



**Universität  
Zürich** UZH

## **Abschlussarbeit**

zur Erlangung des  
Master of Advanced Studies in Real Estate

### **Holz im konstruktiven Hochbau**

Untersuch der Klimafreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit am Beispiel  
eines Referenzbaus

Verfasser:

Kiener

Stefan Martin

Wartstrasse 158, 8400 Winterthur

Eingereicht bei:

Dr. Max Kersting

Abgabedatum:

05.09.2022

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
Glossar .....	VII
Executive Summary .....	IX
1. Einleitung .....	1
1.1 Ausgangslage .....	1
1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Hypothese .....	2
1.3 Abgrenzung der Forschungsfragen .....	2
1.4 Vorgehen .....	3
1.5 Gliederung der Arbeit .....	3
2. Theoretische Grundlagen .....	4
2.1 Klimatischer Kontext .....	4
2.1.1 Klima .....	4
2.1.2 Treibhausgase und ihre Folgen .....	5
2.2 Baustoffe: Holz und Beton .....	7
2.2.1 Holz .....	7
2.2.2 Stahlbeton .....	11
2.3 Grundlagen der Ökobilanzierung .....	13
2.3.1 Allgemein .....	13
2.3.2 Ermittlung und Herkunft der Sachbilanzen .....	14
2.3.3 Regelung der Bauteilabmessungen und Bezugsflächen .....	15
2.3.4 Struktur und Berechnung von Ökobilanzierungen .....	16
2.3.5 Senken .....	17
2.4 Instrumente der Immobilienbewertung .....	18
2.4.1 Allgemein .....	18
2.4.2 Funktionsweise der DCF-Berechnung .....	19

2.4.3	Inputparameter.....	20
3.	Empirische Untersuchung.....	21
3.1	Forschungsdesign.....	21
3.1.1	Methode.....	21
3.1.2	Bilanzperimeter .....	22
3.2	Vergleichsstudie.....	23
3.2.1	Gebäudetyp.....	23
3.2.2	Referenzobjekt.....	25
3.2.3	Planungsvorgaben an die Vergleichsobjekte.....	27
3.2.4	Bauliche Merkmale der Vergleichsobjekte .....	30
3.2.5	Eingabegrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	34
3.3	Ergebnisse Ökobilanzierung.....	36
3.3.1	Erstellung.....	36
3.3.2	Betrieb .....	41
3.4	Wirtschaftlichkeit.....	41
3.4.1	Auswertung Mietflächen .....	41
3.4.2	Berechnung der Wirtschaftlichkeit.....	42
3.5	Beantwortung der Forschungsfragen .....	43
4.	Schlussbetrachtung .....	43
4.1	Fazit .....	43
4.2	Diskussion.....	45
4.3	Ausblick .....	45
	Literaturverzeichnis .....	46
	Anhang 1: Detailkalkulationen.....	50
	Anhang 2: Heizwärmebedarfsberechnung nach SIA 380/1 .....	51
	Anhang 3: Investitionswertberechnung (DCF).....	52
	Anhang 4: Architekturpläne der Vergleichsobjekte .....	53

**Abkürzungsverzeichnis**

Agroscope	Schweizerische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BfS	Bundesamt für Statistik
CHF	Schweizer Franken
EBF	Energiebezugs Fläche
eBKP-H	elementbasierter Baukostenplan Hochbau
Empa	Eidgenössische Materialprüfungsanstalt
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
GKAT	Gebäudekategorie
GWP	Global Warming Potential
GWR	Eidgenössisches Gebäude- und Wohnregister
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
KBOB	Koordinationsgremium der Bauorgane des Bundes
LSV	Lärmschutzverordnung
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
NCCS	National Centre of Climate Services
PE	Primärenergie
PSI	Paul-Scherrer-Institut
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
THG-E	Treibhausgasemissionen
u.a.m.	und andere(s) mehr
u.Ä.	und Ähnlich(er/e/es)
UVEK	Bundesamt für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VKF	Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Temperaturentwicklung in der Schweiz und Global seit 1864 (Bundesamt für Umwelt (BAFU), ohne Datum) .....	6
Abbildung 2: Prinzipskizze der Rahmenbauweise (Meyer, 2004).....	10
Abbildung 3: Phasengliederung nach SN EN 15804 und Definition der Bilanzpositionen für den Bereich nach SIA 2032 Erstellung (Klammer bedeutet teilweise Berücksichtigung).....	17
Abbildung 4: Berechnungsformel des Net Present Values (NPV) (Wilding, 2021).....	19
Abbildung 5: Anzahl und Fläche schweizweit erstellter Gebäude nach Gebäudekategorie zwischen 2011 – 2020 (Daten: Bundesamt für Statistik (BFS), 2021) .....	24
Abbildung 6: Mehrfamilienhäuser nach Anzahl Wohnungen und erstellter Flächen zwischen 2011 – 2020 (Daten: Bundesamt für Statistik (BFS), 2021) .....	24
Abbildung 7: Obergeschossgrundriss Baubewilligungsprojekt Studhaldenhöhe 12a, Luzern (GKS-Architekten Generalplaner AG, 2021).....	26
Abbildung 8: Schichtenaufbau Aussenwand über Terrain Massivbau (erstellt aus ubakus.de).....	32
Abbildung 9: Schichtenaufbau Aussenwand über Terrain Holzbau (erstellt aus ubakus.de) .....	34
Abbildung 10: kumulierter Treibhausgasausstoss über den Lebenszyklus von Massiv- und Holzbauweise .....	36
Abbildung 11: annualisierter Treibhausgasausstoss beim Holzleichtbau nach Energiestandard und Datenbasis des untersuchten Holzbaus (grün) und der Studie von Lignum-Holzwirtschaft Schweiz von 2011 (blau) (Daten: (Lignatec, 2011); eigene Daten) .....	37
Abbildung 12: kumulierter Treibhausgasausstoss über den Lebenszyklus nach primärer Datenerfassungsstruktur nach SIA 2032 von Massiv- und Holzbauweise.....	38
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen pro Quadratmeter Aussenwandkonstruktion von Referenzobjekt und entwickelter Holzbauvariante.....	40
Abbildung 14: Flächenauswertung nach Flächendefinition SIA 416 pro Quadratmeter	42

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Inputparameter für die Bewertung nach der Discounted Cash Flow-Methode .....	35
--	----

**Glossar**

Emission	Abgabe von Schadstoffen, Schall oder Strahlung aus natürlichen oder anthropogenen (vom Menschen verursachten) Quellen in die Umwelt.
Biogenes CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Verbrennung von biologischem Material. Wird nach aktuellem Kyoto-Protokoll als CO <sub>2</sub> -neutral eingestuft.
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	Farbloses, nicht brennbares Gas, das in der Luft und in Mineralquellen vorkommt. Es entsteht als Hauptprodukt aus der Verbrennung und ist das wichtigste anthropogen erzeugte klimawirksame Spurengas.
CO <sub>2</sub> -Äquivalent [CO <sub>2</sub> eq.]	Durch die CO <sub>2</sub> -Äquivalenz soll die Vergleichbarkeit von klimawirksamen Treibhausgasen gewährleistet werden Definition Emissionen anderer Treibhausgase als CO <sub>2</sub> (CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFKW, PFKW und SF <sub>6</sub> ) werden zur besseren Vergleichbarkeit entsprechend ihrem globalen Erwärmungspotenzial (GWP, Global Warming Potential ) in CO <sub>2</sub> -Äquivalente umgerechnet; 1 kg CH <sub>4</sub> entspricht 25 kg CO <sub>2</sub> , 1 kg N <sub>2</sub> O entspricht 298 kg CO <sub>2</sub> .
Primärenergie [kWh]	Die Rohenergie vor Umwandlung in Sekundärenergie wird als Primärenergie bezeichnet. Zur Rohenergie gehören z.B. Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Sonnenenergie, Windkraft, Erdwärme u.dgl.
nicht erneuerbare Primärenergie [kWh]	Primärenergie, die aus erschöpflichen Quellen gewonnen wird. Zu den erschöpflichen Quellen zählen Rohöl, Kohle, Erdgas, Uran u.a.m.
erneuerbare Primärenergien [kWh]	Primärenergie, die aus Quellen gewonnen wird, die durch Nutzung nicht erschöpft werden können. Zu den nicht erschöpflichen Quellen zählen die Sonnenenergie, Windkraft, Erdwärme und die Energie aus Biomasse.
Graue Energie [kWh]; [kWh/m <sup>2</sup> ]	Menge der nicht erneuerbaren Primärenergie, die für die Rohstoffgewinnung und -verarbeitung, den Transport, die Montage und die Entsorgung erforderlich ist.
Umweltbelastungspunkte (UBP)	Nach Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkteverfahren) ist ein stoffflussorientiertes, eindimensionales, nicht-monetäres Bewertungsinstrument zur Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen

**Hinweis:**

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in vorliegender Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und diverser (m/w/d) Ausdrucksformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.



## **Executive Summary**

Die Erderwärmung ist eines der beherrschenden Themen aktueller Generationen. Das ist angesichts sicht- und spürbar werdender Klimafolgen durch anthropogen verursachte Treibhausgasemissionen kaum erstaunlich. Ökologische Verantwortung ist daher ein Gebot der Zeit, das besonders von denjenigen eingefordert werden muss, die massgeblich für den Treibhausgasausstoss verantwortlich sind. In der Schweiz zählt der Gebäudesektor zu einem relevanten Emittenten, dem rund ein Viertel des gesamten CO<sup>2</sup>-Ausstosses zugeschrieben wird. Trotz erheblicher Anstrengungen bei der Eindämmung von klimaschädlichen Emissionen verharrt der Sekundärsektor, zu dem auch das Baugewerbe zählt, seit Jahren auf ähnlichem Ausstossniveau. In den Bestrebungen den Treibhausgasausstoss zu senken, setzt die produzierende Bauindustrie grosse Hoffnungen in den Holzbau, dem ein massgebendes Beitragspotential bei der Reduktion des ökologischen Fussabdrucks zugeschrieben wird. Zu Recht? Dieser Frage wird in vorliegender Arbeit anhand einer als Zwillingsstudie aufgebauten Versuchsanordnung nachgegangen, indem eine vergleichende Ökobilanz nach den Strukturvorgaben der SIA 2032 unter Verwendung von Ökobilanzdaten der KBOB erstellt wird, die das Potential des Holzbaus misst. Gleichzeitig wird die Frage nach den Kosten von klimafreundlichem Bauen gestellt, die nicht zuletzt bei Investoren von zentralem Interesse ist bei der Sicherstellung von vertretbaren Renditen.

Die Ergebnisse des Vergleichs lassen aufhorchen. Weder für die Erstellung, noch in der Lebenszyklusbetrachtung eines Bauobjekts lassen sich hinsichtlich Treibhausgasemissionen erwähnenswerte Differenzen zwischen einem Bau aus Holz und einem konventionell erstellten Massivbau feststellen. Die Gründe dafür werden in der Detailkalkulation der Bilanzierung ersichtlich, die verdeutlicht, dass Holz zwar ein klimafreundliches Material ist, aber Holzbau eben weit mehr als Holz allein.

## 1. Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

Heisse Sommer, lange Trockenperioden und Umweltschäden haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass ökologisches Verantwortungsbewusstsein in der Mitte der Gesellschaft angekommen ist. Umweltschutz und Klimawandel gehören, wie eine Studie der CS zeigt (Credit Suisse, 2021), zu den grössten Sorgen der Schweizer Bevölkerung. Der Klimawandel ist nach klimawissenschaftlichen Erkenntnissen menschengemacht und ist auf den Ausstoss von Treibhausgasen zurückzuführen, die durch Rohstoffgewinnung, Materialverarbeitung, Transport und Konsum entstehen. In der Schweiz werden nach Datenerhebungen des BfS jährlich rund 110 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert (Bundesamt für Statistik, 2022), was zu einem Ausstoss per Capita führt, der ein Vielfaches des weltweiten Belastungsgrenzwertes von 0.6 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf beträgt. Die Schweiz hat sich im Rahmen internationaler Abkommen zur Reduktion klimaschädlicher Treibhausgase verpflichtet, eine Aufgabe, die zu erheblichem Teil dem Gebäudesektor zufällt, der gemäss Bundesamt für Umwelt für rund einen Viertel der im Inland verursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2020). Während im Betrieb von Gebäuden nach Umweltgesamtrechnung des BfS (Bundesamt für Statistik (BfS), 2022) seit 2020 eine Reduktion des Treibhausgasausstosses von rund 15% festgestellt werden kann, verharrt der Sekundärsektor, zu dem auch das Baugewerbe gehört, in einer Seitwärtsbewegung. Bei den Bestrebungen die Treibhausmissionen in der produzierenden Bauindustrie zu senken, fällt der Dekarbonisierung von betrieblichen Energien grosse Bedeutung zu. Das Gleiche gilt für die Materialforschung, die mit grossem Aufwand nach klimafreundlicheren Materialien, Rezepturen und Verarbeitungsprozessen forscht. Hoffnungen werden heute insbesondere in das Bauen mit Holz gesteckt, der als Werkstoff über Eigenschaften verfügt, die ihn bis zu einem gewissen Grad zum Substitut mineralischer Baustoffe macht. Holz ist, sofern nicht mit langen Transportwegen verbunden, ein maximal klimafreundliches Baumaterial, das im Kontrast zu Stahlbeton steht, der wegen seiner energieaufwendigen Zementproduktion mit CO<sub>2</sub>-emittierender chemischer Reaktion und seines verbreiteten Einsatzbereichs verantwortlich ist für einen beträchtlichen Anteil des Treibhausgasausstosses im Bausektor. Die gegensätzliche Darstellung des klimafreundlichen Holzbaus einerseits und des klimaschädlichen Massivbaus andererseits, die durch die emotionale Konnotation der Materialien gestützt wird, hinkt allerdings, denn Holz ist nicht Holzbau und Massivbau nicht Stahlbeton.

In dieser Arbeit wird diesem Aspekt über die in der Praxis gebräuchliche Frühindikation hinaus Aufmerksamkeit geschenkt und untersucht, woraus ein Holz- und Massivbau zu welchen Flächen- und Volumenanteilen besteht, damit detaillierte Treibhausgasbilanzen erstellt und verglichen werden können. Sie wird deshalb als vergleichende Versuchsanordnung aufgebaut, bei der sich die beiden Bauweisen, abgeleitet von einem realen Referenzobjekt, gegenübergestellt werden und hinsichtlich ihrer Klimafreundlichkeit und den damit einhergehenden Kostenfolgen beurteilt werden.

## **1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Hypothese**

Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Ökobilanzierung von Bauprojekten mit unterschiedlicher konstruktiver Ausbildung und vergleicht sie in Bezug auf ihre Klimafreundlichkeit und ihre Kosten, die sich aus den baulichen Unterschieden ergeben. Ziel der Arbeit ist in erster Linie ein praxisbezogenes, das über die gewonnenen thematischen Kenntnisse und Erfahrungen dazu dienen soll, zukünftige Systementscheidungen in der Entwicklung von Projekten zuverlässiger fällen zu können. Die dazu erforderlichen Forschungsfragen werden folgendermassen formuliert:

- a) Welcher ökologische Mehrwert bietet der konstruktive Holzbau im Hochbau?
- b) Was kostet klimafreundliches Bauen?

Die Fragen implizieren, dass von einer Differenz zu Gunsten des Holzbaus ausgegangen wird und dass Mehrkosten da erwartet werden, wo klimafreundlicher gebaut werden kann. Mit Hypothese wird aber einschränkend formuliert, dass die Differenz deutlich geringer ausfallen wird, als sie in der Planungspraxis durch die Holzbauindustrie dargestellt wird. In dieser Arbeit wird deshalb davon ausgegangen, dass eine Differenz zwischen den unterschiedlichen Baukonstruktionen unter Vorbehalt koordinierter Bauteilmasse in der Lebenszyklusbetrachtung kaum mehr als 5-10% betragen wird, in der Tendenz eher noch weniger.

## **1.3 Abgrenzung der Forschungsfragen**

Die Ökobilanzierung kennt unterschiedliche Betrachtungsweisen (Teilbewertungen) und Betrachtungshorizonte (Phasen), die absolut oder annualisiert bilanziert werden können. Die übergeordnete Forschungsfrage (a) in dieser Arbeit bezieht sich ausschliesslich auf die Betrachtung klimaschädlicher Treibhausgase und behandelt im Umkehrschluss keine weiteren potentiellen Bewertungsmöglichkeiten, die sich mit der Ermittlung von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergieträgern, oder mit dem biogenen Kohlenstoffgehalt von Baustoffen beschäftigen. Ebenfalls ausser Ansatz fällt eine

Gesamtbewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit, die in Form von Umweltbelastungspunkten bilanziert wird mit standortbezogenem Charakter und damit lokaler Aussagekraft. Mit konstruktivem Holzhochbau ist im Weiteren die Holzrahmenbauweise gemeint. Aussagen zur ebenfalls gebräuchlichen, wenn auch nicht ganz so verbreiteten Tafelbauweise, werden keine gemacht und müssen in einer gesonderten Untersuchung betrachtet werden.

#### **1.4 Vorgehen**

Das methodische Konzept vorliegender Arbeit sieht zu Vergleichszwecken vor, zwei Objekte mit identischen qualitativen Leistungsmerkmalen, aber in unterschiedlichen Konstruktionsweisen zu entwickeln. Als Basis dient ein repräsentativer Referenzbau, aus dem die Vergleichsobjekte abgeleitet und bauweisespezifisch detailliert werden. Zur Gewinnung der Bauteilmasse, einer von zwei Inputparameter bei der Ökobilanzierung, wird die Planung in digitale Datenmodelle übersetzt. Unter Strukturierung der Bauteildaten nach SIA 2032 *Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden* und Verwendung der werkstoffbezogenen *Ökobilanzdaten im Baubereich* nach KBOB 2016 wird schliesslich eine Treibhausgasbilanz für jedes Vergleichsobjekt erstellt. Erstellt werden ausserdem Investitionswertberechnungen nach der Discounted Cash Flow-Methode, die dazu dienen, die bauweisespezifischen Renditen zu ermitteln, um eine Antwort auf die Frage nach den Kosten von klimafreundlichem Bauen zu finden.

