abzug Wärmeerzeugung	0,00		0	Abzug Wärmeerzeugung	0,00			
	Thermische Solarkollektoren	BTF	m2	0	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,00		0	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,00		0	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,00			
	Lufttechnische Anlage	EBF	m2	0	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,00		0	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,00		2'958	(Eingabe im Blatt "Betrieb")	0,12			
	Wasseranlage	EBF	m2	2'180	Sanitäranlage inkl. Verteilung	0,38		2'416	Sanitäranlage inkl. Verteilung	0,38		2'958	Sanitäranlage inkl. Verteilung	0,38			
PROJEKTWERT						4,36	PROJEKTWERT						4,50	PROJEKTWERT		3,83	9,81

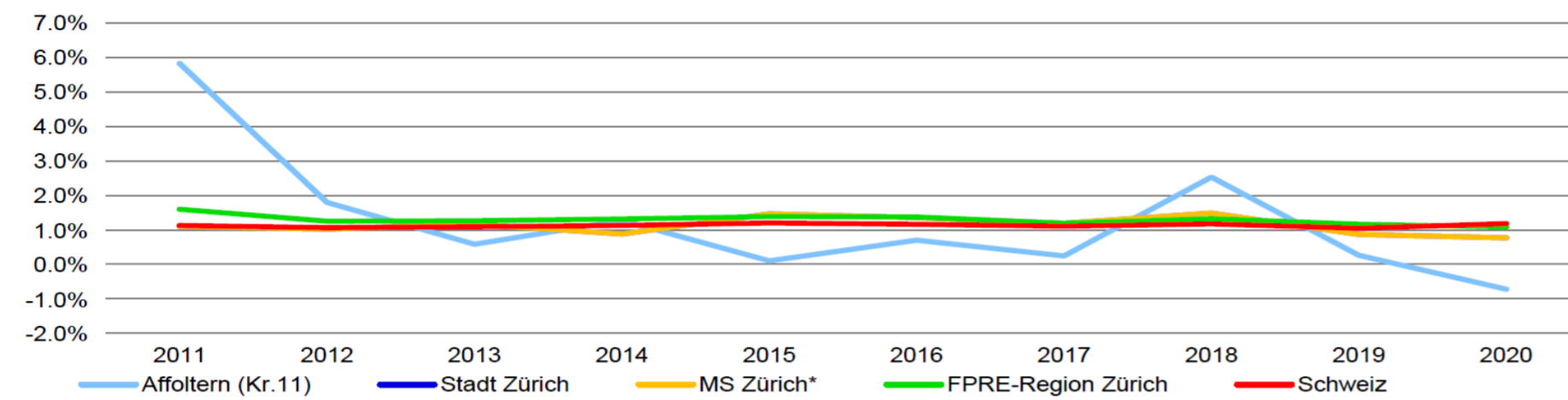
Abkürzungserklärung: EBF = Energiebezugsfläche
BTF = Bauteilfläche

Marktdaten und projektspezifische Mietpreisannahmen

PROJEKT	Ersatzneubau / Sanierung
ADRESSE	Anton Higi-Strasse 6-14
PLZ ORT	8046 Zürich

MARKTDATEN FAHRLÄNDER PARTNER AG - 2.QUARTAL 2022

Anteil der neu erstellten Wohnungen am Gesamtwohnungsbestand:



* Die MS-Region Zürich entspricht der Stadt Zürich.
Anmerkung: Da für 2020 noch keine Zahlen zum Neubau publiziert sind, wird in diesem Jahr mit dem Wohnungszugang gerechnet.

Leerstandsquote Stadt Zürich:

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Stadt (abs.)	206	242	471	483	484	454	447	306	339	381
davon Neubau	61	17	132	192	146	142	87	80	83	31
davon Eigentum	1	24	37	37	73	30	20	39	26	26
Stadt (%)	0.10	0.11	0.22	0.22	0.22	0.21	0.20	0.14	0.15	0.17

Quelle: BFS, Modellierungen Fahrländer Partner.