#### **1.5 Gliederung der Arbeit**

Die Gliederung der Arbeit sieht vor, die Forschungsfragen in Kapitel 2 *theoretische Grundlagen* mit einem wissenschaftlichen, rechtlichen, materiellen, normativen und wirtschaftlichen Kontext zu hinterlegen. Zu diesem Zweck werden sie in Kapitel 2.1 unter *klimatischer Kontext* in einen klimawissenschaftlichen Rahmen eingebettet, indem auf die Definition der wesentlichen Begriffe verwiesen und Ursache und Wirkung der Erderwärmung nach heutigen Erkenntnissen beschrieben wird. Kapitel 2.2 *Substitute* befasst sich mit den für vorliegende Arbeit wesentlichen Baumaterialien Holz und Stahlbeton. Beleuchtet werden die materiellen Eigenschaften, die Konstruktionsweise und der Anwendungsbereich im Hochbau, die Herkunft und der aktuelle Stand der Baumaterialforschung. Kapitel 2.3 *Ökobilanzierung* geht auf die Herkunft und Methodologie der Ökobilanzierung ein und beschreibt die dafür erforderliche strukturelle Gliederung. Erläutert werden ausserdem die Vorgaben zur Gewinnung der Bauteilmasse und die Herkunft der Bilanzdaten. Für die Prognostizierung des betrieblichen Energiebedarfs wird weiter auf das verfügbare Instrument hingewiesen und die in dieser Arbeit angewandte

Methode erläutert. Ebenfalls in diesem Kapitel diskutiert wird das Thema der CO<sub>2</sub>-Senken. Zum Schluss des theoretischen Teils in Kapitel 2.4 *Immobilienbewertung* wird auf die in der Immobilienwirtschaft gebräuchlichen Bewertungsinstrumente eingegangen. Erläutert wird dabei die Funktionsweise einer Discounted Cash Flow-Bewertung und Herkunft und Bedeutung der Inputparameter. Kapitel 3 *empirische Untersuchung* befasst sich mit der Präzisierung des Forschungsdesigns, Herleitung des Referenzobjektes und Entwicklung der Vergleichsobjekte. In Kapitel 3.1.1 *Methode* wird das Forschungsdesign weiter detailliert und in 3.1.2 erfolgt die Abgrenzung durch beschrieb des Bilanzperimeters. In Kapitel 3.2 *Vergleichsstudie* werden zur Objektivierung des Untersuchungsgegenstands unter 3.2.1 *Gebäudetyp* Gebäudemerkmale hergeleitet, nach denen ein passendes Referenzobjekt ausgesucht wird und das unter 3.2.2 *Referenzobjekt* beschrieben wird. Zur Vorbereitung der Planung für die baukonstruktionspezifischen Vergleichsobjekte definiert 3.2.3 *Planungsvorgaben* planerische, bauphysikalische und haustechnische Vorgaben, die es bei der Entwicklung zu gewährleisten gilt. 3.2.4 *Vergleichsobjekte* schließlich beschreibt die wesentlichen Planungsmerkmale der Vergleichsobjekte und 3.2.5 *Eingabegrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung* leitet die Werte für Inputparameter der DCF-Berechnung her. In Kapitel 3.3 werden die Bilanzierungsergebnisse vorgestellt und analysiert, und zwar unter 3.3.1 *Erstellung* für die Errichtung bis Rückbau des Gebäudes und unter 3.3.2 *Betrieb* für die Nutzungsphase. Kapitel 3.4 handelt von der *Wirtschaftlichkeit*, bei der die Vergleichsobjekte nach Ertragsflächen, Baukosten und Renditen beurteilt werden. Die Arbeit in Kapitel 4 wird durch die *Schlussbetrachtung* zu Ende geführt mit einem abschliessenden *Fazit*, einer kurzen *Diskussion* und *Ausblick*.

## **2. Theoretische Grundlagen**

### **2.1 Klimatischer Kontext**

#### **2.1.1 Klima**

Mit *Klima* bezeichnet die Wissenschaft einen mittleren Zustand und Schwankungsbereich von Temperatur und Niederschlag bezogen auf ein spezifisches Gebiet und einen festgelegten Betrachtungszeitraum. Damit unterscheidet sich der Begriff von der weniger abstrakten Bezeichnung Wetter, die kurzfristige atmosphärische Ereignisse von wenigen Minuten bis Tagen beschreibt (National Centre for Climate Services (NCCS), 2020). Klimatische Veränderungen sind Teil der geohistorischen Entwicklung und bis zur vorindustriellen Epoche natürlichen Ursprungs. Obwohl die Entdeckung des Treibhausgas-effekts und der Zusammenhang von Kohlendioxidkonzentration (CO<sub>2</sub>) und

Temperaturverhalten schon lange bekannt sind, kommt das Klima erst in den 1980-er Jahren auf die politische Agenda, als die prognostizierte Klimaerwärmung in Messungen nachgewiesen werden kann. Die Klimaerwärmung ist in der Zwischenzeit als globale Bedrohung erkannt. Massnahmen zur Eingrenzung der Erderwärmung werden heute durch einen zwischenstaatlichen Ausschusses über den Klimawandel (IPCC), dem 195 Staatsregierungen angehören, koordiniert. Seine Sachstandberichte sind heute die wissenschaftliche Referenz, worauf internationale Klimaverträge und globale und nationale Klimaszenarien basieren, auch die des Bundes.

### **2.1.2 Treibhausgase und ihre Folgen**

Anthropogene Treibhausgase entstehen hauptsächlich durch Abbau- und Verbrennungsprozesse fossiler Energieträger, wie Kohle, Erdöl und Erdgas, oder durch agrar- und forstwirtschaftliche Tätigkeiten, wie Viehzucht, Brandrodungen u.Ä.. Dadurch hat sich die Erde im letzten Jahrhundert um  $0.74^{\circ}\text{C}$  (Stiftung WWF Schweiz, ohne Datum) erwärmt. Verantwortlich für die Erderwärmung sind nach heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen Treibhausgase, die kurzwellige Sonnenstrahlung bis zur Erdoberfläche durchdringen, langwellige Erdwärmeabstrahlung aber nicht mehr ungehindert entweichen lassen. Dieser Vorgang wird als Treibhauseffekt bezeichnet und bewirkt eine allmähliche Erwärmung der bodennahen Luftschichten und der Erdoberfläche. Treibhausgase sind mit Ausnahme der synthetisch hergestellten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sowohl aus natürlichen, wie anthropogenen Quellen und bewahren die Erde in natürlicher, ausgewogener Konzentration vor kosmischer Auskühlung. Zu den wichtigsten anthropogenen Treibhausgasen zählen Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Stiftung myclimate, ohne Datum), und wie bereits erwähnt, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Treibhausgase treten in der Atmosphäre in unterschiedlicher Menge auf und verfügen aufgrund unterschiedlich grossem Strahlungsabsorptionsvermögen und unterschiedlich langer Lebensdauer über unterschiedlich starkes Erderwärmungspotential (GWP). Um die Klimawirksamkeit von Treibhausgasen miteinander vergleichen zu können, wird in der Klimawissenschaft eine Referenzgrösse definiert, die als *CO<sub>2</sub>-Äquivalent* bezeichnet wird, das auch Masseinheit der verwendeten Ökobilanzdaten ist. Das weitaus wichtigste anthropogen verursachte Treibhausgas ist  $\text{CO}_2$ . Seine Konzentration ist rund 380-mal so hoch, wie diejenige von Methan, das als nächst häufigstes folgt. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit ist die  $\text{CO}_2$ -Konzentration bis ins Jahr 2020 um beinahe 50% gestiegen (The Intergovernmental Panel on Climate Change, ohne Datum). Sie wird mit Verweis

auf die Verweilzeit<sup>1</sup> von CO<sub>2</sub> von geschätzten 30-1'000 Jahren langfristig fortbestehen. Die Erderwärmung ist daher kein kurzfristig reversibles Phänomen und wird, selbst bei rascher Eindämmung des anthropogenen Treibhausgasausstosses, über Generationen fortbestehen.

Die Klimafolgen sind weitreichend und haben Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Zu nennen und für vorliegende Arbeit relevant sind insbesondere steigende Durchschnitts- und Maximaltemperaturen sowie die Zunahme von Trockenheit und Dürreperioden. „Das hitzebedingte Sterberisiko ist schon ab 30 Grad erheblich“ (Wiget, 2022), wie der Tagesanzeiger vom 4. August berichtet. Direkte physiologische Folgen von Übertemperaturen für den Menschen sind Dehydrierung, kardiovaskuläre Symptome, Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Hitzetod (Urbinello & Rööösli, 2014). Illustriert werden kann die Gefahr von hitzebedingter Übersterblichkeit anhand von Daten des Hitzesommers 2003, in dem eine Zusatzsterblichkeit von 6.9% (Ragetti, 2017) registriert wurde (Vergleich: weltweite Übersterblichkeit Covid-19 Pandemie: 1.13% (statista, ohne Datum)). Aktuelle Klimaszenarien gehen davon aus, dass sich die weltweite Durchschnittstemperatur um rund 1-2°C gegenüber heute erhöhen wird. Die Veränderungen fallen regional aber unterschiedlich aus. Nach Klimaszenarien der Schweiz wird je nach Emissionsszenario von einer Temperaturzunahme von 0.5 – 3.6°C bis ins Jahr 2060 ausgegangen (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2013) und das obwohl die Temperaturen in der Schweiz seit Messbeginn 1864, wie Abbildung 1 zeigt, bereits überproportional gestiegen sind. Die Schweiz ist vom Klimawandel also stärker betroffen als im Vergleich der globale Durchschnitt, was relevanten Einfluss auf die bauphysikalische und haustechnische Konzeption von Gebäuden haben dürfte.

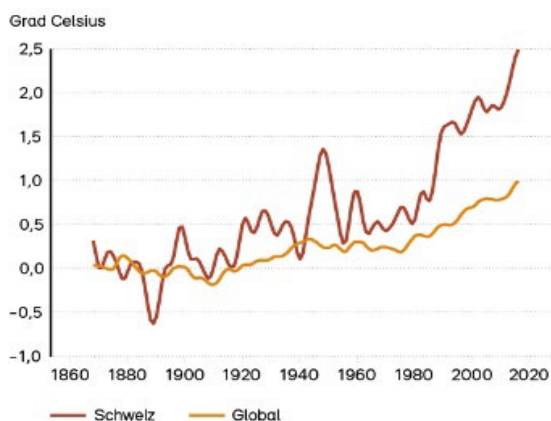


Abbildung 1: Temperaturentwicklung in der Schweiz und Global seit 1864 (Bundesamt für Umwelt (BAFU), ohne Datum)

<sup>1</sup> Zeit bis zum vollständigen Abbau eines Gasmoleküls

## 2.2 Baustoffe: Holz und Beton

Holz und Beton stellen im Hoch- und Brückenbau in vielerlei Hinsicht konstruktive Substitute darstellen. Auch wenn Holz und Stahlbeton im Hochbau in vielen Fällen austauschbar sind, unterscheiden sie sich in Bezug auf die mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften, dem Brand- und Expositionsverhalten, ihren konstruktiven Eigenheiten u.a.m. erheblich. Sowohl bei Holz, wie Beton im erweiterten Sinn<sup>2</sup>, handelt es sich um Materialien mit jahrhundertealter Bautradition. Bis vor gut 200 Jahren wurden in Mitteleuropa 9 von 10 Häuser ganz oder überwiegend mit Holz erstellt, nur bei repräsentativeren Gebäuden, insbesondere bei Fassaden, hatten mineralische Baustoffe bereits Tradition. Stahlbeton selbst wurde erst Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt, verbreitete sich danach aber schnell, begünstigt durch die Architekturbewegung der klassischen Moderne. Stahlbeton gilt heute als der weltweit bei Weitem am häufigsten verwendete Baustoff. Das hat einerseits mit seinen mechanischen Eigenschaften zu tun, andererseits aber auch mit seinen Herstellungszutaten, die auf der ganzen Welt lokal verfügbar sind. Schätzungen zufolge werden jährlich rund 15-20 Milliarden Kubikmeter Beton umgesetzt (Kaufmann, 2021), was rund 35-45 Milliarden Tonnen Beton entspricht, wovon rund 40 Millionen Tonnen (Böhni, Gauch, & Matasci, 2021) auf die Schweiz entfallen. Damit belegt der Betonkonsum beim gesamtschweizerischen Materialverbrauch auch hierzulande den unangefochtenen Spitzenplatz. Der Holzbau hat im Gegensatz zum Stahlbeton seit den Anfängen des frühen 20. Jahrhunderts lange ein Randdasein gefristet. Holz wurde von der Architekturelite der klassischen Moderne mit dem „Stadtbild der Enge“ (Dederich, ohne Datum) assoziiert, und aus dem konstruktiven Baurepertoire gestrichen.

### 2.2.1 Holz

Mechanische Eigenschaften: Holz ist ein natürlich nachwachsender Rohstoff und als Naturprodukt durch Wuchsfehler wie Verwachsungen, Harzgallen, Drehwuchs u.a.m. nicht homogen. Holz besteht je nach Baumart zu 50-95% (enargus, ohne Datum) aus Holzfasern, die richtungsabhängig unterschiedliche mechanische Eigenschaften aufweisen. Es hat im Schnitt eine rund doppelt so hohe axiale (heisst: in Faserrichtung) Zug- und Biegefestigkeit, wie Druckfestigkeit. Der Stammquerschnitt von Holz kennt Zonen unterschiedlicher mechanischer Eigenschaften, die sich beim Schnittholz in unterschiedlichem Festigkeits-, Steifigkeits- und Formstabilitätsverhalten äussern. Vollholz, wie es in der konstruktiven Rahmenbauweise eingesetzt wird, kann deshalb nur aus zentralen, axialen Stammteilen gefertigt werden. Das restliche Stammmaterial wird in der industriellen

---

<sup>2</sup> hydraulische Bindemittel bereits seit der Antike unter dem Namen «opus caementitium» bekannt



Holzverarbeiten durch trocknen, sortieren, keilzinken, zerkleinern und wieder verkleben zu Bauwerkstoffen verarbeitet, die möglichst homogene und isotrope<sup>3</sup> Materialeigenschaften aufweisen. Typische Produkte dieses Verarbeitungsprozesses sind Brettsperholz, Brettschichtholz, Holzspanplatten u.a.m.. Sie bilden neben den Vollholzteilen für die Rahmenkonstruktion das holzstoffbasierte Material im konstruktiven Holzhochbau.

Bauphysik: Holz verfügt über eine wabenförmige, in Stammrichtung orientierte Zellstruktur, über die der Baum mit Wasser- und Bodennährstoffen versorgt wird. Diese Struktur verhilft Holz zu einer vergleichsweise niedrigen Wärmeleitfähigkeit (Fichtenholz:  $\lambda=0.14\text{W/mK}$ ). Daher verfügt Holz selbst über gute Wärmedämmeigenschaften, die eine Rahmenbauweise wie sie heute praktiziert wird erst effizient möglich macht. Trotz der im Vergleich zu anderen konstruktiven Materialien, wie Beton und Stahl geringen Wärmeleitfähigkeit ist auch Holz in ressourceneffizienter Anwendung auf Dämmmaterial angewiesen, um die heutigen Anforderungen an die thermische Gebäudehülle erfüllen zu können. Die poröse Materialstruktur macht Holz andererseits leicht. Die fehlende Materialmasse stellt Holz im konstruktiven Holzbau vor Herausforderungen bei Fragen nach der Schallabsorption und Wärmespeicherfähigkeit. Diese Herausforderungen werden in der Regel durch gipsbasierte Werkstoffe gelöst, die gleichzeitig auch statische Funktionen übernehmen können.

Brandverhalten: Holz ist ein brennbares Baumaterial und damit eine potentielle Brandlast. Vor Revision der Brandschutzgesetzgebung der VKF im Jahr 2015 war der Gebrauch von Holz in seiner konstruktiven Anwendung auf gewisse Gebäudekategorien beschränkt. Durch Baustoffforschung und Brandversuche konnte aber nachgewiesen werden, dass Holz unter Brandeinwirkung eine hitzeisolierende Kohleschicht bildet, die das innere des Holzes schützt. Sind Holzquerschnitte genügend mächtig dimensioniert, kann im Brandfall statisches Versagen ausreichend lange verzögert werden, so dass die Anforderungen an den Brandwiderstand des Bauteils erfüllt werden können. Holz und Holzbaustoffe werden heute in ihrem Brandverhalten und Rauchentwicklungspotential nach gültigen VKF-Richtlinien überwiegend der Gruppe RF<sup>4</sup>3 zugeordnet, die als „zulässiger Brandbeitrag“ klassifiziert wird. Zu dieser Gruppe gehören mit Ausnahme von zementgebundenen Spanplatten sämtliche Holzprodukte, die im konstruktiven Holzbau verwendet werden. Für besonders exponierte Bau- und Gebäudeteile, insbesondere die Tragstruktur und (Flucht-)Treppenhäuser, heisst das, dass sie eingepackt, sogenannte gekapselt

---

<sup>3</sup> in alle Richtungen des Materials gleiche mechanische Eigenschaften

<sup>4</sup> Réaction au Feu [frz.]

werden müssen, damit der direkte Kontakt mit Feuer vermieden werden kann. Das geschieht in aller Regel mit ein- bis mehrlagigen Gipsfaserplattenschichten.

Exposition: Holz ist hygroskopisch<sup>5</sup>, neigt also dazu, Wasser aufzunehmen und sich dem Feuchtigkeitsmilieu der Umgebung anzupassen. Änderungen des Feuchtigkeitssättigungsgehalts in der Zellstruktur von Holz verursachen ein Quellen und Schwinden des Materials, was einhergeht mit Formschwankungen des Holzbauteils. Bei Holz handelt es sich dazu um biologisch abbaubares Material. Es ist deshalb anfällig gegen biotische Schädlinge und ab einer Feuchte von mehr als 20% auch gegen Pilze. In Bodennähe können bei konstruktiv unsachgemässer Ausbildung der Baudetails Moderfäule entstehen und Materialabbau durch Bakterien. Die langfristige Funktionsweise, Formstabilität und die ästhetischen Qualitäten hängen deshalb ganz besonders von der zweckgerechten Auswahl exponierter Holzsorten ab und der Ausbildung korrekter konstruktiver Details. Entscheidend verbessert werden können die expositionsbedingten Eigenschaften zudem durch die bereits erwähnte Verarbeitung von Holz zu homogenen und isotropen Holzwerkstoffen.

Anwendungsweise im Hochbau: Der konstruktive Holzbau kennt unterschiedliche Holzbausysteme. Allgemein bekannt sind der Riegel-, oder Blockbau. Gemäss der Holzbauunternehmung Renggli wird im Gegensatz zu europäischen Nachbarländern, wo die Tafelbauweise gebräuchlicher ist, in der Schweiz die Rahmenbauweise bevorzugt (Renggli International AG, 2021). Beim hierzulande gebräuchlichen Rahmenbau wird durch Abbund einer Fuss- (Schwelle) und Kopfrippe (Rähm) mit Randrippen aus Kanthölzern ein Bauteilrahmen gebildet, der mit Innenrippen nach statischen Erfordernissen verstärkt wird. Der Rahmen wird danach einseitig mit Verschalungsplatten beplankt, bevor die Zwischenräume mit Dämmmaterial verfüllt und der Rahmen durch die gegenüberliegende Verschalung geschlossen wird. Das konstruktive Grundprinzip ist in der reinen Rahmenbauweise für Wand- und Deckenelemente ähnlich. Während die Rippen in Wänden und Balken in Decken in erster Linie die vertikale Lastabtragung gewährleisten, übernehmen die Verschalungen je nach Beschaffenheit des Beplankungsmaterials Aufgaben der horizontalen Gebäudeaussteifung. Das Komprimieren von Trag- und Dämmschicht in eine funktionelle Ebene führt dazu, dass Aussenwände in der Regel schlankere Querschnitte aufweisen, als sie dies beim Massivbau tun. Das trifft auch auf Decken zu, solange die Deckenspannweiten von 3 bis 4 Metern nicht übersteigen. Wie Abbildung 2 illustriert, werden die Bauteile im Geschossbau durch Aneinanderfügen, Verbinden und

---

<sup>5</sup> hygroskopisch [gr.] : Fähigkeit Feuchtigkeit zu binden

Stapeln zu einem Gebäude gefügt. Der vertikale Lastabtrag hat dabei möglichst direkt zu erfolgen.