Leerstandsquote Affoltern (Kr.11):

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Affoltern (Kr.11) (abs.)	9	3	13	7	10	31	19	23	11	8
davon Neubau	-	0	0	0	0	12	2	21	2	0
davon Einfamilienhäuser	-	-	2	0	0	2	1	2	1	0
Affoltern (Kr.11) (%)	0.08	0.03	0.11	0.06	0.09	0.26	0.16	0.19	0.09	0.07

Quelle: Statistik Stadt Zürich, Modellierungen Fahrländer Partner.

Diskontierungssatz MWG-Nutzung, Quartier Affoltern (Kr.11):

netto, real (Neubau, durchschnittlicher Standard und durchschnittliche Mikrolage)	2.2%
---	------

Quelle: IMBAS Fahrländer Partner. Datenstand: 31. März 2022.

PROJEKTSPEZIFISCHE MIETPREISANNAHMEN

VARIANTE SANIERUNG & VERDICHTUNG	[m2]	[CHF/m2 p.a.]	[CHF]	[CHF/WHG p.M.]
5.5 Zi	0	277	0	0
4.5 Zi	372	278	103'416	2'155
3.5 Zi	444	297	131'868	1'832
3 Zi	420	307	128'940	1'791
2.5 Zi	0	317	0	0
Total	1'236		364'224	

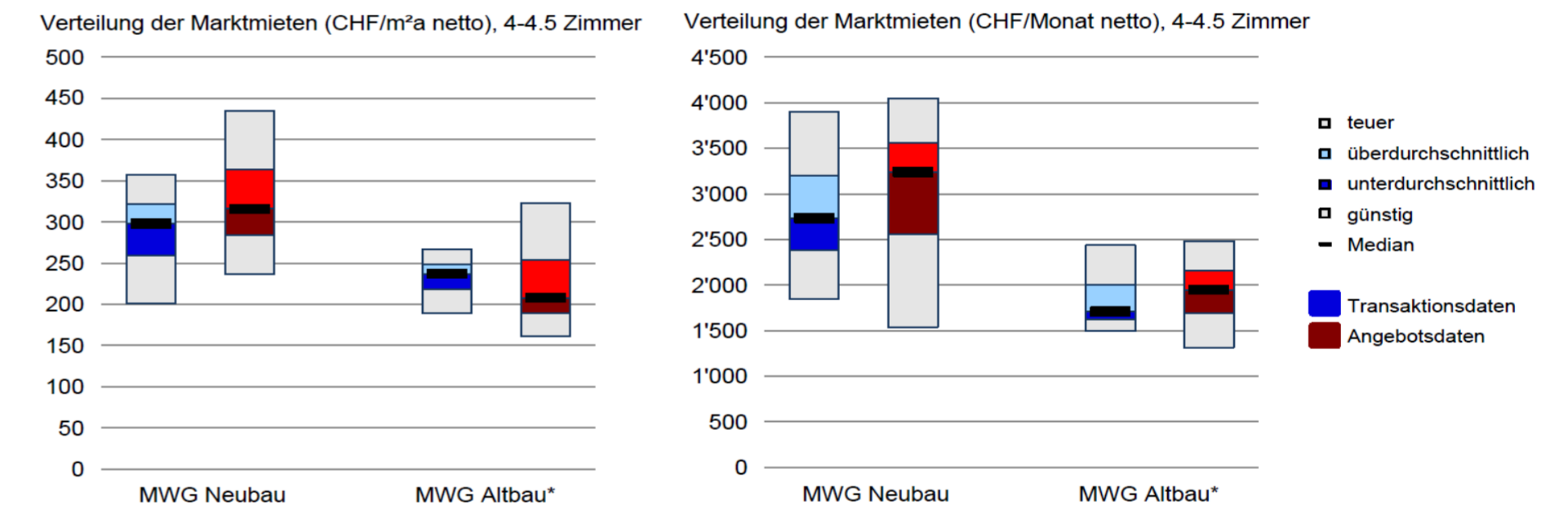
Durchschnittlicher flächengewichteter Mietpreis **295** [CHF/m2 p.a.]
Anmerkung: Entspricht ca. Mittelwert von Median Alt-/Neubau gemäss Angebotsdaten
Annahme: Transaktionsdaten Neubau abzüglich 20.-CHF/m2 da "nur" Altbausanierung