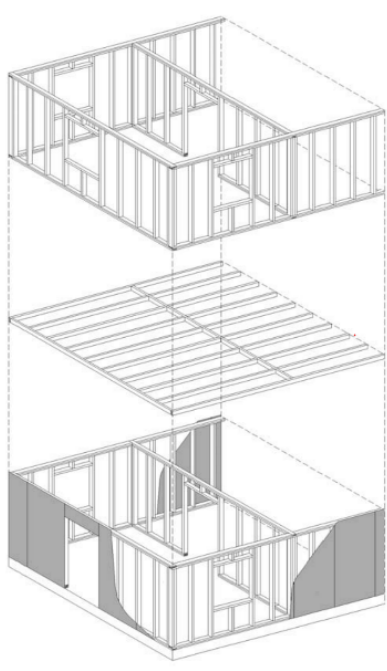


Abbildung 2: Prinzipskizze der Rahmenbauweise (Meyer, 2004)

schweizerische Holzindustrie: Die schweizerische Holzindustrie hat sich in den letzten Jahren solide etabliert und ist um eine bessere vertikale Wertschöpfungskette in der Schweiz bemüht. Gemäss statistischen Daten des Fachverbands Holzbau Schweiz wird seit 2018 ein stabiler Marktanteil von Holz in Tragkonstruktionen bei neuen Bauvorhaben von rund 15.5% registriert. Verbreitet Anwendung findet der konstruktive Holzbau insbesondere in Bauvorhaben von landwirtschaftlichen Gebäuden (36.5%) und zu rund einem Drittel bei Gebäudekategorien, die durch die öffentliche Hand finanziert werden (Holzbau Schweiz, ohne Datum). Die wirtschaftlichen Bestrebungen der Holzindustrie werden durch die Bundesgesetzgebung unterstützt, z.B. durch die „Erforschung und Entwicklung von Massnahmen zur Verbesserung des Holzabsatzes und der Holzverwertung“ nach Art.31 Abs.1 Lit.d des Bundesgesetzes über den Wald (WaG) vom 1.1.2022, SR 921.0, oder die „Förderung innovativer Holzprojekte“ Art.34b, Abs.2 WaG. Während sich die *Holzbau*industrie wirtschaftlich etabliert hat, stagnieren die Absatzzahlen der hiesigen Waldwirtschaft- und Sägeindustrie. (Lüthi, Gautschi, & Läderach, Zur aktuellen Lage der Schweizer Holzindustrie, 2019) Aufgrund tiefer Holzpreise und ungünstiger Wechselkurse wird Holz in der Schweiz deutlich weniger geerntet (Jahr 2020: 4.8 Mio.m<sup>3</sup>), als es gemäss Verband der Waldeigentümer nachhaltig möglich wäre (7-8 Mio. m<sup>3</sup>). Bei einem Gesamtverbrauch von fast 10 Mio. m<sup>3</sup> Holz (Wald Schweiz, 2021) kann

daraus abgeleitet werden, dass rund die Hälfte des jährlichen Schweizer Holzbedarfs aus dem Ausland eingeführt wird, gemäss Jahrbuch Wald und Holz 2021 hauptsächlich aus den umliegenden Nachbarländern, Nord- und Osteuropa. (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021). Davon entfällt ein Teil auch auf den Holzbau, dessen Holz Schätzungen zu Folge zu rund 60-70% aus dem Ausland stammt (Lüthi, Gautschi, & Läderach, Zur aktuellen Lage der Schweizer Holzindustrie, 2019) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2018).

### 2.2.2 Stahlbeton

Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften: Beton ist ein künstlich hergestelltes Gestein und setzt sich im Wesentlichen aus Zement, Wasser und einer Abstufung von Gesteinskörnungen zusammen. Das hydraulische<sup>6</sup> Bindemittel Zement besteht aus Kalkstein und Tonmergel, die bei Temperaturen von rund 1'400°C zu Klinker gebrannt und unter zusammen mit Zusatzstoffen zu einem Pulver verarbeitet werden. Unter Beimischung von Wasser reagiert Zement und erhärtet nach einigen Stunden dauerhaft. Die Eigenschaften von Beton können je nach konstruktivem Bedarf variiert werden mit Veränderung der Gesteinskörnungszusammensetzung (Siebkurve), oder mit Zusatzmitteln- und -stoffe, die sich auf die Verarbeitbarkeit, Dichtigkeit, Festigkeit u.a.m. auswirken. Als Werkstoff verfügt Beton über eine hohe Druckfestigkeit (5.0-55.0 N/mm<sup>2</sup>) (Bau Netz, ohne Datum), versagt aber schon unter geringer Zugbeanspruchung spröde. Für die bauliche Anwendung von Beton ist daher der Verbund mit Stahl essentiell, der über eine (Biege-)Zugfestigkeit von (2.6-17.9 N/mm<sup>2</sup>) (Bau Netz, ohne Datum), verfügt und damit Zugbelastungen im Hochbau in erforderlichem Mass aufnehmen kann. Voraussetzung für den Materialverbund bildet der nahezu identische Wärmeausdehnungskoeffizient von Beton und Stahl, ohne den Spannungen und Risse im Verbund die Folge wären, sowie das alkalische Milieu von Beton, das den Bewehrungsstahl bei allseitig deckender Umhüllung vor Korrosion schützt. Im Gegensatz zu Holz, das im Wesentlichen der konstruktiven Logik sich fügender Bauteile folgt, ist Beton ein modellierender Werkstoff mit monolithischen<sup>7</sup> Eigenschaften, was den Handlungsspielraum bei der Tragwerksplanung erhöht.

Bauphysik: Stahlbeton besitzt bei Normalbeton eine Trockenrohddichte von zwischen 2'000-2'600kg/m<sup>3</sup>. Die hohe Dichte führt im Vergleich zu Holz zu einer um rund 13-fach höheren Wärmeleitfähigkeit (Stahlbeton:  $\lambda=1.8\text{W/mK}$ ), was ihn zu einem vergleichsweise schlechten Dämmwerkstoff macht. Wird kein sogenannter Porenbeton

---

<sup>6</sup> hydraulisch [gr.]: unter Einfluss von Wasser reagierend

<sup>7</sup> monolithisch: aus einem Stück bestehend

verwendet, ist Beton nach heutigen energetischen Anforderungen zwingend auf eine vorgelagerte Dämmschicht angewiesen. Die Masse des Betons kommt allerdings den Anforderungen an die Schallabsorption im Hochbau entgegen und unterstützt durch die Wärmespeicherfähigkeit wetterbedingte Temperaturamplituden zu dämpfen.

Brandverhalten: Beton und Eisen gelten als nicht brennbare Werkstoffe und werden nach aktuell gültigen VKF-Richtlinien der Brandverhaltensgruppe RF1 „kein Brandbeitrag“ zugeordnet. Beton bietet aufgrund seiner tiefen Wärmeleitfähigkeit und hohen Wärmespeicherkapazität guten Schutz gegen hohe Temperatureinwirkungen. Das gilt auch für den Bewehrungsstahl, solange er nicht durch Abplatzungen der Betonüberdeckung dem direkten Feuer ausgesetzt ist. Stahlbeton bleibt unter hoher Temperatureinwirkung weitgehend fest, bildet keinen Rauch und setzt bei unbehandelten Oberflächen keine toxischen Gase frei. Stahlbeton erfüllt damit in der Regel bei ausreichender Dimensionierung die Anforderungen nach VKF an den Feuerwiderstand für Tragwerk, brandabschnittsbildende Wände und Decken, sowie Fluchtwege ohne Verkleidung.

Exposition: Stahlbeton gilt grundsätzlich als wasserresistent, weitgehend wasserundurchlässig und Widerstandsfähig gegen Oberflächenverschleiss. Beton kann dennoch durch Feuchte, Frost und Tausalze, oder chemische Angriffe durch natürliche Böden und Grundwasser Schaden nehmen, was die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen gefährdet. Anfällig ist in erster Linie der Bewehrungsstahl, der durch Veränderung des alkalischen Zementmilieus korrodieren und seine Festigkeit verlieren kann. Betonbauteile werden deshalb nach Norm SIA 262 *Betonbau* in Expositionsklassen eingeteilt, mit denen Massnahmen zur Vermeidung von Schäden definiert werden. Für vorliegendes Thema relevante Massnahmen sind die Einhaltung genügend grosser Bewehrungsüberdeckungen (breitere Bauteilquerschnitte), die Vermeidung, oder Begrenzung von Rissen (erhöhter Armierungsgehalt), oder das Aufbringen eines zusätzlichen Oberflächenschutzes.

Anwendungsweise im Hochbau: Stahlbeton wird überwiegend vor Ort als Ortbeton zwischen parallelen Vertikalschalungen hergestellt, die als Gussform für den flüssig eingebrachten Beton dienen. Durch etappenweises Giessen von Wand- und Deckenelementen entstehen Gebäude. Aufgrund der Materialeigenschaften eignet sich Beton im Vergleich zu anderen verfügbaren Baumaterialien besonders gut für die Anwendung im Feuchtbereich. Nicht nur in der Massivbauweise, sondern auch in der Holzhybridbauweise<sup>8</sup> werden üblicherweise Treppenhaus- und Liftkerne in Stahlbeton erstellt, und zwar aus

---

<sup>8</sup> Bau, der zu Teilen aus Beton und zu Teilen aus Holz besteht

Gründen der effizienten horizontalen Gebäudeaussteifung und der konstruktiv einfachen Massnahmen im Bereich des Brandschutz. Geschossdecken sind über kurze Spannweiten meist mächtiger als Holzdecken, spannen aber in diesen Dimensionen unter tragwerksüblichen Bedingungen frei bis 7 oder 8 Meter, was im Wohnungsbau dazu beiträgt, dass Innenwände (Ausnahme Wohnungstrennwände) nicht statisch ausgebildet werden müssen. Neben Ortbeton werden immer häufiger auch vorgefertigte Betonbauteile eingesetzt für Wände, Deckenuntersichten, Treppenläufe u.a.m., und zwar wegen ihrer guten Material- und Oberflächenqualität, oder aufgrund eines rationelleren Bauablaufs.

Schweizerische Betonindustrie: Der grosse Verbrauch an Zement und die bei der Herstellung von Zementklinker verursachte Menge an klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Gasen machen die Zement- und Betonindustrie zu einem relevanten Emittenten von Treibhausgasen. Nach Schätzungen ist die weltweite Betonindustrie für rund 5 bis 8% der globalen CO<sub>2</sub>-Emission verantwortlich (Kaufmann, 2021). Die Herausforderungen der Zementindustrie sind daher ganz anders gelagert als diejenigen der Holzindustrie. Sie bestehen darin, die energie- und prozessbedingten Emissionen, die bei der Herstellung von Zement entstehen zu reduzieren. Der Verband der europäischen Zementhersteller (Cembureau) hat zu diesem Zweck ein Konzept entwickelt, das helfen soll die CO<sub>2</sub>-Emissionen einzudämmen, durch Reduktion fossiler Brennstoffe bei der Herstellung von Zement, durch Optimierung des Klinkergehalts im Zement und auch des Zementgehalts im Beton (Cembureau, ohne Datum). Dieses Konzept wird in der Schweiz bereits weitgehend umgesetzt. Reine, besonders klimaschädliche Portlandzemente werden in den rund 500 inländischen Kies und Betonwerken kaum mehr hergestellt und machen heute noch 6.1% des Absatzvolumens aus (Cem Suisse, 2021). Die Zementindustrie untersucht darüber hinaus ein Herstellungsverfahren, bei dem durch Karbonatisierung von Betonrezyklat versucht wird CO<sub>2</sub>-Gase dauerhaft in Beton zu speichern. Ein vielversprechender Ansatz bietet dazu der Zirkulit-Beton, bei dem pro Kubikmeter Beton mindestens 10kg CO<sub>2</sub> gespeichert werden kann (Liechti, 2022). Wenig zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses trägt aber der Recyclingbeton bei. Die Rezyklierung von Gesteinskörnungen wird in Bezug auf den Treibhausgasausstoss etwa gleich eingeschätzt wie die Rohstoffgewinnung von Kies, die sich beim Recyclingbeton dadurch erübrigt mit positiven Effekt für die Entstehung von Landschaften.

## **2.3 Grundlagen der Ökobilanzierung**

### **2.3.1 Allgemein**

Der Herstellungsprozess von Konsumgütern und das Angebot von Dienstleistungen geht mit Begleiterscheinungen einher, die unerwünschte oder schädliche Auswirkungen auf

Mensch und Umwelt haben können. Die Kosten dieser Auswirkungen sind weder in Konsumgüter- noch Dienstleistungspreisen enthalten (Frischknecht, 2020) und werden von Produzenten und Dienstleistungsanbietern und folglich auch von Konsumenten nicht getragen. Die Verursachung von (schädlichen) Konsumnebenprodukten ohne direkte Folgen führt zu Ineffizienzen und Verschwendung im Ressourcenverbrauch, denn was nichts kostet, unterliegt auch keinem ökonomischen Beschränkungszwang (Frischknecht, 2020). Überliefert sind Überlegungen von Kostenexternalisierungen als Folge der Substituierung von biogenen zu fossilen Brennstoffen wie Holz zu Kohle, die schon im Mittelalter und während der Industrialisierung zu „Wolken von Rauch und Schwefel“, Verrussung von Häusern, Atemproblemen bei Menschen u.a.m. geführt hat (Frischknecht, 2020). Ende des 19. Jahrhunderts werden auch Stimmen laut, die auf den exzessiven Verbrauch von Kohle hinweisen und vor der Erschöpflichkeit von Rohstoffen als limitierendem Wirtschaftsfaktor warnen (Frischknecht, 2020). Die Ökobilanzierung ist eine vergleichsweise junge naturwissenschaftliche Disziplin, die ihre modernen Anfänge in den 1990-er Jahren hat. Sie versteht sich als notwendiges Komplement zum Warenhandel- und Dienstleistungspreissystem, das gegenüber „Umweltschädigungen weitgehend blind ist“ (Frischknecht, 2020) und ermöglicht die Erstellung von konsumbedingten Vollkostenrechnungen, auf Grundlage von Sachbilanzen (vgl. Kapitel 2.3.2), die nach standardisierten Prozessnormierungen<sup>9</sup> erarbeitet werden.

### **2.3.2 Ermittlung und Herkunft der Sachbilanzen**

Grundlage jeder Ökobilanzierung bilden die Sachbilanzen, mit denen alle relevanten Material- und Energieflüsse erfasst werden, die für die Bereitstellung eines Roh- oder Werkstoffs, eines Zwischenfabrikats oder ganzer Endprodukte benötigt werden. Die Erstellung von Sachbilanzen erfordert spezialisiertes Wissen über Materialherkunft und -bedarf, Produktionsprozesse, Betriebsenergiequellen, Distributionswege, Produktlebensdauer (Obsolenz), und Entsorgung (cradle to grave-Betrachtung) (Frischknecht, 2020). Je weiter entwickelt ein industriell erzeugtes Produkt ist, desto komplexer wird die Erstellung von Sachbilanzen in einem globalen Wirtschaftsbeziehungsgeflecht. Eine Herausforderung in der Sachbilanzerstellung stellt dabei die Triage dar, der die Aufgabe zufällt, die Anteile von Material- und Energieflüssen einem spezifisches Produkt zuzuordnen, da in der Regel davon ausgegangen werden muss, dass Produktkomponenten oder Produkte nur Teil einer übergeordneten Firmenangebotspalette sind. Dieser Herausforderung wird mit ISO-normiertem Allokationskonzept begegnet, das „in der Fachliteratur der

---

<sup>9</sup> ISO Norm 14040 und 14044

Ökonomie [als Grundsatz der] *Fairness* oder *Gerechtigkeit* und *Tragfähigkeit*“ (Frischknecht, 2020) bekannt ist. Wesentlich bei der Erstellung von Sachbilanzen ist die Wirkungsabschätzung von Material- und Energieflüssen auf die Umwelt. Rohstoffabbauvorgänge und die Emission von Substanzen haben ganz unterschiedliche Auswirkungen auf das Schutzgut Umwelt, und das nicht überall in gleichem Ausmass. Sachbilanzen sind daher immer auch geographisch bezogene Kennwerte, im Falle der Schweiz bezogen auf das Landesgebiet. Die Auswirkungen von klimaschädlichen Treibhausgasen wurden in Kapitel 2.1 bereits besprochen. Neben den Auswirkungen durch die Klimaerwärmung bestehen eine Reihe weiterer Auswirkungen, die durch anthropogenes Handeln verursacht werden. An dieser Stelle ergänzend erwähnt seien der Ozonschichtabbau, die Gefährdung der Biodiversität und mit denkbaren Konsequenzen auf vorliegendes Thema, die Auswirkungen der photochemische Oxidantienbildung und den Sommersmog (Reduktion solarer Erträge), feinstaub Partikelbildung (Erfordernis von Filtersystemen an exponierten Lagen) und die knappere Verfügbarkeit von Wasser und mineralischen Primärstoffen.

Seit Anfang der 2000-er Jahre werden in der Schweiz ISO-normierte Sachbilanzen in einer Datenbank des *ecoinvent*-Zentrums zusammengefasst und gepflegt, die aus Beiträgen der ETH, der Empa, des PSI und der Agroscope stammen. Aus dieser Datenbank bezieht auch das Umweltamt für Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) seine Sachbilanzdaten, die es für Bauzwecke unter dem Titel *Ökobilanzen im Baubereich* durch das Koordinationsgremium der Bauorgane des Bundes (KBOB) veröffentlicht und periodisch aktualisiert, letztmals im April 2022. Publiziert werden darin Baustoffe, oder ganze Bauteile<sup>10</sup> und deren Sachbilanzdaten zu erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie (PE), zu Treibhausgasemission (THG-E) und zu Umweltbelastungspunkten (UBP), die als Grösse für die Gesamtumweltbelastung zu verstehen sind. Seit neuester Ausgabe (2022) werden zusätzlich Daten zum biogenen Kohlenstoffgehalt von Baumaterialien aufgeführt, die bei zellulosebasierten Baumaterialien von Bedeutung sind.

### **2.3.3 Regelung der Bauteilabmessungen und Bezugsflächen**

Neben den Sachbilanzen wird eine weitere Berechnungsgrösse benötigt, die sich aus den im Rahmen der Arbeit entwickelten Datenmodellen ergibt. Bei der Berechnungsgrösse handelt es sich um die Bauteilmasse, oder die Bauteilabmessungen. Zur Sicherstellung gleicher Messweisen werden die Bauteilabmessungen einheitlich durch die Verständigungsnorm SIA 380 *Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*

---

<sup>10</sup> Begriffsdefinition nach Merkblatt SIA 2032, Ziffern 1.1.1.8-9



(Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2015) geregelt. Diese richten sich im Bereich Erstellung mit Ausnahme der Gebäudetechnik nach den tatsächlichen Bauteilabmessungen, entweder nach Rauminhalt, oder Fläche, in vorliegender Arbeit im Fall der Armierung für den Stahlbeton nach Kilogramm Stahl pro Kubikmeter Beton. Die Bilanzwerte der Gebäudetechnik wird gewerksweise über Gesamtkennwerte ermittelt auf Grundlage der Energiebezugsfläche (EBF), die sich als „Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Konditionieren notwendig ist“ (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2015) versteht.