Marktmieten von Wohnungen, Quartier Affoltern (Kr.11):

	CHF/m2a	CHF/Monat (netto)
4.5-Zimmer-Wohnung Neubau (110 m² HNF SIA 416)*	298	2'735
4.5-Zimmer-Wohnung Altbau (100 m² HNF SIA 416)**	259	2'160
3.5-Zimmer-Wohnung Neubau (90 m² HNF SIA 416)*	317	2'375
2.5-Zimmer-Wohnung Neubau (70 m² HNF SIA 416)*	337	1'965
1.5-Zimmer-Wohnung Neubau (45 m² HNF SIA 416)*	357	1'340

* Im 1. OG, durchschnittlich ausgebaut, Balkon vorhanden, durchschnittliche Mikrolage.
** Baujahr vor 30 Jahren, Zustand intakt-gut, im 1. OG, Balkon vorhanden, durchschnittliche Mikrolage.
Quelle: IMBAS Fahrländer Partner. Datenstand: 31. März 2022.

Verteilung der Marktmieten von Wohnungen, Quartier Affoltern (Kr.11):



* Altbau: Objekte mit Baujahr vor 2015.
Quelle: IMBAS Fahrländer Partner. Datenstand: 31. März 2022.

VARIANTE ERSATZNEUBAU

	[m2]	[CHF/m2 p.a.]	[CHF]	[CHF/WHG p.M.]
5.5 Zi	464	357	165'648	3'451
4.5 Zi	967	318	307'347	2'561
3.5 Zi	534	337	179'790	2'140
3 Zi	0	347	0	0
2.5 Zi	178	357	63'368	1'760
Total	2'142		716'152	

Durchschnittlicher flächengewichteter Mietpreis **334** [CHF/m2 p.a.]

20%

Flächen & Volumen gemäss SIA 416 VARIANTE SANIERUNG

PROJEKT	VARIANTE SANIERUNG
ADRESSE	Anton Higi-Strasse 6-14
PLZ ORT	8046 Zürich

PROJEKTKENNZAHLEN	[% von GF]	WOHNUNGSSPIEGEL	[Stk.]	Typ 1 [Stk.]	Typ 1 [m2]	Typ 2 [Stk.]	Typ 2 [m2]	Typ 3 [Stk.]	Typ 3 [m2]	ø [m2/Whg.]
FF OBERIRDISCH (Annahme)	0,2%	4.5 Zi	4	4	93					93
FF UNTERIRDISCH (Annahme)	20,0%	3.5 Zi	6	6	74					74
		3 Zi	6	6	70					70
GEBÄUDEHÜLLZAHL (Thermische Get)	1,15	2.5 Zi	0							
ENERGIEBEZUGSFLÄCHE (A _E)	2'180	Total	16							Total vermietbare Wohnfläche: 1'236
davon im UG:	24	PP innen	6							
INNENTRENNWÄNDE	2'078	PP aussen	0							
SCHRÄGDACHFLÄCHE	783									

Grundstück	Anteil Vers.	Begrünt	Versiegelt	Bebaut
[m2]	[%]	[m2]	[m2]	[m2]
2'286,0	30,0%	1'181,6	506,4	598,0

FLÄCHEN SIA 416

		FLÄCHEN SIA 416										Begehbar (nur OG ohne)	Nicht begehbar	
		GF	NGF	NF	HNF		NNF	FF	VF	KF	AGF			
		[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[% von GF]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]			
DACHEINDECKUNG														
DG		598,0	475,2	474,0	0,0	0,0%	474,0	1,2	0,0	122,8	0,0	0	0	
2.OG	OBER-IRD.	362,0	314,3	288,0	288,0	79,6%	0,0	0,7	25,6	47,7	10,0	10	0	
1.OG		598,0	523,6	474,0	474,0	79,3%	0,0	1,2	48,4	74,4	15,0	15	0	
EG		598,0	523,6	474,0	474,0	79,3%	0,0	1,2	48,4	74,4	0,0	0	0	
Total		2'156,0	1'836,7	1'710,0	1'236,0	57,3%	474,0	4,3	122,4	319,3	25,0	25,0	0,0	
1.UG	UNTER-IRD.	598,0	522,4	354,4	0,0		354,4	119,6	48,4	75,6	0,0			
		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Total		598,0	522,4	354,4	0,0		354,4	119,6	48,4	75,6	0,0	0,0	0,0	
BODENPLATTE (BP)		598,0												
TOTAL exkl. DACH & BP		2'754,0	2'359,1	2'064,4	1'236,0		828,4	123,9	170,8	394,9	25,0	25,0	0,0	

VOLUMEN SIA 416

Durchschn. Geschosshöhe	Gebäudevolumen (GV)	
[m]	[m3]	
0,20	120	
1,10	658	
2,72	985	
2,72	1'627	
2,72	1'627	
9,46	5'015	74%
2,72	1'627	
	0	
	0	
2,72	1'627	24%
0,25	150	2%
12,43	6'791	100%
Inkl. Dach & BP!		

FASSADENFLÄCHEN

Fassadenabwicklung	Fassadenhöhe	Fassadenfläche	Fensteranteil	Opak (Geschlos.)	Transparent (Fenster)
[m]	[m]	[m2]	[%]	[m2]	[m2]
0,0	0,00	0,0	0,0%	0,0	0,0
61,2	1,10	67,3	0,0%	67,3	0,0
111,8	2,72	304,1	17,7%	250,3	53,8
163,2	2,72	443,9	19,3%	358,2	85,7
163,2	2,72	443,9	21,2%	349,8	94,1
		1'259,2	18,5%	1'025,7	233,5
163,2	2,02	329,7	0,0%	329,7	0,0
		329,7	0,0%	329,7	0,0
		1'588,9	14,7%	1'355,4	233,5

Flächen & Volumen gemäss SIA 416 VARIANTE VERDICHTUNG

PROJEKT	VARIANTE VERDICHTUNG
ADRESSE	Anton Higi-Strasse 6-14
PLZ ORT	8046 Zürich

PROJEKTKENNZAHLEN	[% von GF]	WOHNUNGSSPIEGEL	[Stk.]	Typ 1 [Stk.]	Typ 1 [m2]	Typ 2 [Stk.]	Typ 2 [m2]	Typ 3 [Stk.]	Typ 3 [m2]	ø [m2/Whg.]
FF OBERIRDISCH (Annahme)	0,2%	4.5 Zi	6	6	93					93
FF UNTERIRDISCH (Annahme)	20,0%	3.5 Zi	6	6	74					74
		3 Zi	6	6	70					70
GEBÄUDEHÜLLZAHL (Thermische Gel)	1,09	2.5 Zi	0							
ENERGIEBEZUGSFLÄCHE (A _E)	2'416	Total	18							Total vermietbare Wohnfläche: 1'422
davon im UG:	24	PP innen	6							
INNENTRENNWÄNDE	2'390	PP aussen	0							
SCHRÄGDACHFLÄCHE	783									

UMGEBUNGSFLÄCHEN				
Grundstück	Anteil Vers.	Begrünt	Versiegelt	Bebaut
[m2]	[%]	[m2]	[m2]	[m2]
2'286,0	30,0%	1'181,6	506,4	598,0