### 2.3.4 Struktur und Berechnung von Ökobilanzierungen

Der Begriff Ökobilanzierung bezieht sich auf die Bilanzierung unterschiedlicher Teilbewertungen. Wie bereits in der Abgrenzung in Kapitel 1.3 *Abgrenzung der Forschungsfrage* erläutert, wird zwischen Teilbewertungen für die erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie, den Umweltbelastungspunkten und den Treibhausgasemissionen unterschieden. Ökobilanzierung können darüber hinaus nur über bestimmte Phasen oder Bauteile erfolgen, in vorliegender Arbeit über die Phase *Erstellung* gemäss Abbildung 3. Normative Grundlage der Ökobilanzierung im Bereich Erstellung bildet das Merkblatt SIA 2032 *Graue Energie – Ökobilanzierung* (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020) und im Bereich *Betrieb* das Merkblatt SIA 2040 *Effizienzpfad Energie* (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2017). Der Lebensweg eines Baustoffs, oder Bauteils von der Rohstoffbereitstellung bis zu seiner Entsorgung (Lebenszyklusbetrachtung) wird nach Abbildung 3 in Phasen gegliedert und den beiden Bereichen Erstellung und Betrieb (ohne  $x$ ) zugeordnet. Die Entsorgung von Bauteilen versteht sich dabei als komplementärer Teil der Erstellung. Zu ordnen sind in der Folge die zu bilanzierenden Bauteile, die je nach Definition des Bilanzperimeters wenige Bauteile, oder ganze Gebäude umfassen können. Ihre Erfassung erfolgt, auf Basis der Bauteilgliederung nach e-BKP-H-Elementgruppen, nach Gebäudestrukturvorgaben der SIA 2032, Anhang A, die zwischen 5 primären Bilanzierungspositionen unterscheidet: *Vorarbeiten, Gebäudehülle unter Terrain, Gebäudehülle über Terrain, Innen und Ausbauteile* und *Gebäudetechnik*. Alle Bilanzpositionen verfügen über eine sekundäre Detaillierungsstruktur. Für die Lebenszyklusbetrachtung werden die Unterpositionen mit einer Amortisationszeit versehen, die beschreibt, wie oft ein Bauteil über den definierten Betrachtungshorizont von 60 Jahren ersetzt werden muss. Je kürzer die Amortisationsdauer ausfällt, desto öfters muss das Bauteil entsorgt und wieder erstellt werden.

Phasen gemäss SN EN 15804	Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase			
	Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Errichtung, Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Betrieblicher Energieeinsatz	Betrieblicher Wassereinsatz	Rückbau, Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Bereich Erstellung gemäss SIA 2032	x	x	x	(x)	(x)				x				x	x	x	x

Abbildung 3: Phasengliederung nach SN EN 15804 und Definition der Bilanzpositionen für den Bereich nach SIA 2032 Erstellung (Klammer bedeutet teilweise Berücksichtigung)

Die eigentliche Berechnung der Bilanz erfolgt auf Grundlage der Eingabeparameter *Sachbilanzwert* (vgl. 2.3.2) und *Bauteilabmessung* (vgl. 2.3.3) als einfache Multiplikation der beiden Faktoren und kann daher mit handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogrammen durchgeführt werden. Heute haben sich für den kommerziellen Bereich excelbasierte Softwareprogramme etabliert, denen die Sachbilanzwerte der KBOB automatisch hinterlegt sind. Die SIA 2032 sieht für die Berechnung von Ökobilanzen Vereinfachungen und Vernachlässigungen vor, die objektbezogen relevante Auswirkungen haben können. Zu erwähnen sind Baustellentransporte, Energie für den Betrieb von Baustellen und Maschinen, Materialverschnitte, oder lineare Bauteile, wie Fensterzargen, Rinnen u.a.m. Ausser Ansatz fällt in der Bilanzierung nach SIA 2032 gar die Elementgruppen *J Ausstattung von Gebäude* (Mobiliar) u.a.m. und kritisch für die Würdigung energetischer Unterschiede von Holz- und Massivbauten die Elementgruppen *D4 Technische Brandschutzanlage* und *D6 Kältetechnische Anlage* aufgrund der fehlenden Datenlage (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020).

### 2.3.5 Senken

Als Senken bezeichnet man Ökosysteme, wie Meere, Wälder, Moore u.a.m., die in der Lage sind, CO<sub>2</sub> zu binden und vor dem Entweichen in die Atmosphäre zu entziehen. Gemäss Annex von Marrakesch zum Kyoto-Protokoll von 1997 können Senken an Reduktionsziele bei der Berechnung länderbezogener Ökobilanzen angerechnet werden. Senken sind ein politisch begründetes Instrument und können dazu führen, dass Reduktionsverpflichtungen von anthropogen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Anrechnung von CO<sub>2</sub>-speichernden Ökosystemen verringert werden können. Das schweizerische CO<sub>2</sub>-Gesetz sieht in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Kyoto-Protokolls vor, dass

nach Art. 14 des Bundesgesetzes über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission (CO<sub>2</sub>-Gesetz) vom 1.12.2022, SR 641.71 „die Leistung von Senken von verbautem Holz anrechenbar ist“. Die Anrechnung von Gutschriften ist allerdings umstritten, da es sich bei der Speicherung von CO<sub>2</sub> im Holz nur um einen vorübergehenden Effekt handelt. Trotz kaskadierter<sup>11</sup> Holznutzung, wird am Ende des Holzverwertungszyklus das gebundene CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt (Espazium, 2022). Derzeit keine Möglichkeit zur Anrechnung von gespeichertem CO<sub>2</sub> bieten sich mineralischen Baustoffen, obwohl Beton durch Karbonatisierung während eines 50-jährigen Zeitraums je nach Berechnungsweise zwischen 10-20% (Kaufmann, 2021) oder gar bis 46% (Weidner, Mrzigod, Bechmann, & Sobek, 2021) der im Produktionsverfahren emittierten CO<sub>2</sub>-Mengen wieder absorbiert. In vorliegender Arbeit werden Senkenleistungen nicht berücksichtigt.

## **2.4 Instrumente der Immobilienbewertung**

### **2.4.1 Allgemein**

Immobilien sind ein heterogenes Gut und als Unikate schwierig miteinander vergleichbar, besonders bei illiquiden und wenig transparenten Gebäudemärkten, als der der Schweizer Markt im internationalen Vergleich gilt (Strohm, 2020). Der Wert einer Immobilie kann als Funktion der Nachfrage verstanden werden, die unter Marktbedingungen das Ergebnis von Lage-, Nutzungs- und objektiven und subjektiven Objekteigenschaften ist. Gerade die Lage verleiht einer Immobilie ihre Einzigartigkeit durch unterschiedlich gute Erreichbarkeit von Konsum- und Dienstleistungsangeboten, ÖV-Verfügbarkeit, Nähe zu Naherholungsgebieten, Immissionsexposition, Aussicht u.a.m.. Zur Wertbestimmung müssen Objekte deshalb geschätzt werden, wofür unterschiedliche Methoden von nicht-Cash-Flow- bis Cash-Flow-orientierten Ansätzen zur Verfügung stehen. Im privaten Wohnbereich bei Einfamilienhäusern und Stockwerkeigentumswohnungen werden in der Regel keine Cash-Flow-orientierten Bewertungsmethoden eingesetzt, da es sich üblicherweise um selbstgenutztes Wohneigentum handelt. Anders im institutionellen Bereich bei Renditeliegenschaften, wo Cash-Flow-orientierte Betrachtungen in Form einfacher Brutto- oder Netto-Ertragswertberechnungen und insbesondere in Form der Discounted-Cash-Flow-Methode (DCF) die Regel sind. Sie basieren auf Ertragsannahmen und baulichen, wie betrieblichen Kostenaufwandschätzungen, die entweder im Kapitalisierungssatz (Bruttoertragswert), oder in Form reduzierter Bruttoertragsannahmen durch Schätzung (Nettoertragswert) oder Modellierung der Kosten (DCF) berücksichtigt werden. Bewertungen werden aus unterschiedlichen Gründen angefertigt, sei es aufgrund von

---

<sup>11</sup> Mehrfachnutzung des Rohstoffes durch Wiederverwertung und Verwendung über mehrere Produktstufen

bevorstehenden Kauf- oder Verkaufsabsichten, Immobilienfinanzierungen, zur Steuerung der Performance u.a.m.. Häufigster Grund für Bewertungen dürfte im institutionellen Bereich die jährliche finanzielle Berichterstattung sein, bei der Immobilien zu Marktwerten<sup>12</sup> im Anlagevermögen bilanziert werden müssen.

#### 2.4.2 Funktionsweise der DCF-Berechnung

Im institutionellen Anlagebereich werden Anlageobjekte fast ausnahmslos anhand des Berechnungsverfahrens nach der Discounted-Cash-Flow-Methode bewertet, bei der alle zukünftigen jährlich gegliederten Zahlungsströme auf einen definierten Bewertungszeitpunkt abdiskontiert werden. Dabei verstehen sich die Cash-Flows als Differenz der Bruttomieteträge abzüglich aller investorentseitigen Kosten inkl. Abzüge für vorübergehende und strukturelle Leerstände. Die Berechnung erfolgt nach mathematischer Formel in Abbildung 4:

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

wobei:

$I_0$ : Investitionssumme im Zeitpunkt 0

$CF_t$ : Cash-flow zum Zeitpunkt t

$k$ : Risikogerechter Diskontierungssatz

$t$ : Anzahl Perioden (Jahre)

$T$ : Zeitpunkt, in welchem das Projekt endet

Abbildung 4: Berechnungsformel des Net Present Values (NPV) (Wilding, 2021)

Bei der DCF-Methode handelt es sich um eine Barwertmethode, deren Resultat der Barwert (Net Present Value = NPV) ist. Bei einem Investitionsprojekt gilt, dass eine Investition dann eine ausreichende Rendite abwirft, wenn das Ergebnis für den Net Present Value gleich, oder grösser gleich Null ist. Verständlich wird dies, wenn berücksichtigt wird, dass sämtliche Kosten für Bau, Betrieb und Unterhalt in den Cash-Flows der DCF-Berechnung bereits enthalten sind und der Diskontierungssatz die risikoadjustierten Prämien und erwarteten Gewinnmargen des Anlegers berücksichtigt. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass die Überrendite grösser ist, je höher der Barwert ausfällt. Diese Betrachtungsweise wird in der Bewertung vorliegender Arbeit angewendet. Nicht Teil einer DCF-Berechnung bilden die Kosten für die Finanzierung des erforderlichen Kapitals. Beim üblicherweise angewendeten DCF-2-phasen Modell wird zwischen einer dynamischen und statischen Phase unterschieden. Die jährlichen Zahlungsströme, also Einnahmen und Ausgaben, werden in der dynamischen Phase modelliert, während in der statischen Phase

<sup>12</sup> abhängig von der Rechnungslegung

(meist ab dem 11. Jahr) ein abdiskontierter Netto-Ertragswert zur Anwendung kommt. Dem 2 Phasen-Modell liegt die Annahme zu Grunde, dass sich mit Start der statischen Phase die Erträge und Kosten nach anfänglichen Unstetigkeiten durch Baumassnahmen, Neuvermietungen, Neupositionierung u.a.m. stabilisiert haben und fortan mit einem konstanten jährlichen Cash-Flow gerechnet werden kann. Dieser berücksichtigt, genauso wie die Cash-Flows in der dynamischen Phase, temporäre und strukturelle Leerstände sowie zukünftige Instandsetzungsmassnahmen zur Wiederherstellung der Gebäudegebrauchstauglichkeit.

### 2.4.3 Inputparameter

Unter Inputparametern werden die Daten verstanden, mit denen DCF-Modellrechnungen gespeist werden. Dazu gehören die Diskontsätze, die in dieser Arbeit nach dem synthetischen Zinssatzmodell gemäss Opportunitätskostenprinzip ermittelt werden, und zwar auf Grundlage von monatlich publizierten Immobilienmetadaten von Fahrländer Partner (Fahrländer Partner Raumentwicklung, 2022). Weitere Eingabegrössen sind auf der Ertragsseite die lagebezogenen Nutzwertansätze (Mieten) für die spezifische Nutzung (hier: Wohnen) nach Quadratmeter Mietfläche und Jahr und die Preisansätze für allfällige weitere objektbezogene Ertragsmöglichkeiten wie Parkplätze, Bastel- oder Mehrzweckräume u.a.m.. Gebraucht wird zur Ermittlung der Erträge ausserdem die Grösse der vermietbaren Flächen, die sich aus den objektbezogenen Flächenermittlungen nach SIA 416 ergeben und in dieser Arbeit den Hauptnutzflächen (HNF) entsprechen. Auf der Kosten- seite stehen die Aufwendungen für bauliche Massnahmen, Betrieb und Unterhalt und allfällige weitere Verpflichtungen wie Baurechtszinse zu Buche. Je nach Objekt, Verfügbarkeit oder Projektstand sind Daten zu Mietzinsen und Verwaltungs- und Betriebskosten aus früherer Nutzung ableitbar, oder müssen abgeschätzt werden, wofür in der Schweiz kostenpflichtige Datenbanken verfügbar sind, die gemeindebezogene Spannweiten von Nutzwertansätzen veröffentlichen (z.B.: Wüst Partner, Fahrländer Partner oder IAZI). Datenbanken gibt es auch für Betriebs- und Unterhaltskosten (z.B.: pom+), die für die Bewertung in vorliegender Arbeit nicht verwendet werden und stattdessen auf nutzungsbezogene Erfahrungswerte abgestützt wird. Als kostenähnliche Position zu berücksichtigen sind ausserdem Leerstands- und Absorptionsrisiken, die die Bruttomietterträge mindern. Zu bestimmen sind ausserdem die projektbezogenen Baukosten, deren Kostenkennwerte für vorliegende Arbeit dem *Schlussbericht Holzbaukennzahlen für Investoren* (Wüest Partner, 2020) entnommen werden und über die Geschossflächen (GF) nach SIA 416 berechnet werden. Während die Funktionsweise einer DCF-Berechnung klaren mathematischen Regeln folgt, stellen die Inputparameter eine Unsicherheitsquelle dar und

erfordern viel Erfahrung bei der Anwendung. Die Auswirkungen von unsicheren Inputparameter können durch Sensitivitätsanalysen geprüft werden, bei denen die Reaktion des Barwertes (Net Present Value) auf Veränderung der Eingabedaten geprüft wird. Aus Erfahrung grossen Einfluss zeigen Veränderungen bei Nutzwertansätzen und Diskontierungsfaktoren, etwas weniger sensitiv reagieren in der Regel die Nutzungskosten für Verwaltung, Betrieb und Unterhalt. Sensitivitäten werden im Zusammenhang mit den Bewertungen nicht geprüft, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

### **3. Empirische Untersuchung**

#### **3.1 Forschungsdesign**

##### **3.1.1 Methode**

Die vorliegende Arbeit ist als gegenüberstellende Studie konzipiert, die in einem Zwillingsstudien ähnlichen Aufbau zwei Objekte miteinander vergleicht, die sich nur in wenigen Punkten voneinander unterscheiden, in dieser Arbeit, in ihrer konstruktiven Bauart. Wie in Kapitel 2 *theoretische Grundlagen* beschrieben, handelt es sich beim Vergleich um zwei Studienobjekte, die einerseits in der Holzrahmen- und andererseits in der klassischen Massivbauweise, bestehend aus mineralischen Baustoffen, konzipiert sind. Ausgehend von einem Referenzobjekt (vgl. 3.2.2), das die räumlich-organisatorischen und gestalterischen Rahmenbedingungen vorgibt, werden auf Basis der zu definierenden Leistungsmerkmale und Planungsvorgaben (vgl. 3.2.3) zwei strukturell unterschiedliche Bauprojekte entwickelt. Der Ermittlung des Referenzobjekts (vgl. 3.2.1) wird dabei die Aufgabe zuteil, einen für den schweizerischen Gebäudepark repräsentativen Gebäudetyp zu ermitteln, der die Kriterien für die Auswahl des Referenzobjekts liefert, während mit Bestimmung der Leistungsmerkmale und Planungsvorgaben sichergestellt wird, dass zwei qualitativ gleichwertige Zwillinge entstehen. Mit Unterstützung von Fachingenieuren im Bereich Statik und Bauphysik werden, wie in der planerischen Entwicklungspraxis von Bauprojekten üblich, bauweisespezifische Tragwerkskonzepte entwickelt, Bauteilstärken dimensioniert und Wand- und Deckenaufbauten nach den energetischen und akustischen Anforderungen definiert. Als ergänzendes Hilfsmittel für die Planung dient darüber hinaus der Detailkatalog Holzbau (Pirmin Jung Schweiz AG, 2021), der im Rahmen der Bauprojektplanung für das Referenzobjekt erstellt wurde. Auf diesen Grundlagen entstehen bautypische Vergleichsobjekte unter Berücksichtigung der üblichen, einschlägigen Normen der SIA und des VKF. Nach Konsolidierung der Planung werden die Planungsdaten in projektspezifische 3D-Datenmodelle überführt, die nach der e-BKP-H-

Bauteilgliederung strukturiert werden. Die Datenmodelle bilden die Ressource, aus der die Bauteilabmessungen (2.3.3) für die Treibhausgasbilanzierung gewonnen wird. Die Berechnung der Treibhausgasbilanz für den Bereich Erstellung erfolgt danach nach den Strukturvorgaben der SIA 2032, Anhang A (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020) (2.3.4) unter Verwendung der *Ökobilanzdaten im Baubereich* nach KBOB Version 2.2:2016 (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB, 2016) (2.3.2). Zur Validierung des Bilanzierungsergebnisses und Prüfung der energetischen Gleichwertigkeit der Untersuchungsobjekte wird eine Heizwärmebedarfsberechnung nach den Vorgaben der SIA 380/1 *Heizwärmebedarf* (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2016) erstellt. Grundlage dafür bilden Bauteilflächen von opaker und transparenter Gebäudehülle, sowie die Energiebezugsflächen (EBF) nach SIA 380. Für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs wird ein excelbasiertes Berechnungsprogramm benutzt, das durch die Zentralschweizer Kantone zur Verfügung gestellt wird (Konferenz Kantonaler Energiefachstellen - Regionalkonferenz Zentralschweiz, ohne Datum).

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage und Berechnung des Netto-Barwerts (NPV) (2.4.2) wird auf Basis von projektspezifischen Flächenauswertungen nach SIA 416 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2003) und *GeoInfo*-Marktdaten und Kostenbenchmarks von Wüest Partner (Wüest Partner, 2021) eine DCF-Bewertung erstellt (2.4.2). Als ertragsrelevante Mietflächen werden dabei die Hauptnutzflächen (HNF) nach SIA 416 definiert.

### **3.1.2 Bilanzperimeter**

Beim Bilanzperimeter handelt es sich um die räumliche Abgrenzung des Forschungsbereichs. Nach SIA 2032 können nach Bedarf nur einzelne Bauteile, oder ganze Gebäude bilanziert werden. Bei vorliegendem Untersuch umfasst der Bilanzperimeter das ganze Gebäude mit seinen Aussenmassen inkl. der erforderlichen Massnahmen für den Baugrubenaushub und die Baugrubensicherung. Nicht unter Ansatz fallen Werkleitungerschliessungen, Umgebungs- und Abbrucharbeiten. Ebenfalls nicht einbezogen werden Gütertransporte auf die Baustelle aus der Schweiz, die Energie für den Betrieb von Baumaschinen und der Baustelle, oder Verpackungsmaterial und Materialverschnitt. Nicht berücksichtigt werden ausserdem Kücheneinrichtungen und -apparate sowie haustechnische Anlagen nach SIA 2032, Ziffer 3.4.3.5 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020), für die keine konsolidierte Datengrundlage vorliegt. In Abweichung zu den Bestimmungen nach SIA 2032 werden aber lineare Bauteile in der

Bilanzierung berücksichtigt, da sie trotz verhältnismässig kleinem Bauteilvolumen einen Beitrag an die CO<sub>2</sub>-Emission am Bau leisten. Bei linearen Elementen handelt es sich um Bauteile, wie Geländer Absturzsicherungen, Fensterzargen, Dachrand- und Balkonbrüstungsabdeckungen, Fenstersimse u.Ä..

## **3.2 Vergleichsstudie**

### **3.2.1 Gebäudetyt**

Für die Vergleichsstudie wird ein reales Referenzobjekt verwendet, das in Grösse und Gebäudetyt von aussagekräftiger Bedeutung für den schweizerischen Gebäudepark ist. Damit soll die Voraussetzung für eine objektivierete Untersuchungsaussage geschaffen werden, die Rückschlüsse über die aus dem Referenzprojekt abgeleiteten Untersuchungsobjekte hinaus zulassen.