FLÄCHEN SIA 416

	OBER-IRD.	UNTER-IRD.	GF	NGF	NF	HNF	NNF	FF	VF	KF	AGF	Begehbar	Nicht
			[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
DACHEINDECKUNG													
DG			598,0	475,2	474,0	0,0	0,0%	474,0	1,2	0,0	122,8	0,0	0
2.OG Aufstockung			236,0	209,3	186,0	186,0	78,8%	0,0	0,5	22,8	26,7	5,0	0
2.OG			362,0	314,3	288,0	288,0	79,6%	0,0	0,7	25,6	47,7	10,0	0
1.OG			598,0	523,6	474,0	474,0	79,3%	0,0	1,2	48,4	74,4	15,0	0
EG			598,0	523,6	474,0	474,0	79,3%	0,0	1,2	48,4	74,4	0,0	0
Total			2'392,0	2'046,0	1'896,0	1'422,0	59,4%	474,0	4,8	145,2	346,0	30,0	0,0
1.UG			598,0	522,4	354,4	0,0		354,4	119,6	48,4	75,6	0,0	
			0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		
			0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		
Total			598,0	522,4	354,4	0,0		354,4	119,6	48,4	75,6	0,0	0,0
BODENPLATTE (BP)			598,0										
TOTAL exkl. DACH & BP			2'990,0	2'568,4	2'250,4	1'422,0		828,4	124,4	193,6	421,6	30,0	0,0

VOLUMEN SIA 416

Durchschn. Geschosshöhe	Gebäudevolumen (GV)	
[m]	[m3]	
0,20	120	
1,10	658	
2,72	642	
2,72	985	
2,72	1'627	
2,72	1'627	
12,18	5'657	76%
2,72	1'627	
	0	
	0	
2,72	1'627	22%
0,25	150	2%
15,15	7'433	100%

Inkl. Dach & BP!

FASSADENFLÄCHEN

Fassadenabwicklung	Fassadenhöhe	Fassadenfläche	Fensteranteil	Opak (Geschlos.)	Transparent (Fenster)
[m]	[m]	[m2]	[%]	[m2]	[m2]
0,0	0,00	0,0	0,0%	0,0	0,0
61,2	1,10	67,3	0,0%	67,3	0,0
51,4	2,72	139,8	22,8%	107,9	31,9
111,8	2,72	304,1	17,7%	250,3	53,8
163,2	2,72	443,9	19,3%	358,2	85,7
163,2	2,72	443,9	21,2%	349,8	94,1
		1'399,0	19,0%	1'133,6	265,4
163,2	2,02	329,7	0,0%	329,7	0,0
		329,7	0,0%	329,7	0,0
		1'728,7	15,4%	1'463,3	265,4

Flächen & Volumen gemäss SIA 416 VARIANTE ERSATZNEUBAU

PROJEKT	VARIANTE ERSATZNEUBAU
ADRESSE	Anton Higi-Strasse 6-14
PLZ ORT	8046 Zürich

PROJEKTKENNZAHLEN	[% von GF]	WOHNUNGSSPIEGEL							Total	ø [m2/Whg.]
		[Stk.]	EG	1.OG	2.OG	3.OG				
FF OBERIRDISCH (Annahme)	1,0%	5.5 Zi	4	0	2	2			464,0	116,0
FF UNTERIRDISCH	4,4%	4.5 Zi	10	3	3	3	1		966,5	96,7
	[m2]	3.5 Zi	7	3	1	1	2		533,5	76,2
GEBÄUDEHÜLLZAHL (Thermische Gel)	1,03	2.5 Zi	3				3		177,5	59,2
ENERGIEBEZUGSFLÄCHE (A _E)	2'958	Total	24						Total vermietbare Wohnfläche:	2'142
davon im UG:	45									
INNENTRENNWÄNDE		Gemäss SIA 2040	PP innen	14						
SCHRÄGDACHFLÄCHE	783		PP aussen	0						

UMGEBUNGSFLÄCHEN				
Grundstück	Anteil Vers.	Begrünt	Versiegelt	Bebaut
[m2]	[%]	[m2]	[m2]	[m2]
2'286,0	30,0%	1'060,9	454,7	770,5

FLÄCHEN SIA 416

		GF	NGF	NF	HNF		NNF	FF	VF	KF	AGF	Begehbar	
		[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[% von GF]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	(nur OG ohne	Nicht begehbar
												[m2]	[m2]
DACHEINDECKUNG													
3.OG	OBER-IRD.	601,8	487,4	436,8	436,8	72,6%	0,0	6,0	44,6	114,4	144,0	144	0
2.OG		770,5	644,4	592,1	592,1	76,8%	0,0	7,7	44,6	126,1	70,0	70	0
1.OG		770,5	644,4	592,1	592,1	76,8%	0,0	7,7	44,6	126,1	70,0	70	0
EG		770,5	597,6	545,3	526,5	68,3%	18,8	7,7	44,6	172,9	35,0	35	0
Total		2'913,3	2'373,8	2'166,3	2'147,5	73,7%	18,8	29,1	178,4	539,5	319,0	319,0	0,0
1.UG	UNTER-IRD.	1'056,5	925,1	834,0	0,0		834,0	46,5	44,6	131,4	0,0	0,0	0,0
		0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0		
		0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0		
Total		1'056,5	925,1	834,0	0,0		834,0	46,5	44,6	131,4	0,0	0,0	0,0
BODENPLATTE (BP)		1'056,5											
TOTAL exkl. DACH & BP		3'969,8	3'298,9	3'000,3	2'147,5		852,8	75,6	223,0	670,9	319,0	319,0	0,0

VOLUMEN SIA 416

Durchschn. Geschosshöhe	Gebäudevolumen (GV)	
[m]	m3	
0,00	0	
3,21	1'932	
2,98	2'296	
2,81	2'165	
2,81	2'165	
11,81	8'558	71%
2,98	3'148	
	0	
	0	
2,98	3'148	26%
0,35	370	3%
15,14	12'076	100%
Inkl. Dach & BP!		

FASSADENFLÄCHEN

Fassadenabwicklung	Fassadenhöhe	Fassadenfläche	Fensteranteil	Opak (Geschlos.)	Transparent (Fenster)
[m]	[m]	[m2]	[%]	[m2]	[m2]
0,0	0,00	0,0	0,0%	0,0	0,0
133,8	3,21	429,5	32,4%	290,2	139,3
137,8	2,98	410,6	33,9%	271,4	139,3
137,8	2,81	387,2	36,0%	248,0	139,3
137,8	2,81	387,2	36,0%	248,0	139,3
146,8	2,98	437,5	0,0%	437,5	0,0
		437,5	0,0%	437,5	0,0
		2'052,0	27,1%	1'495,0	557,0

Herleitung Baukosten

SANIERUNG						
Gebäude:			Umgebung:			
	[m2]		[m2]		[m2]	
GF oberirdisch (Aufstockur 0		GF Untergeschosse	598	Umgebungsfläche versiege	506	
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	GF Bodenplatte	598	Umgebungsfläche begrünt	1'182	
	FLÄCHE	EHP	TOTAL 1	TOTAL 2	ANTEIL	ANMERKUNG
	[m2]	[CHF/m2]	[CHF]	[CHF]	[%]	
BKP 1 VORBEREITUNGSARBEITEN				125'740		
GF oberirdisch (Aufstockung)	0	0	0			
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	50	107'800			Abbrucharbeiten innen
GF unterirdisch	598	30	17'940			Abbrucharbeiten innen
GF Bodenplatte	598	0	0			
BKP 2 GEBÄUDE				2'610'800		
GF oberirdisch (Aufstockung)	0	0	0			
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	1'100	2'371'600			Ohne Ersatz UB, Komplettersatz HLKSE
GF unterirdisch	598	400	239'200			Komplettersatz HLKSE
GF Bodenplatte	598	0	0			
BKP 3 BETRIEBSEINRICHTUNGEN				28'000		
Geräte (WM / TM)	14	2'000	28'000			
BKP 4 UMGEBUNG				244'760		
Umgebungsfläche versiegelt	506	250	126'600			
Umgebungsfläche begrünt	1'182	100	118'160			
TOTAL BKP 1-4				3'009'300	100%	
Baunebenkosten	% von BKP 1-4	2%	60'186			
Honorare	% von BKP 1-4	25%	752'325			
Reserve	% von BKP 2	8%	208'864			
TOTAL BKP 5				1'021'375	34%	
			exkl. MwSt.	4'030'675	134%	
TOTAL			inkl. MwSt.	4'341'037		