Gebäude werden in der Schweiz nach Merkmalskatalog des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) (Bundesamt für Statistik (BfS), 2015) erfasst. Die Grundgesamtheit der registrierten Gebäude umfasst reine Wohngebäude, teilweise zu Wohnzwecken genutzte Gebäude und Gebäude ohne Wohnnutzung, die vom GWR nur nach Verfügbarkeit der Daten berücksichtigt werden können. Unterschieden wird zwischen Fahrnisbauten (GKAT1010), Einfamilienhäuser (GKAT1021), Mehrfamilienhäuser (GKAT 1025), Wohngebäude mit Nebennutzungen (GKAT1030), Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung (GKAT1040), Gebäude ohne Wohnnutzung (GKAT1060) und Sonderbauten (GKAT1080). Nicht von Bedeutung für vorliegende Betrachtung sind die Gebäudekategorien 1010 und 1080. Es handelt sich bei Ihnen um Gebäude, wie Wohnwagen, Barracken, Verkaufsstände, Telefonkabinen, Parkhäuser, Perrondächer u.a.m., die entweder keine Gebäude im Sinne des GWR darstellen, oder als Infrastrukturbauten nicht eindeutig dem Tiefbau zugeordnet werden können. Keine konsistenten Daten sind im Weiteren für die Gebäudekategorie 1060 erhältlich, die ein heterogenes, aber relevantes Gefäss bildet und statistisch Gebäude erfasst wie Büro-, Industrie-, Landwirtschafts-, Verwaltungs-, Bildungs-, Kultur- und Sportbauten. Für die verbleibenden Gebäudekategorien 1021, 1025, 1030 und 1040 können die Daten des Bundesamt für Statistik (BfS) wie in Abbildung 5 ersichtlich, wie folgt zusammengefasst werden: In der Bauperiode zwischen 2011 bis 2020 wurden am häufigsten Einfamilienhäuser (1021) erstellt, gefolgt von Mehrfamilienhäusern der Gebäudekategorie 1025. Nur eine kleine Anzahl der erstellten Gebäude entfällt auf die Gebäudekategorien 1030 und 1040. Für die Messung des Baustoffbedarfs, der den massgeblich Treibhausgasausstoss bestimmt, ist die Flächenbetrachtung jedoch aussagekräftiger. In der Flächenbetrachtung entfallen 64% aller Flächen auf



die Gebäudekategorie 1025, zu der bautypologisch auch die Gebäudekategorie 1030 (11%) gezählt werden kann. Nur rund ein Viertel der verbleibenden Flächenproduktion entfällt auf die Gebäudekategorien 1021 und 1040.

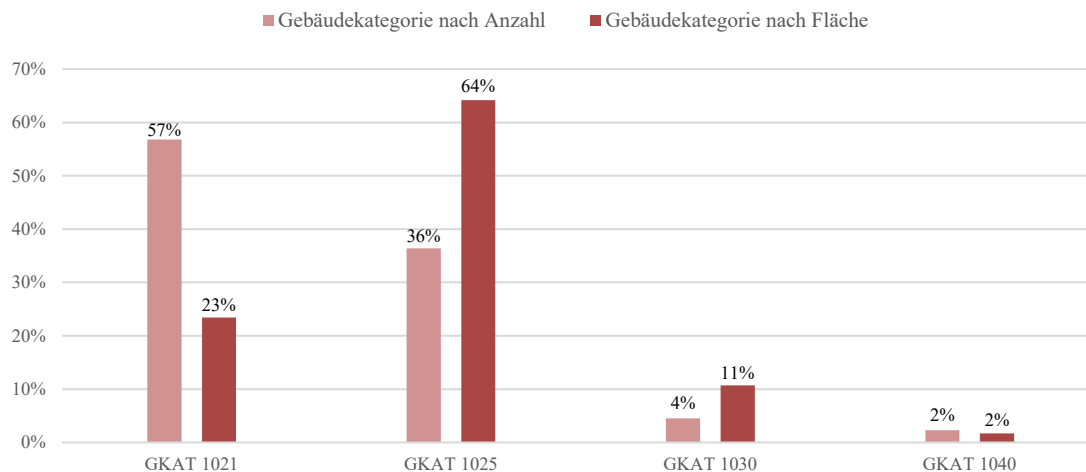


Abbildung 5: Anzahl und Fläche schweizweit erstellter Gebäude nach Gebäudekategorie zwischen 2011 – 2020 (Daten: Bundesamt für Statistik (BfS), 2021)

Als Mehrfamilienhäuser der Gebäudekategorie 1025 gelten gemäss Definition GWR alle ausschliesslich für Wohnzwecke<sup>13</sup> genutzten Gebäude mit zwei oder mehr Wohnungen. Das ist in Bezug auf die Grösse eines repräsentativen Gebäudetyps ein weiter Streubereich, der eingegrenzt werden kann. Die Gebäude- und Wohnstatistik (GWS) unterscheidet bei zu Wohnzwecken genutzten Gebäuden zwischen der Anzahl der Wohnungen pro Gebäude und unterteilt diese auf Gebäudetypen mit 0, 1, 2, 3-5, 6-9 oder 10 und mehr Wohnungen. Unter Annahme einer gemittelten Wohnfläche von 109m<sup>2</sup> pro Wohnung in der Betrachtungsperiode von 2011-2020 (Bundesamt für Statistik (BfS), 2022) und einer durchschnittlichen Anzahl Wohneinheiten von 15 Wohnungen für den nach oben offenen Gebäudetyp mit 10 und mehr Wohnungen, ergibt sich in Abbildung 6 ein Bild, das

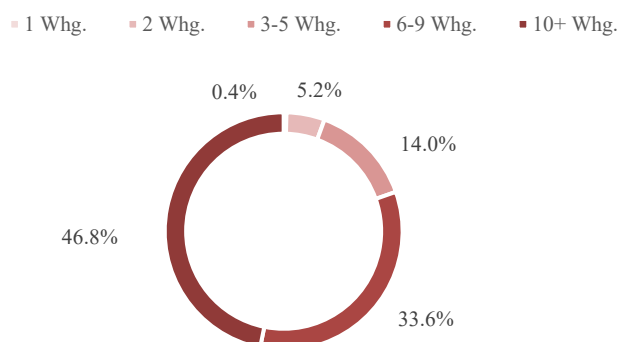


Abbildung 6: Mehrfamilienhäuser nach Anzahl Wohnungen und erstellter Flächen zwischen 2011 – 2020 (Daten: Bundesamt für Statistik (BfS), 2021)

<sup>13</sup> auch Appartementshäuser mit Ferienwohnungen und Büroräumlichkeiten in Wohnungsstrukturen

veranschaulicht, dass Mehrfamilienhäuser in der Schweiz mit 6 und mehr Wohnungen für rund 80% der Stockwerkflächenproduktion im Wohnbereich verantwortlich sind. Diese dürften zu wesentlichen Teilen den Gebäudekategorien 1025 und 1030 zugeschlagen werden können.

### 3.2.2 Referenzobjekt

Nach Daten von 3.2.1 *Gebäudetyp* besteht ein repräsentatives Schweizer Gebäude in der Flächenbetrachtung aus einem Mehrfamilienwohnhaus mit 10 oder mehr Wohnungen. Diesen Kriterien entspricht an der unteren Bandbreite das Projekt der Allgemeine Baugenossenschaft Luzern (ABL) an der Studhaldenhöhe 12a in 6005 Luzern. Es besteht aus insgesamt 10 Wohneinheiten und einem Gemeinschaftsraum und liegt nach gültiger Nutzungsplanung in der Wohnzone WO4 ÜZ mit maximal zulässiger Gebäudehöhe von 17 Metern und einer Überbauungsziffer von 0.25 in einem Wohngebiet mit Lärmempfindlichkeitsstufe II (Stadt Luzern, ohne Datum). Die Umgebungssituation ist gekennzeichnet durch die Hanglage mit östlicher Geländeexposition, periurbaner Bebauungsstruktur und (Platten-)Bauten aus den 1950er-70er Jahren. Nach Informationen des Geoportals des Kantons Luzern besteht der Baugrund aus hartem Fels (Baugrundklasse A). Nennenswerte grundwasserführende Erdschichten sind nicht kartiert (übrige Bereiche), dafür eine mässige Naturgefahr entlang der südlichen Grundstücksgrenze durch Hangrutschung (Amt für Raum und Wirtschaft (rawi), ohne Datum). Insgesamt können die Baugrundverhältnisse als unproblematisch bezeichnet werden, aufwendige Gründungsmaßnahmen und Baugrubensicherungen sind nicht zu erwarten.

Das Neubauprojekt ist als 4-geschossiges Gebäude (EG-3.OG) mit einem Untergeschoss konzipiert, das aufgrund der Hanglage nord- und ostseitig als überhöhtes Vollgeschoss in Erscheinung tritt. Im Untergeschoss sind der Gemeinschaftsraum, die Wohnungskeller und Technikräume sowie ein Bewirtschaftungslokal für die Pflege der Umgebungsflächen untergebracht. Verzichtet wird auf die Projektierung von untergeschossigen Autoeinstellplätzen, da in benachbarter Umgebung brachliegende Kontingente genutzt werden können. Im Erdgeschoss befindet sich der Haupteingang mit Entree zum Mehrfamilienhaus, ein Velo- und Kinderwagenabstellraum, die restlichen Wohnungskeller und eine 4.5-Zimmer-Wohnung. Die Obergeschosse sind identisch organisiert und beherbergen je 3 Wohnungen zwischen 1- und 4.5-Zimmern, wie Abbildung 7 zeigt. Sie werden durch ein zentrales, 3-spänniges Treppenhaus erschlossen und in Querrichtung durch statisch tragende Wandschotten strukturiert. Die Zimmer der mittigen Gebäudeschicht sind

dabei so geplant, dass sie nach Bedarf der einen oder anderen Wohnung zugeschlagen werden können, oder im Falle des Studios auch autonomes Wohnen erlauben.



Abbildung 7: Obergeschossgrundriss Baubewilligungsprojekt Studhaldenhöhe 12a, Luzern (GKS-Architekten Generalplaner AG, 2021)

Konstruktiv ist das Eingabeprojekt als Holzhybridbau konzipiert. Das heisst, dass nur gewisse Teile des Tragwerks aus Holz bestehen und durch konstruktive Materialien wie Stahl und Stahlbeton ergänzt werden. Das Eingabeprojekt sieht ein Untergeschoss samt Decke über UG und einen vertikalen Erschliessungskern aus Stahlbeton vor, Decken aus Holz-Stahlverbundkonstruktionen und Aussen- und Innenwände aus Holzelementen, die als klassische Holzständerkonstruktionen ausgebildet sind. Aus Holz ist auch die Fassade, die aus geschlossenen, stehenden Lärchenholzplatten besteht und als hinterlüftete Konstruktion geplant ist, für die eine Unterkonstruktion aus Lattung und Konterlattung zur ausreichenden Luftzirkulation benötigt wird. Haustechnisch ist das Projekt auf regenerative Energieerzeugungstechnologien ausgerichtet und nutzt das lokal verfügbare Geothermie- und Solarpotential mit Erdwärmesonden und einer Photovoltaikanlage auf dem Flachdach. Auf eine kontrollierte Wohnungslüftung wird verzichtet, ein systematischer Luftwechsel wird über Fensterlüfter und eine zentrale Abluftinstallation in Küche und Bad gewährleistet. In seiner zur Baubewilligung eingereichten Form weist das Bauvorhaben einen Heizwärmebedarf von 33.1 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr aus (Pirmin Jung Schweiz AG, 2021) und unterschreitet damit den gesetzlichen

Grenzwert für Neubauten von 35 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr nach Vorgabe von MuKE n 2014 (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, 2015) um rund 5.5%.

### 3.2.3 Planungsvorgaben an die Vergleichsobjekte

Grundlage der Zwillingsstudie bilden zwei materialspezifische Planungen, die in Bezug auf energetische und bauphysikalische Anforderungen nicht exakt dem Referenzobjekt entsprechen. Die Bedingungen und Vorgaben an die Planung der Untersuchungsobjekte werden wie folgt formuliert:

Gebäudeabmessung: Die Baugesetzgebung sieht in Abhängigkeit von Bauzonenbestimmung und Grundstücksgrösse ein maximal zulässiges flächen-, oder volumenbezogenes Nutzungsmass vor, mit dem eine Bauparzelle überbaut, oder genutzt werden darf. Beim Mass handelt es sich in aller Regel um die anrechenbare Geschossfläche (aGF), oder das anrechenbare Gebäudevolumen (aGV), was nach Definition der SIA 416 ab äusserer Fassadenebene gemessen wird. Das Mass der äusseren Gebäudeabmessung bestimmt die Grösse der Geschossfläche (GF), die ihrerseits Bezugsgrösse für energetische Berechnungen nach SIA 380/1 ist und Einfluss auf Materialbedarf und Menge der Nutzflächen hat. Trotz konstruktiv bedingter Aussenmassabweichungen zwischen den Vergleichsobjekten muss deshalb eine identische Geschossfläche (GF) nach SIA 416 gewährleistet werden.

Geschosshöhen: Als Geschosshöhe wird in Übereinstimmung mit den Begrifflichkeiten nach SIA 380 die Höhe von Oberkante fertigem Nutzbelag zu Oberkante fertigem Nutzbelag des nächst höheren Geschosses verstanden. Je nach konstruktiver Deckenstärke hat die Geschosshöhe Auswirkung auf die Raumhöhe, die als Lichtmass zwischen fertigem Boden- und Deckenbelag definiert wird. Grosse Raumhöhen gelten als räumliches Qualitätsmerkmal, das je nach Ausprägung auf höhere Nutzwertansätze umgelegt werden kann. Innerhalb des limitierenden Faktors Gebäudehöhe und den minimal erforderlichen gesetzlichen Raumhöhen für Wohnräume, verkörpert in der Regel die Raumhöhe das massgebende Planungskriterium. Für vorliegenden Vergleich wird abweichend davon dennoch die *Geschosshöhe* als einzuhaltende Referenz definiert, und zwar aus folgenden Gründen:

- a) Massgebend für den Materialverbrauch ist das Gebäudevolumen, das zwischen den Vergleichsobjekten nur dann vergleichbar sichergestellt werden kann, wenn die Geschosshöhen einheitlich geregelt werden.

- b) Die Geschosshöhe lässt, unter Voraussetzung ausreichender Raumhöhe, eine Betrachtung zu, die weniger stark abhängig ist vom gewählten Deckensystem, das wie jeder planerische Entscheid diskutiert werden kann.
- c) Die Geschosshöhe steht in direktem Zusammenhang mit dem Flächenbedarf für die vertikale Gebäudeerschliessung. Grössere Geschosshöhen können einen höheren Verkehrsflächenbedarf zu Lasten von Nutzflächen nach sich ziehen und damit Auswirkungen auf wirtschaftlichen Ertragsflächen haben (vgl. auch „Treppenhaus / Liftschacht“).

Treppenhaus / Liftschacht: Treppenhaus und Liftschacht gehören nach Norm SIA 416 zu den Verkehrsflächen (VF). Im Allgemeinen gilt, dass ertragsrelevante Flächen in dem Mass schrumpfen, wie Flächen für übergeordnete Erschliessungen steigen. Das Verhältnis der um die Verkehrs- und Funktionsflächen geminderten Nettogeschossfläche zur Geschossfläche (GF) ist bekannt als wirtschaftlich relevante Kenngrösse und wird als Flächeneffizienz bezeichnet. Um allfällig konstruktiv bedingte wirtschaftliche Unterschiede herauschälen zu können, müssen die inneren Raumabmessungen von Treppenhaus und Liftschacht deshalb identisch sein.

Nutzwert: Unter Nutzwert wird der Gebrauchswert eines Gegenstands verstanden. Er unterliegt in der Architektur mitunter subjektiver Einschätzung und hängt davon ab, welche qualitative Bedeutung einem Gebäudebauteil individuell zugemessen wird. Ästhetische Präferenzen fallen in vorliegenden Betrachtungen ausser Ansatz, Beeinträchtigungen der Nutzung durch Hilfskonstruktionen, die dem eigentlichen Zweck der Sache widersprechen, sind aber durch konstruktive Mittel zu beheben. Nicht gemeint mit Nutzwert ist die konstruktive Flexibilität, die die Anpassbarkeit des Gebäudes an Bedürfnisse späterer Nutzungszyklen beschreibt.

Materialisierung: Das Referenzobjekt wurde als Holz-Hybridbau geplant. Zur Kontrastierung der Systeme werden die Vergleichsobjekte konstruktiv so weit wie statisch, bauphysikalisch und brandschutztechnisch möglich entweder als reine Holz- oder Massivbauten konzipiert. Die nicht konstruktiv bedingte Materialisierung der Oberflächen hingegen bleibt gleich. Ausnahme bilden konstruktive Oberflächen, die auch ohne Veredelung heutigen Qualitätsanforderungen entsprechen.

Gebäudehülle (energetisch): Gemäss Systemnachweis weist das Referenzobjekt einen Heizwärmebedarf auf, der die Mindestanforderungen nach MuKE n 2014 erfüllt. Der Wärmedurchlasswiderstand der Gebäudehülle entspricht damit der gesetzlichen

Anforderungen, aber nicht mehr. Im Hinblick auf die Reduktion des Betriebsenergiekonsums im Gebäudesektor sollten heute tiefere Heizwärmebedarfswerte angestrebt werden. Das Referenzobjekt kompensiert diesen Umstand zu einem Teil durch selbstproduzierte Energie aus regenerativen Ressourcen. Ohne Batteriespeicherung, oder Anschluss an einen (privaten) Energieverbund liegt der technisch mögliche Eigenverbrauch von Strom für ein Mehrfamilienhaus dieser Grösse aber nur bei rund 30% (Schaer Energie AG, 2018). Der restliche Strom muss ab dem Netz zu standortüblichem Mix bezogen werden, der im Schweizer Durchschnitt immer noch zu 24% (Bundesamt für Energie (BfE), 2020) aus nicht erneuerbaren Energiequellen stammt. In Hinblick auf die Reduktion der Betriebsenergie während der Nutzungsphase werden die Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand der Gebäudehülle deshalb angepasst und so definiert, dass ein Heizwärmebedarf von 25.1k kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr nicht überschritten wird. Dieser Wert entspricht den Vorgaben des Gebäudestandards Minergie-P und liegt rund 24% unter dem Bedarf des Referenzobjekts.

Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen: Für einen Ersatzneubau in bestehender Bauzone und mit Räumen von mittlerer Lärmempfindlichkeit dürfen beim Referenzobjekt nach Art. 29 und 30 der Lärmschutzverordnung (LSV) vom 1.7.2021, SR 814.41 die weniger strengen Immissionsgrenzwerte (IGW) von 60 dB(A) am Tag und 50dB(A) in der Nacht angewendet werden (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020). Nennenswerte externe Emissionsquellen wie Strassen- und Flugverkehr, Gewerbe u.a.m. sind nicht vorhanden. Die Aussenlärmbelastung ist daher nach SIA 181 als klein bis mässig einzuschätzen. Diese Ausgangslage wird in Hinblick auf eine sich in Zukunft verdichtende Siedlungsfläche mit zunehmender Aussenlärmexposition durch Verkehr und nachbarschaftliche Aktivitäten als wenig repräsentativ für den schweizerischen Durchschnitt beurteilt. Für vorliegende Vergleichsanordnung wird deshalb von einer erheblichen Lärmbelastung ( $L_r$  (Tag) > 60 dB(A);  $L_r$  (Nacht) > 52 dB(A)) ausgegangen, und zwar unter Berücksichtigung der um 3 dB erhöhten Anforderungen nach SIA 181 Ziffer 3.1.1. Zu gewährleisten ist damit ein Bauschalldämmmass von 36 dB(A).

Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen: Wohnräume gelten nach SIA 181 als Räume mittlerer Lärmempfindlichkeit, während die von ihnen ausgehende Lärmbelastung als mässig beurteilt wird. Die Mindestanforderung an das Bauschalldämmmass der Trennbauteile beträgt im Wohnbereich gegenüber internen Lärmquellen 52 dB(A). Wie gegenüber den externen Lärmquellen werden gegenüber den internen Lärmquellen die

hier um 4 dB(A) erhöhten Anforderungen von 56 dB(A) nach SIA 181, Ziffer 3.2.1 definiert, und zwar aus Überlegungen zur prospektiven Gebäudequalität.

Trittschallschutz: Als Trittschall wird die Ausbreitung von Schallwellen über die Gebäudestruktur bezeichnet, die in der Regel vom Begehen der Böden herrühren. Lärmempfindlichkeit und Lärmbelastung durch Trittschall werden bei normaler Nutzung der Wohnsache analog definiert, wie beim internen Luftschallschutz. Die Mindestanforderungen an den Trittschallschutz betragen im Wohnbereich 53 dB(A), die aus gleichen Überlegungen wie beim internen Luftschallschutz mit den hier um 4 dB(A) verringerten Werte für die erhöhten Anforderungen von 49 dB(A) nach SIA 181 Ziffer 3.3.1 definiert werden.

Haustechnik: Das Konzept der Wärmeversorgung, -aufbereitung und -verteilung, sowie der Stromversorgung wird vom Referenzprojekt ohne Modifikation übernommen. Die erforderliche Heiz- und Stromleistung im Betrieb orientieren sich am konstruktiv bedingten Bedarf und verstehen sich als Konsequenz der Bauweise. Der bauweisespezifische Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 lässt somit Rückschlüsse zur energetischen Vergleichbarkeit der Untersuchungsobjekte und zum systemabhängigen Mehrstromverbrauch für die Wärmeversorgung und -aufbereitung zu.

### **3.2.4 Bauliche Merkmale der Vergleichsobjekte**

Im Folgenden wird auf die baulichen Merkmale eingegangen, die sich bei der Planung der Vergleichsobjekte unter Berücksichtigung der *Planungsvorgaben* (3.2.3) auf Basis des Referenzobjektes ergeben haben.

#### Massivbauweise:

Das Tragwerkskonzept der Massivbauweise besteht aus einer flachfundierten Bodenplatte, einem zentralen Betonkern, den äusseren Umfassungswänden und den Geschossdecken, die im Bereich des statischen Systemwechsels zwischen dem Unter- und Erdgeschoss resp. dem Erd- und 1.Obergeschoss auf Stützen abgestützt und/oder an Betonwandscheiben aufgehängt werden.

- Gründung: Dank gutmütiger Baugrundvoraussetzungen erfolgt die Gründung über eine Flachfundation, die nur im Bereich des sichtbaren Untergeschosses durch einen bis 80cm unter Terrain reichenden Frostriegel ergänzt wird. Unter der Stütze muss die Bodenplatte verstärkt werden, um Verformungen der Platte resp. ein Durchstanzen der Stütze zu verhindern. Die Bodenplatte wird unterseitig vollflächig ausgedämmt, was

einerseits mit beheizten Untergeschossnutzungen (Gemeinschaftsraum) zu tun hat und andererseits mit dem gewählten Dämmkonzept (vgl. *Energetische und akustische Gebäudehülle*).

- Kern: Der zentrale Stahlbetonkern um die vertikale Gebäudeerschliessung und die Strukturwände zwischen den Wohneinheiten übernehmen neben dem vertikalen Lastabtrag auch die Aufgabe der horizontalen Gebäudeaussteifung und werden unter Berücksichtigung der erhöhten Anforderungen an den inneren Luftschallschutz zwischen 20 (Umfassungswände Treppenhaus und Wohnungstrennwände) und 25 cm (Liftschacht) stark dimensioniert. Damit können gleichzeitig die Anforderungen an den Feuerwiderstand gewährleistet werden, die nach Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen (VKF) einen minimalen Brandwiderstand von 60 Minuten in Fluchttreppenhäusern und bei Wohnungstrennwänden voraussetzen.
- Tragwände: Die äussere Tragstruktur besteht im Untergeschoss aus Stahlbetonwänden, die gegenüber dem Erdreich verstärkt werden müssen, um die Anforderungen an die Feuchtigkeitsklasse gewährleisten zu können. Ab dem Erdgeschoss werden die tragenden Umfassungswände als Backsteinwände ausgebildet, die über dem Mehrzweckraum zur Aussteifung der Geschossdecke durch Stahlbetonwände ersetzt werden. Um die Deckenstärken optimieren zu können, wird bei der statischen Systemübersetzung zwischen dem Unter- und Erdgeschoss respektive zwischen dem Erd- und 1. Obergeschoss die ansonsten statisch nicht beanspruchte wohnungsmittige Trennwand als Stahlbetonwandscheibe ausgebildet, an der die darunterliegenden Geschossdecken aufgehängt werden. Aus Stahlbeton sind ausserdem die Wohnungstrennwände die selbst unter Berücksichtigung der Schallschutzanforderungen nur 20 cm betragen müssen.
- Geschossdecken: Die Geschossdecken bestehen aus Stahlbeton. Durch Verzicht auf eine kontrollierte Wohnungslüftung entfallen substantielle Deckeneinlagen, die die Deckenstärke einer Stahlbetondecke in der Praxis massgeblich beeinflussen. Aufgrund der erhöhten Schallschutzanforderungen an den internen Luft- und Trittschallschutz nach SIA 181 werden die Geschossdecken dennoch mit einer Stärke von 25 cm dimensioniert.
- Energetische und akustische Gebäudehülle: Das energetische Dämmkonzept sieht zur Reduktion von Wärmebrücken vor, das Gebäude rundherum einzupacken. Damit liegen auch nicht aktiv beheizte Nebenräume im Unter- und Erdgeschoss innerhalb des Dämmperimeters, was Untersichts- und Flankendämmungen innerhalb der Gebäudehülle erübrigt. Die Gebäudehülle im Untergeschoss besteht aus einer aussen verputzten



Mineralwolldämmung, die gegenüber dem feuchten Erdreich durch eine Perimeterdämmung aus extrudiertem Polystyrol ersetzt werden muss. Noch stärker dimensioniert wird die Dämmung ab dem Erdgeschoss, und zwar aufgrund von Montagekonsolen für die Fassadenverkleidung, die zu linearen Wärmebrücken führen, was durch eine bessere Wärmedämmung zu kompensieren ist. Abbildung 8 illustriert den Aussenwandquerschnitt des Massivbaus, mit dem die gestellten Anforderungen an die thermische Gebäudehülle (vgl. 3.3.2) erfüllt werden können. Ebenfalls erreicht werden damit die erhöhten Anforderungen an den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen.

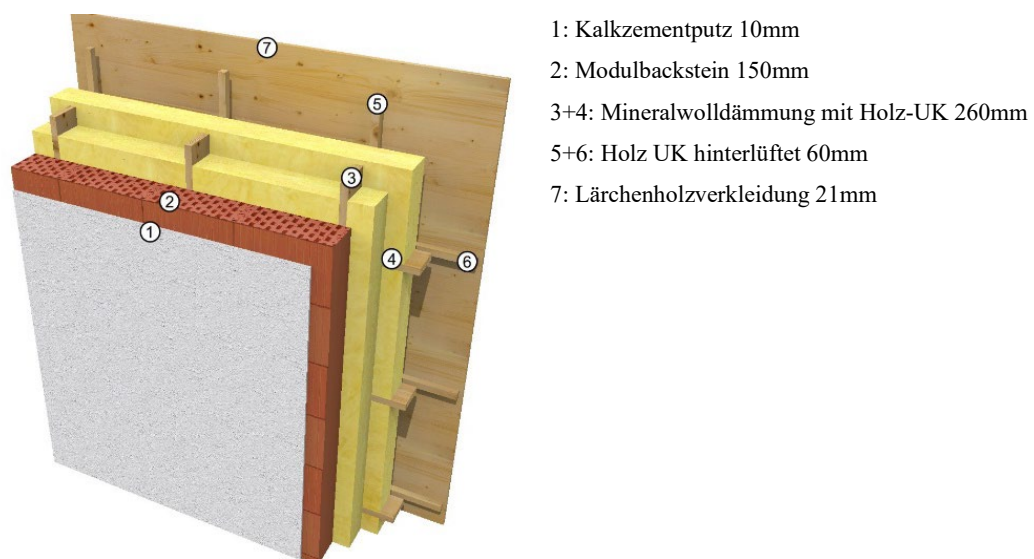


Abbildung 8: Schichtenaufbau Aussenwand über Terrain Massivbau (erstellt aus ubakus.de)

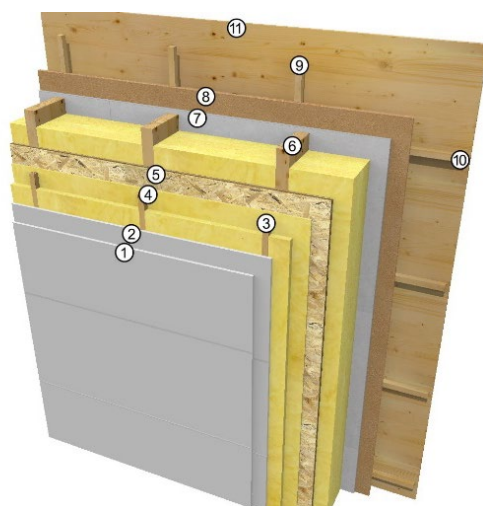
#### Vergleichsobjekt in Holzbauweise:

Das Tragwerkskonzept der Holzbauweise sieht wie bei der Massivbauweise ein Untergeschoss aus einer flachfundierten Stahlbetonbodenplatte, einem zentralen Betonkern und äusseren Umfassungswänden aus Stahlbeton vor. Erst ab dem Erdgeschoss erfolgt der Wechsel zum konstruktiven Holzbau, bei dem die Wandscheiben, mit Ausnahme der Wände um die Nasszelle, statisch tragende Funktionen übernehmen. Im Bereich des statischen Systemwechsels zwischen dem Unter- und Erdgeschoss resp. dem Erd- und 1.Obergeschoss werden die Geschossdecken entweder als Abfangdecke ausgebildet oder über zwischenabgestützte Unterzüge aus Stahlprofilträger unterfangen.

- Gründung: Das Gründungskonzept ist identisch mit demjenigen des Massivbaus. Trotz Überbau aus Holz mit kleinerem Eigengewicht kann die Stärke der unterseitig vollflächig gedämmten Bodenplatte nicht reduziert werden. Unter den erforderlichen Stützen wird die Bodenplatte wie beim Massivbau verstärkt.

- Kern: Der zentrale Kern um die vertikale Gebäudeerschliessung besteht im Untergeschoss aus Beton, darüber aus massiven Brettschichtholzpaneelen, die einen Teil der horizontalen Gebäudeaussteifung wahrnehmen. Um die Anforderungen an den inneren Schall- und Trittschallschutz gewährleisten zu können, wird der Kern samt Liftschacht durch eine Dämmschicht von den inneren Wohnungstrennwänden und den Geschossdecken entkoppelt und als selbständig stehender Turm ausgebildet. Die Anforderungen an den Feuerwiderstand werden durch Kapselung (vollständige Einkleidung) der Holzpaneele erreicht, so dass der minimale Feuerwiderstand nach VKF von 60 Minuten in Fluchttreppenhäusern gewährleistet werden kann.
- Tragwände: Der vertikale Lastabtrag wird beim Holzbau mit Ausnahme der Trennwände um die Wohnungsnasszellen auf fast alle verfügbaren Wandelemente verteilt. Sie sind als Holzrahmenelemente ausgebildet und können in vorliegendem Projekt unterschieden werden nach Wohnungstrennwänden, Deckenaufleger um den zentralen Erschliessungskern, wohnungsmittigen Zimmerwänden und Aussenwänden. Je nach Tragwerksanforderung variieren die statisch erforderlichen Stärken zwischen 16-24 cm ohne Rahmenbeplankung, die je nach energetischen, oder akustischen Anforderungen ein- bis zweischichtig dazukommen.
- Geschossdecken: Die Geschossdecken bestehen zur Reduktion der konstruktiven Höhe ab dem Erdgeschoss aus massiven Brettschichtholzdecken, die aufgrund der Anforderungen an den inneren Luft- und Trittschallschutz 20 cm dick dimensioniert und durch eine abgehängte und ausgedämmte Deckenkonstruktionen ergänzt werden. Schlanker können die Treppenhausgeschosspodeste und auch das Dach dimensioniert werden, die ebenfalls als massive Holzdecken ausgebildet sind. Die Geschossdecke über UG muss aus Gründen des statischen Einbindehorizonts (Erdbeben) als Stahlbetondecke konzipiert werden, die im Bereich des Treppenhauses und der Nebenräume aus 18cm dicken Geschossdecken besteht. Beim statischen Systemwechsel über dem Mehrzweckraum ist eine Abfangdecke mit einer Bauteilstärke von 45 cm erforderlich um Stützen in der Mitte des Gemeinschaftsraums vermeiden zu können. Die Unterfangung der Decke über den Nebenräumen des Erdgeschosses erfolgt über Stützen und einen Stahlprofilunterzug der seitlich durch die Aussenwände gehalten wird.
- Energetische und akustische Gebäudehülle: Das energetische Dämmkonzept sieht wie beim Massivbau vor, das Gebäude rundherum einzupacken. Die Gebäudehülle im Untergeschoss besteht wie beim Massivbau aus einer aussen verputzten Mineralwolldämmung und einer extrudierten Polystyrolämmung gegenüber dem Erdreich. Komplexer

wird die Gebäudehülle ab dem Erdgeschoss, wie Abbildung 9 illustriert. Die Wärmedämmung zwischen der tragenden Ständerkonstruktion kann zwar 2 cm weniger stark als beim Massivbau dimensioniert werden, muss aber durch eine aussenliegende Weichfaserplatte, eine mittige Trittschalldämmschicht und eine innere doppelt verkleidete Dämmlage ergänzt werden, um die energetischen und akustischen Anforderungen erfüllen zu können. Diese können mit vorliegendem Schichtenaufbau wie beim Massivbau gewährleistet werden.



- 1+2: Gipskartonplatten 30mm
- 3: Holz-UK mit Mineralwolldämmung 30mm
- 4: Trittschalldämmung 10mm
- 5: OSB 3-Platte 25mm
- 6: Holzrahmen mit Mineralwolldämmung 240mm
- 7: Gipsfaserplatte 15mm
- 8: Weichfaserplatte 20mm
- 9+10: Holz UK hinterlüftet 60mm
- 11: Lärchenholzverkleidung 21mm

Abbildung 9: Schichtenaufbau Aussenwand über Terrain Holzbau (erstellt aus ubakus.de)

### 3.2.5 Eingabegrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Aus immobilienmarktwirtschaftlicher Sicht handelt es sich bei den beiden Untersuchungsobjekten, um Angebote gleicher Nutzung und Qualität an gleicher Lage. Unterschiede zwischen den Vergleichsobjekten in der Nachfrage von Wohnfläche sind daher nicht zu erwarten. Das bedeutet, dass Eingabegrößen (Inputparameter) wie Diskontierungssätze, Nutzwertansätze und nachfragebedingte Leerstands- und Absorptionsrisiken identisch beurteilt werden können. Der Diskontsatz wird auf Basis der *Immobilienmetadaten* für den Monat August 2022 (Fahrländer Partner Raumentwicklung, 2022) und unter Zuschlägen für die Mikrolage, die Nutzung und der immobilienpezifischen Immobilität auf 2.48% eingeschätzt. Die Mikrolage wird nach *Mikrolagenprofil*<sup>14</sup> (Wüest Partner, 2022) für den Standort Studhaldenhöhe 12a für Mietwohnungen als gut bis sehr gut mit der Note 4.5 bewertet. Es handelt sich beim Standort also um eine der bevorzugten Mietwohnlagen in der Gemeinde Luzern, für die gemäss *Standortinformation* (Wüest Partner, 2022) Nutzwertansätze von CHF 179 pro Quadratmeter und Jahr (10%-Quantil)

<sup>14</sup> beurteilt die relative Güte einer Lage innerhalb der Gemeinde (Wüest Partner, 2022)

bis CHF 346 pro Quadratmeter und Jahr (90% Quantil) gemessen werden. Aufgrund der relativen Güte der Lage, der guten Raumkonzeption und der qualitativ hochwertigen Ausstattung der Objekte kann der Mietpreis für die Bewertung eher offensiv im Bereich des 80%-Quantils angesetzt werden, was in vorliegendem Fall einem jährlichen Mietzins von CHF 288.50 pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr entspricht. Wie bei den Diskontsätzen, Nutzwertansätzen und den Leerständen, können für die Verwaltung und den Unterhalt des Gebäudes identische Kosten angenommen werden. Das Gleiche gilt für die Betriebskosten, unter Voraussetzung von identischem Heizwärmebedarf, und für die Instandstellungsmassnahmen. Auch wenn die Instandstellungen in vorliegender Arbeit gleichwertig angenommen werden, dürften sie sich in Realität mit Verweis auf die Amortisationszeiten der Bauteile nach SIA 2032, Anhang C (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020) unterscheiden und beim Holzbau in der Tendenz höher ausfallen als beim Massivbau. Unterschiede ergeben sich im Gegensatz zu den zuvor erwähnten Eingabegrössen bei den Baukosten, da weder die Grösse der Mietfläche, noch der anzuwendende Kostenbenchmark gleich sind. Die Baukosten werden, wie in Kapitel 2 erwähnt, einem Bericht entnommen, den Wüest Partner im Auftrag des BAFU (Wüest Partner, 2020) erstellt hat und in dem die baukonstruktionsbezogenen Kostenkennwerte miteinander verglichen werden. Gemäss diesem Bericht sind die auf die Hauptnutzfläche (HNF) bezogenen Kostenkennwerte pro Quadratmeter für Holz- und Massivbauten sehr unterschiedlich einzuschätzen. Der Median für einen energetisch zertifizierten Massivbau wird bei rund CHF 3'600 pro Quadratmeter definiert, derjenige für einen Holzbau bei zirka CHF 4'500 pro Quadratmeter. Auch die Mietflächen sind trotz identischer Geschossflächen (GF) nach SIA 416 (beide Varianten: 1'283.3 m<sup>2</sup>) nicht gleich. Das Ergebnis des Flächenvergleichs und die Grösse der Mietfläche pro untersuchter Variante wird unter 3.4 *Wirtschaftlichkeit* vorgestellt. Zusammenfassend sind die Eingabegrössen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Inputparameter für die Bewertung nach der Discounted Cash Flow-Methode

Diskontsatz	Nutzwertansatz	Leerstand	Betriebs- + Unterhaltskosten*	Instandstellungskosten**	Kostenbenchmark	
					Holzbau	Massivbau
[%]	[CHF/m <sup>2</sup> /a]	[%]	[%]	[%]	[CHF/m <sup>2</sup> HNF]	[CHF/m <sup>2</sup> HNF]
2.48	288.50	2	6.1	0.7	4'500	3'600

\*: von Bruttomiettertrag; \*\*: von Investitionskosten

### 3.3 Ergebnisse Ökobilanzierung

#### 3.3.1 Erstellung

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse bei der Treibhausgasbilanzierung zeigt ein nahezu identisches Gesamtergebnis, bei dem keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Holzrahmen- und Massivbauweise festgestellt werden können, wie Tabelle 10 illustriert. Obwohl mit Kontrastierung der konstruktiven Systeme eine Ausgangslage geschaffen wurde, bei der die Holzbauweise auf möglichst wenig mineralische Baustoffe zurückgreifen muss, ist der bilanzierte Treibhausgasausstoss bei der Holzbauvariante sogar leicht über demjenigen des Massivbaus als Vergleichsbenchmark.