VERDICHTUNG						
Gebäude:			Umgebung:			
	[m2]		[m2]		[m2]	
GF oberirdisch (Aufstockur 236		GF Untergeschosse	598	Umgebungsfläche versiege	506	
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	GF Bodenplatte	598	Umgebungsfläche begrünt	1'182	
	FLÄCHE	EHP	TOTAL 1	TOTAL 2	ANTEIL	ANMERKUNG
	[m2]	[CHF/m2]	[CHF]	[CHF]	[%]	
BKP 1 VORBEREITUNGSARBEITEN				132'820		
GF oberirdisch (Aufstockung)	236	30	7'080			Abbruch Dach bei Aufstockung
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	50	107'800			Abbrucharbeiten innen
GF unterirdisch	598	30	17'940			Abbrucharbeiten innen
GF Bodenplatte	598	0	0			
BKP 2 GEBÄUDE				3'059'200		
GF oberirdisch (Aufstockung)	236	1'900	448'400			
GF oberirdisch (Bestand)	2'156	1'100	2'371'600			Ohne Ersatz UB, Komplettersatz HLKSE
GF unterirdisch	598	400	239'200			Komplettersatz HLKSE
GF Bodenplatte	598	0	0			
BKP 3 BETRIEBSEINRICHTUNGEN				32'000		
Geräte (WM / TM)	16	2'000	32'000			
BKP 4 UMGEBUNG				244'760		
Umgebungsfläche versiegelt	506	250	126'600			
Umgebungsfläche begrünt	1'182	100	118'160			
TOTAL BKP 1-4				3'468'780	100%	
Baunebenkosten	% von BKP 1-4	2%	69'376			
Honorare	% von BKP 1-4	25%	867'195			
Reserve	% von BKP 2	8%	244'736			
TOTAL BKP 5				1'181'307	34%	
			exkl. MwSt.	4'650'087	134%	
TOTAL			inkl. MwSt.	5'008'143		

ERSATZNEUBAU						
Gebäude:			Umgebung:			
	[m2]		[m2]		[m2]	
GF oberirdisch (Neubau)	2'913	GF Untergeschosse	1'057	Umgebungsfläche versiege	455	
GF Bestand (Abbruch)	2'754	GF Bodenplatte	1'057	Umgebungsfläche begrünt	1'061	
	FLÄCHE	EHP	TOTAL 1	TOTAL 2	ANTEIL	ANMERKUNG
	[m2]	[CHF/m2]	[CHF]	[CHF]	[%]	
BKP 1 VORBEREITUNGSARBEITEN				539'525		
GF oberirdisch (Neubau)	0	0	0			
GF Bestand (Abbruch)	2'754	100	275'400			Abbruch Bestand
GF unterirdisch	1'057	250	264'125			Aushub & Baugrubenabschlüsse
GF Bodenplatte	1'057	0	0			
BKP 2 GEBÄUDE				8'034'025		
GF oberirdisch (Neubau)	2'913	2'250	6'554'925			Aufw. Fassadenabwicklung, viel AGF
GF oberirdisch (Bestand)	0	0	0			Ohne Ersatz UB, Komplettersatz HLKSE
GF unterirdisch	1'057	1'150	1'214'975			Komplettersatz HLKSE
GF Bodenplatte	1'057	250	264'125			Inkl. Anteil Werkleitungen unter Bodenplatte
BKP 3 BETRIEBSEINRICHTUNGEN				48'000		
Geräte (WM / TM)	24	2'000	48'000			
BKP 4 UMGEBUNG				219'748		
Umgebungsfläche versiegelt	455	250	113'663			
Umgebungsfläche begrünt	1'061	100	106'085			
TOTAL BKP 1-4				8'841'298	100%	
Baunebenkosten	% von BKP 1-4	2%	176'826			
Honorare	% von BKP 1-4	23%	2'033'498			
Reserve	% von BKP 2	5%	401'701			
TOTAL BKP 5				2'612'026	30%	
			exkl. MwSt.	11'453'323	130%	
TOTAL			inkl. MwSt.	12'335'229		

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „CO₂-Emissionen als Einflussfaktor in der Bewertung von Immobilienprojekten - eine Fallstudie“ 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 4.8.2022

Klaus Müller