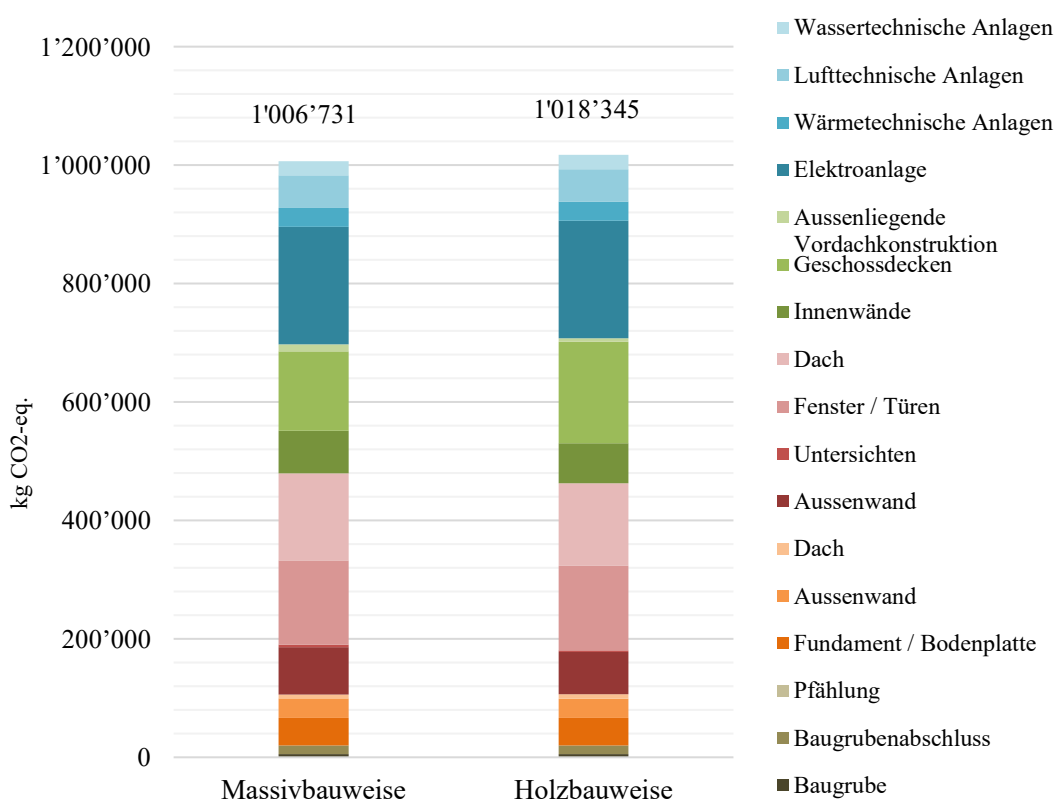


Abbildung 10: kumulierter Treibhausgasausstoss über den Lebenszyklus von Massiv- und Holzbauweise

Die Grössenordnung des bilanzierten CO<sub>2</sub>-Ausstosses kann anhand eines Vergleichs mit Daten aus der Publikation *Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz* (Lignatec, 2011) plausibilisiert werden. Diese zeigt für die Erstellungs- und Errichtungsphase (A1-A5 nach SIA 2032) nach Abbildung 11 ein annualisiertes Ergebnis auf analogem Niveau, wie vorliegende Arbeit. Die Auswertung von Lignatec berücksichtigt allerdings keine Vorbereitungsarbeiten und beruht auf Ökobilanzdaten der KBOB aus dem Jahr 2009, bei denen die CO<sub>2</sub>-Äquivalente von Holz und Holzwerkstoffen höher veranschlagt werden als bei der vorliegend verwendeten Datenbasis aus dem Jahr 2016. Insofern ist die um die

Vorbereitungsarbeiten bereinigte Abweichung von rund 10% zwischen den Energiestandards Minergie-P plausibel erklärbar.

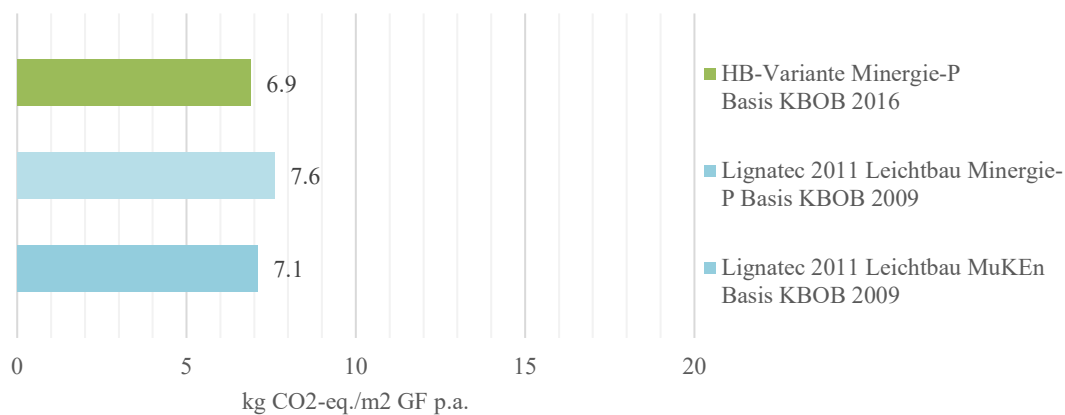


Abbildung 11: annualisierter Treibhausgasausstoss beim Holzleichtbau nach Energiestandard und Datenbasis des untersuchten Holzbaus (grün) und der Studie von Lignum-Holzwirtschaft Schweiz von 2011 (blau) (Daten: (Lignatec, 2011); eigene Daten)

Aufgrund hygroskopischer Eigenschaften ist Holz wenig geeignet für den Einsatz im Bereich des feuchten Erdreichmilieus, wie bereits im theoretischen Teil erläutert (2.2.1). Untergeschosse werden in der Regel auch im konstruktiven Holzhochbau massiv ausgebildet, auch wenn in der Zwischenzeit erste Feldversuche<sup>15</sup> mit Kellergeschossen aus Holz durchgeführt wurden. Die vorliegende bauliche Versuchsanordnung bestehend aus einem massiven, erdberührten Sockelgeschoss und einem Überbau aus Holz entspricht daher einer Konstellation, wie sie nach heutigem Stand der Technik und Kenntnis im konstruktiven Holzhochbau vorzufinden ist. Weniger üblich sind dahingegen vertikale Erschliessungskerne und Liftschächte aus Holz im mehrgeschossigen Wohnungsbau, und zwar aus Gründen der horizontalen Gebäudeaussteifung, des inneren Schall- und Trittschallschutzes und der Anforderungen an den Brandschutz, der eine Kapselung der konstruktiven Holzstruktur nach sich zieht. Diese Anforderungen sind in der Regel einfacher mit einem Betonkern zu erfüllen und Grund, weshalb sich das Referenzobjekt gegen einen Erschliessungskern aus Holz entschieden hat. In der Detailanalyse ist zu erkennen, dass die Kernwände aus Holz um die vertikale Gebäudeerschliessung nur rund einen Drittel der Treibhausgase des massiven Betonkerns verursachen und das inklusive Kapselung der Holzpaneele. Eine Versuchsanordnung mit einem Kern aus Stahlbeton, hätte die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Holzbauvariante also belastet. Die Auswertung der Detailresultate nach Datenerfassungsstruktur SIA 2032 zeigt, wie Abbildung 12 illustriert, in Bezug auf die

<sup>15</sup> [www.timbatec.com](http://www.timbatec.com)

Positionen *Vorbereitung*, *Gebäudehülle unter Terrain* und *Gebäudetechnik* wie erwartet kaum Abweichungen. Es handelt sich um Positionen mit Bauteilen, die entweder wenig Abhängigkeiten zur konstruktiven Gebäudestruktur zeigen, oder gleicher Bauart sind. Unterschiede bestehen dafür bei der *Gebäudehülle über Terrain* und den *Innen-&Aussenbauteile* zeigt.

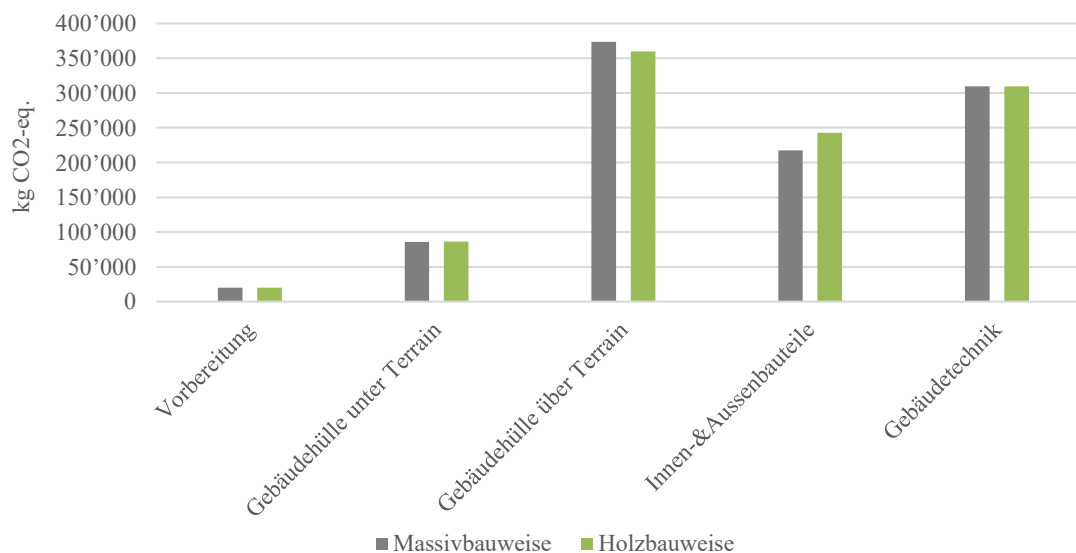


Abbildung 12: kumulierter Treibhausgasausstoss über den Lebenszyklus nach primärer Datenerfassungsstruktur nach SIA 2032 von Massiv- und Holzbauweise

Während sich die Vorteile der Holzbauweise in Bezug auf die Treibhausgasemissionen bei der Position *Gebäudehülle über Terrain* mit einer Differenz von 4.6% nachweisen lassen, zeigt sich bei den *Innen-&Aussenbauteile* ein deutliches Defizit. Bei der Analyse auf Stufe der sekundären Erfassungsstruktur nach SIA 2032 wird ersichtlich, dass die *Geschossdecken* grossen Anteil zum Ergebnis leisten und rund 25% CO<sub>2</sub>-Äquivalente mehr ausstossen, als sie dies bei der Massivbauvariante tun. Das Untersuchungsergebnis kann folgendermassen eingeordnet werden:

#### 1. Konstruktive Ursachen:

**Schichtenaufbau:** Bauteile in der Holzbauweise sind in ihrem Aufbau nicht homogen. Ein Wandelement besteht, wie beschrieben und illustriert, aus einer Vielzahl von Schichten und Materialien. Gemäss Datenauswertung zur Treibhausgasbilanzierung macht Vollholz in einer rohen Rahmenkonstruktion von 24 cm mit einschichtiger Verkleidung nur rund 25% des Volumens aus, der Rest entfällt zu 60% auf Dämmstoffe und zu rund 15% auf gipsgebundene Verkleidungen, oder Holzwerkstoffplatten. Fallweise werden in einem Aussenwandaufbau darüber hinaus Windpapiere und Dampfbremsen benötigt, die bei hinterlüfteten Fassaden im Massivbau nicht

erforderlich sind. Insbesondere Gipsfaserplatten und die ökologisch etwas weniger problematische Grobspanplatten (OSB-Platten), die beide zur Stabilisierung des statisch beanspruchten Holzrahmens gebraucht werden, tragen erheblich zur CO<sub>2</sub>-Bilanz von Wandelementen im Holzrahmenbau bei, je nach konstruktivem Bedarf und Materialwahl der Dampfbremsen auch sie. Auch wenn Vollholz als Material ein sehr treibhausgasfreundliches Material ist, die Rahmenkonstruktion als Bauteil ist es nur bedingt. Die Einsparung bei den Aussenwänden über Terrain beträgt in vorliegender Versuchsanordnung gegenüber der Massivbauweise inkl. Aussenwärmedämmung rund 15%, bei den Innenwänden resultiert gar ein knappes Defizit.

Statik: Bei der Übersetzung eines Tragwerkssystems zwischen unterschiedlich genutzten Geschossen stellt sich üblicherweise die Frage nach dem vertikalen Lastabtrag. Im Holzrahmenbau sind die statischen Möglichkeiten in der Regel auf Druck belastete Wände und Stützen mit oder ohne Unterzüge beschränkt. Relevant auf Schubspannung beanspruchbare perforierte Wandelemente, die in der Lage sind, vertikale Kräfte aufzunehmen und über eine Distanz von 10 und mehr Metern horizontal abzuleiten, gibt es im Holzrahmenbau nicht. Während beim Stahlbetonbau der Verzicht auf raummittige Stützen im Gemeinschaftsraum des Referenzobjekts durch Verbund zweier Decken mit einer als Überzug ausformulierten Stahlbetonwandscheibe rationell bewältigt werden kann, braucht es dafür beim Holzrahmenbau eine Abfangdecke aus 45cm Stahlbeton, auf die der Überbau aus Holz abgestellt werden kann. In der Summe wird beim Holzbau für diese Massnahme ein Mehrtreibhausgassaustoss von 8'350 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente verursacht, was 5% des Bilanzumfangs der gesamten Position *Geschossdecken* ist.

## 2. Bauphysikalische Ursachen:

Der konstruktive Holzrahmenbau erweist sich nach den Planungserfahrungen für vorliegende Arbeit als sehr fein tariertes System. Änderungen von statischen und bauphysikalischen Anforderungen, führen insbesondere bei akustischen Anforderungen schnell zu Anpassungen bei der Dimensionierung von Bauteilen und beim Schichtenaufbau von Wänden und Decken. Ganz besonders gilt das für die Aussenwände in der Rahmenbauweise, denen die erforderliche Masse zur Aufnahme tiefer Aussenschallfrequenzen fehlt, während die Massivbauweise kaum auf veränderte Aussenlärmbedingungen reagiert. Nach Daten von Lignatec trifft eine erhöhte Sensitivität auch auf die Veränderung energetischer Anforderungen zu. Während die gebäudestandardbezogenen Treibhausgasemissionen für die Erstellung eines Holzleichtbaus nach MuKE n mit 7.1 kg CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter und Jahr angegeben



werden, werden sie beim Gebäudestandard Minergie-P auf 7.6 kg CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter und Jahr geschätzt und beim Massivbau nach MuKE n mit 8.3 kg CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter und Jahr beziffert und nach Gebäudestandard Minergie-P mit 8.8 kg CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter und Jahr (Lignatec, 2011). Das heisst, dass sich die Erhöhung der energetischen Anforderungen beim Holzbau etwa 15% stärker auswirken als beim Massivbau. Dass weniger anspruchsvolle bauphysikalischen Anforderungen aber kein Indiz für eine bessere Treibhausbilanz sind, zeigt ein Vergleich zwischen dem verwendeten originären Referenzprojekt und der entwickelten Holzbauvariante. Obwohl das entwickelte Vergleichsobjekt aus Holz bessere Wärmedämmwerte ausweisen kann und anspruchsvolleren Aussenlärmbedingungen gerecht werden muss, ist seine Treibhausgasbilanz besser. Wie aus Abbildung 13 ersichtlich ist, ist das auf das Verkleidungsmaterial zurückzuführen, das beim Referenzbau ausschliesslich aus Gipsfaserplatten besteht.

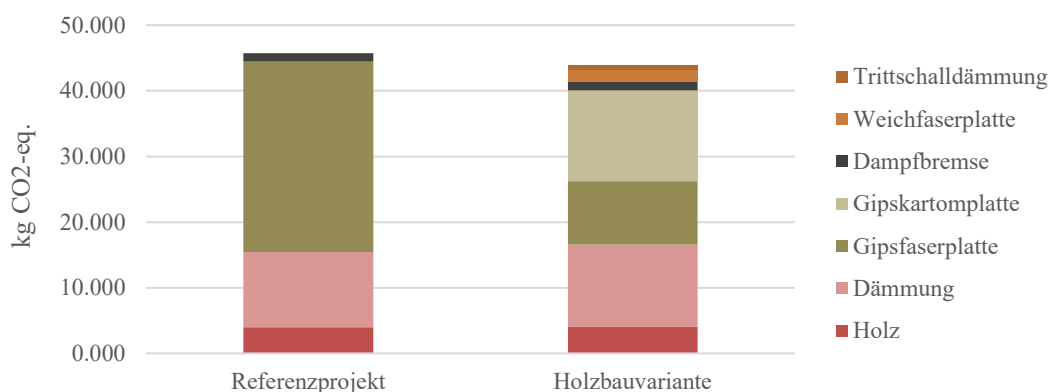


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen pro Quadratmeter Aussenwandkonstruktion von Referenzobjekt und entwickelter Holzbauvariante

### 3. Bilanzierungsbedingte Ursachen:

Strukturelle Konstruktionselemente werden in e-BKP-H-Hauptgruppe C zusammengefasst und nach SIA 2032, mit Ausnahme *aussen liegender Konstruktionsteile*, mit einer Amortisationsdauer von 60 Jahren versehen. Beim Massivbau werden damit alle konstruktiven Bauteile von der 60-jährigen Amortisationsdauer erfasst, die statische, bauphysikalische und brandschutztechnische Aufgaben erfüllen. Das ist auch beim Holzbau so, mit dem Unterschied, dass konstruktive Bauteile durch zusätzliche Schichten ergänzt werden müssen, mit denen diese Anforderungen erst gewährleistet werden können. Sie zählen zu den *Bekleidungen* und gehören nach SIA 2032, Anhang C zur Hauptgruppe G, die mit einer kalkulatorischen Amortisationsdauer von 30 Jahren belegt wird. Die Deckenbekleidungen führen bereits in der Erstellung zu einem Unterschied, da der Massivbau keine benötigt, in der Lebenszyklus-

betrachtung fällt diese Position sogar ein zweites Mal an. Insgesamt sind die Deckenbekleidung aus Abhängung, Dämmung und Verkleidung in vorliegendem Vergleich für rund 26'500 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente verantwortlich, was rund 15% des Ergebnisses für die *Geschossdecken* ausmacht. Zusammen mit der Abfangdecke kommt so ein Mehrausstoss gegenüber der Massivbauvariante zustande, der dafür sorgt, dass bei den *Innen-&Aussenbauteile* kein leichtes Plus geschrieben werden kann.

### 3.3.2 Betrieb

Eine vollständige Ökobilanz Betrieb nach Vorgaben der SIA 2040 und SIA 380 wird im Rahmen dieser Arbeit nicht erstellt. Erstellt wird aber eine bauweiseabhängige Heizwärmebedarfsberechnung nach SIA 380/1, mit der die approximative energetische Gleichwertigkeit der Versuchsobjekte nachweisen werden soll. Wie die SIA 2032 nämlich einleitend bemerkt, haben Massnahmen „im Bereich Erstellung [...] immer auch mit Blick auf die Auswirkungen im Bereich Betrieb [zu] erfolgen“ (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020). Gemäss Heizwärmebedarfsberechnung nach SIA 380/1 bewegen sich beide Vergleichsobjekte unter Berücksichtigung der Energiebezugsflächen und Bauteilgrössen samt 15% Wärmebrückenzuschlag auf vergleichbarem Niveau im Bereich von 25 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr. Während die Werte für den Heizenergiebedarf keine relevanten Unterschiede zeigen, unterscheidet sich die Wärmespeicherkapazität der Bauweisen erheblich. Die fehlende Masse der Holzrahmenbauweise dürfte in Zukunft dazu führen, dass sie eine höhere Kühllast zu tragen hat, was mit Verweis auf die klimatische Entwicklung (vgl. Abbildung 1) berücksichtigt werden muss.

## 3.4 Wirtschaftlichkeit

### 3.4.1 Auswertung Mietflächen

Bei der Mietflächenbetrachtung kann der Holzbau den Vorteil dünnerer Auswandquerschnitte nicht nutzen. Der Grund liegt bei den Innenwänden, die mit Ausnahme der Wände um die Nasszellen statisch ausgebildet werden müssen (vgl. 3.2.4). Das hat Folgen für die Bauteilstärken und den Flächenkonsum der Konstruktionsflächen (KF). Gemäss Abbildung 15 und Flächenauswertung nach SIA 416 wird ersichtlich, dass der Mehrbedarf an Konstruktionsfläche beim Holzbau fast ausschliesslich auf Kosten der Nutzfläche (NF;  $NF = HNF + NNF$ ) geht. Auch wenn die absolute Differenz auf Grund der Grösse des Objekts nicht entscheidend ausfällt, beträgt der Unterschied bei den Konstruktionsflächen (KF) dennoch rund 6%, bei der Mietfläche, die im vorliegender Arbeit mit der

Hauptnutzfläche (HNF) nach SIA 416 gleichgesetzt wird, resultiert eine Differenz von 1.5%.

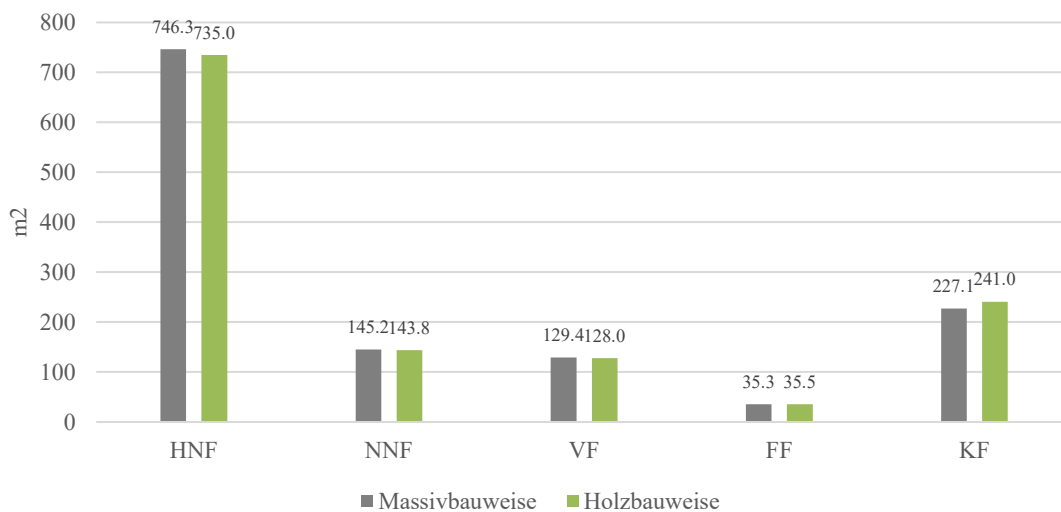


Abbildung 14: Flächenauswertung nach Flächendefinition SIA 416 pro Quadratmeter

### 3.4.2 Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach der Discounted Cash-Flow-Methode ergeben sich in beiden bewerteten Varianten positive Werte, was bedeutet, dass der interne Zinssatz (IRR) über dem angewendeten Kalkulationszinssatz liegt. Die gesteckten Renditeziele können demnach bei beiden Vergleichsobjekten erreicht werden. In der Gegenüberstellung zeigt sich bei der Massivbauvariante mit CHF 2.4 Mio. ein doppelt so hoher Barwert, wie bei der Holzbauvariante mit CHF 1.2 Mio.. Das äussert sich entsprechend auch in unterschiedlichen Renditegrössen, die im Exit bei der Massivbauvariante brutto 4.88% beträgt und bei der Holzbauvariante 3.97%, in der Nettobetrachtung beim Massivbau 3.88% und beim Holzbau 3.01%. Auch wenn die Renditeziele erreicht werden können sind 87 Basispunkte bei der Nettorenditenbetrachtung eine erhebliche Differenz. Diese dürfte durch Investoren nur dann in Kauf genommen werden, wenn zukünftige Ertrags- und Kostenrisiken, wie z.B. eine auf die Erstellung von Gebäuden ausgeweitete CO<sub>2</sub>-Steuer, reduziert werden kann, oder Wertänderungsrenditen bessere Prognosen für die eine, oder andere konstruktive Bauvariante versprechen. Solche Überlegungen sind aber theoretischer Natur und bieten zurzeit kaum ausreichend plausible Gründe, sich für die Erstellung vorliegender Holzbauvariante zu entscheiden, insbesondere nicht unter Berücksichtigung der Ergebnisse im Rahmen der Treibhausgasbilanzierung.

Vollständigkeitshalber soll an dieser Stelle auch auf das wirtschaftliche Ergebnis eingegangen werden, das sich zeigt, wenn die gestellten Anforderungen an die bauphysikalischen Leistungsmerkmale denjenigen des Referenzobjekts entsprechen und der

winterliche und sommerliche Wärmeschutz nach den Mindestanforderungen gemäss MUKEN 2014 und der Aussenlärm nach SIA 181 mit klein bis mässig ausgelegt werden können. In diesem Fall ist von einem Flächengewinn von 15-20 m<sup>2</sup> beim Holzbau auszugehen, womit bei der vermietbaren Fläche (VMF) rund 750-755 m<sup>2</sup> resultiert. Unter diesen Prämissen kann ein Barwert von CHF 1.3 Mio. ermittelt werden und Renditen, die sich bei der Nettobetrachtung marginal um 2 Basispunkte auf 3.03% verbessern. Dieses Ergebnis verdeutlicht die Bedeutung von Baukosten, die bewertungszeitpunktnah anfallen.

### **3.5 Beantwortung der Forschungsfragen**

Die eingangs formulierten Forschungsfragen gehen von der Annahme aus, dass hinsichtlich Klimafreundlichkeit eine Differenz zu Gunsten der Holzbauweise nachgewiesen werden kann. Mit Hypothesenformulierung wird gleichzeitig die Erwartung geäussert, dass der Unterschied zwischen den zu untersuchenden Bauweisen geringer ausfallen dürfte als üblicherweise angenommen. Vorliegende Untersuchungsergebnisse stützen diese Vermutung und geben aufgrund der kaum feststellbaren Differenz Anlass zur Annahme, dass eine Abweichung von mehr als 10% zwischen den konstruktiven Bauvarianten in der Holzrahmen- und Massivbauweise auch bei anderer Übungsanlage nicht feststellbar sein dürfte. Was die Kosten für klimafreundliches Bauen betrifft, hat sich die Frage nach Bilanzierungsergebnis erübrigt.

## **4. Schlussbetrachtung**

### **4.1 Fazit**

Das durchgeführte Experiment kann wie folgt zusammengefasst werden: Ein wesentlicher Unterschied bei der Treibhausgasermittlung kann zwischen den untersuchten Bauvarianten nicht festgestellt werden. Der Unterschied des vorliegenden Resultats bewegt sich in der Lebenszyklusbetrachtung im 1-Prozentbereich zu Gunsten der Massivbauweise. Festgestellt werden kann, dass Holz nach den verwendeten Ökobilanzdaten ein klimafreundlicher Baustoff ist. Festgestellt werden muss mit Abschluss dieser Arbeit aber auch, dass konstruktiver Holzbau weit mehr ist als Holz und Holzbau erst möglich wird durch Materialien, die einen weit weniger positiven Treibhausgasfussabdruck haben als es Holz hat. Trotz verhältnismässig kleinem Volumenanteil spielen gipsbasierte Wand- und Deckenverkleidungen in der Holzrahmenbauweise eine zentrale Rolle und verantworten einen wesentlichen Teil der bauteilbezogenen Treibhausgasemissionen, nicht zuletzt, weil sie in der Lebenszyklusbetrachtung in Form von *Bekleidungen* teilweise

mehrfach gebaut und wieder entsorgt werden müssen. Das führt bei knappen Bilanzierungsergebnissen zur sonderbaren Ausgangslage, dass wer in der erstmaligen Erstellung des Gebäudes weniger emittiert, in der Lebenszyklusbetrachtung plötzlich schlechter dasteht. Genau das ist der Fall bei vorliegendem Experiment und schärft damit den Blick, dass kurzfristige Betrachtungen irreführend sein können. Damit Vorteile während der Erstellung nicht auf Kosten der Betriebsenergie gehen, wird auch der betriebliche Bedarf betrachtet. Auch in diesem Bereich unterscheiden sich die beiden Untersuchungsobjekte kaum. Das ist allerdings beabsichtigt, denn erst mit Gleichwertigkeit des betrieblichen Energiebedarfs wird das Ergebnis im Bereich Erstellung validiert. Ein erheblicher Unterschied wird dahingegen in der wirtschaftlichen Analyse festgestellt. Der Holzbau kostet nicht nur deutlich mehr, er verliert durch seine grösstenteils statisch belasteten Innenwände mit entsprechend breiten Wandquerschnitten auch den Vorteil der grundsätzlich schlankeren Aussenwandquerschnitte. Die Frage nach den Kosten für klimafreundliches Bauen hat sich damit, zumindest für vorliegendes Experiment erübrigt, denn die klimafreundlichere Variante ist auch die günstigere.

Das vorliegende Untersuchungsergebnis widerspricht der allgemein verbreiteten Auffassung vom klimafreundlichen Bauen in Holz und macht eine Generalisierung des Ergebnisses schwierig. Schwierig ist es nicht zuletzt, weil jeder Planung eine gewisse Subjektivität anhaftet, die sich aus den vielen planerischen Möglichkeiten ergeben. Man darf sich zu Recht die Frage stellen, ob vielleicht nicht doch eine andere Deckenkonstruktion, die ohne Deckenbekleidungen auskommt, oder eine Ausgangslage, bei der keine statischen Systeme übersetzt werden müssen zu einem ganz anderen Ergebnis führen würde. Nach der Analyse der Untersuchungsergebnisse muss es als wenig wahrscheinlich betrachtet werden, dass ein Holzrahmenbau einen grösseren Vorteil in der CO<sub>2</sub>-Betrachtung erzielen kann als die einführend behaupteten 10%. Denn wenn beachtet wird, wie viel ein aufwendiger Baugrund zu einer Treibhausgasbilanz beitragen kann, wenn bedacht wird, dass die hohen bauphysikalischen Anforderungen auch den Massivbau mit 30% mehr Deckenvolumen treffen und wenn man berücksichtigt, dass darauf verzichtet wird, die ausländische Holzherkunft zu bewerten, kann vermutet werden, dass der Unterschied zwischen den zwei Bauweisen nicht erheblich sein wird. Dieser Gedanke kann mit folgendem Versuch unterstrichen werden: Selbst, wenn die Treibhausgasbilanz beim Holzbau um 30% der durch die Holzbauteile verursachten Treibhausgasemissionen gekürzt wird, ist die Differenz immer noch, wenn auch knapp, kleiner als 10%. In der Tendenz kann vorliegendes Treibhausgasstoss-Ergebnis also verallgemeinert werden.

## 4.2 Diskussion

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit liegt auf der Hand, vor allem mit planerischem Hintergrund. Gerade weil die Frage nach dem ökologischen Mehrwert von Holzbauten schon so oft zu beantworten versucht worden ist, herrscht Verwirrung, die auch in diesem Fall dazu geführt hat, dass Klarheit geschaffen werden will. Ob es mit dieser Methode gelingt zu überzeugen, ist fraglich, denn die Gleichwertigkeit der erarbeiteten Untersuchungsobjekte kann mit Ausnahme bauphysikalischer Energieberechnungen kaum objektiv nachgewiesen werden. Der Übungsanlage fehlt eine wesentliche Komponente, die für wissenschaftliches Forschen erforderlich ist. Selbst die Herleitung eines repräsentativen Gebäudetyps zur Objektivierung des Untersuchungsgegenstands behebt dieses Defizit im Kern nicht, weshalb das Ergebnis mit Vorbehalten behaftet bleibt. Festgestellt werden kann, dass das methodische Vorgehen zum Ziel geführt hat, und zwar zu einem, das in seiner Bilanzierungsgrößenordnung die Sprache vergleichbarer Treibhausgasbilanzierung spricht. Insofern ist das Vorgehen methodisch angemessen.

## 4.3 Ausblick

Was im Rahmen dieser Arbeit zu kurz gekommen ist, sind die betriebsenergetischen Betrachtungen, die im Bereich der Klimatisierung von Gebäuden viele offene Fragen bereithält. Wie muss die Nachhaltigkeit von Gebäude unter dem Aspekt der Klimaerwärmung beurteilt werden? Welche Strategien bieten sich dem Holzbau in Anbetracht der fehlenden Wärmespeichermasse? Ebenfalls nicht diskutiert wurde der Aspekt der Strukturflexibilität der Bautypen, in der vermutlich eines der grössten Potentiale steckt, weil es ein suffizienter Ansatz ist, der relevant Treibhausgasemissionen verhindert, bevor sie entstehen.

## Literaturverzeichnis

- Amt für Raum und Wirtschaft (rawi). (ohne Datum). *geoportal.lu.ch*. Abgerufen am 17. August 2022 von [geoportal.lu.ch: www.geoportal.lu.ch](http://www.geoportal.lu.ch)
- Bau Netz. (ohne Datum). *www.baunetzwissen.de*. Abgerufen am 14. August 2022
- Böhni, H., Gauch, M., & Matasci, C. (1. November 2021). *www.dievolkswirtschaft.ch*. *Wie viel Material verbraucht die Schweiz?* Abgerufen am 25. Juli 2022
- Bundesamt für Energie (BfE). (2020). *bfe.admin.ch*.
- Bundesamt für Gesundheit, Arbeit und soziale Sicherheit. (01. Juli 2021). *Lärmschutzverordnung*. Von <https://www.fedlex.admin.ch> abgerufen
- Bundesamt für Statistik (BfS). (2022). *Bau- und Wohnungswesen*. Abgerufen am 18. August 2022 von [bfs.admin.ch: https://www.bfs.admin.ch](https://www.bfs.admin.ch)
- Bundesamt für Statistik (BfS). (2015). Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister: Merkmalskatalog. (B. f. (BfS), Hrsg.) Abgerufen am 28. August 2022 von [bfs.admin.ch: www.bfs.admin.ch](http://www.bfs.admin.ch)
- Bundesamt für Statistik (BfS). (10. Juli 2022). *www.bfs.admin.ch*.
- Bundesamt für Statistik. (2022). *www.bfs.admin.ch*. Abgerufen am 10. 07 2022
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2013). *Klimaszenarien Schweiz - eine regionale Übersicht*.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2018). *Die Umwelt - Natürliche Ressourcen in der Schweiz*.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (12. Dezember 2020). *www.bafu.admin.ch*. Abgerufen am 10. Juli 2022
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2021). *Jahrbuch Wald und Holz* .
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (ohne Datum). *www.bafu.admin.ch*. Abgerufen am 11. August 2022
- Cem Suisse. (1. Januar 2021). Kennzahlen 2021.
- Cembureau. (ohne Datum). *www.cembureau.eu*. Abgerufen am 8. August 2022

- Credit Suisse. (2021). *Sorgenbarometer 2021*.
- Dederich, L. (ohne Datum). Mehrnutzen durch verdichtetes Bauen.
- enargus. (ohne Datum). [www.enargus.de](http://www.enargus.de). Abgerufen am 28. Juli 2022
- Espazium. (2022). *Transfer Nr. 1*. Zürich: Espazium.
- Fahrländer Partner Raumentwicklung. (2022). *Metaanalyse Immobilien Schweiz - August 2022*.
- Frischknecht, R. (2020). *Lehrbuch der Ökobilanzierung*. Springer Spektrum.
- GKS-Architekten Generalplaner AG. (1. Juli 2021). Baueingabedokumente.
- Holzbau Schweiz. (ohne Datum). [www.holzbau-schweiz.ch](http://www.holzbau-schweiz.ch). Abgerufen am 11. August 2022
- Kaufmann, W. (10. Mai 2021). [concrete.ethz.ch](http://concrete.ethz.ch). Abgerufen am 5. Juli 2022
- Konferenz Kantonalen Energiedirektoren. (09. 01 2015). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, Ausgabe 2014. Schweiz.
- Konferenz Kantonalen Energiefachstellen - Regionalkonferenz Zentralschweiz. (ohne Datum). [www.energie-zentralschweiz.ch](http://www.energie-zentralschweiz.ch). Abgerufen am 15. August 2022
- Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB). (2016). [www.kbob.admin.ch](http://www.kbob.admin.ch).
- Liechti, R. (11. August 2022). Nachhaltigkeit Betonkonstruktion.
- Lignatec. (2011). *Klimaschonend und effizient bauen mit Holz*. Zürich: Lignum, Holzwirtschaft Schweiz.
- Lüthi, T., Gautschi, M., & Läderach, T. (2019). Zur aktuellen Lage der Schweizer Holzbauindustrie. *Holz-Zentralblatt*, 718-719.
- Lüthi, T., Gautschi, M., & Läderach, T. (16. August 2019). Zur aktuellen Lage der Schweizer Holzindustrie. *Holz-Zentralblatt*(Nummer 33), 718-719.
- National Centre for Climate Services (NCCS). (24. November 2020). [www.nccs.admin.ch](http://www.nccs.admin.ch). Abgerufen am 13. Juli 2022



- Pirmin Jung Schweiz AG. (2021). *Berechnung des Heizenergiebedarfs nach Norm SIA 380/1 (2016)*. Nachweis, Bauphysik.
- Pirmin Jung Schweiz AG. (22. 07 2021). *Detailkatalog Holzbau Hirtenhofstrasse 12a Luzern*.
- Ragetti, M. (2017). *Effekt von Hitzeperioden auf die Sterblichkeit und Evaluation von Adaptationsmassnahmen zwischen 1995 und 2013*.
- Renggli International AG. (18. Oktober 2021). *www.renggli.swiss*. Abgerufen am 31. Juli 2022
- Schaer Energie AG. (12 2018). *Eigenverbrauch von Strom mit und ohne Batteriespeicher*.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2003). *SIA 416 - Flächen und Volumen von Gebäuden*. Schweiz.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2015). *SIA 380 - Grundlagen für die energetische Berechnung von Gebäuden*.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2016). *SIA 380/1 - Heizwärmebedarf*.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2017). *SIA 2040 - Effizienzpfad Energie*.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2020). *SIA 181 - Schallschutz im Hochbau*.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2020). *SIA 2032 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden*.
- Stadt Luzern. (ohne Datum). *Bau- und Zonenreglement der Stadt Luzern*.
- statista. (ohne Datum). *www.de.statista.com*. Abgerufen am 12. August 2022
- Stiftung myclimate. (ohne Datum). *www.myclimate.org*. Abgerufen am 11. August 2022
- Stiftung WWF Schweiz. (ohne Datum). *www.wwf.ch*. Abgerufen am 11. August 2022
- Strohm, D. (2020). *Das sind die Lücken bei der Transparenz*. NZZ.

- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (ohne Datum). [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).  
Abgerufen am 11. August 2022
- Urbanello, D., & Rööögli, M. (2014). *Hitzewellen und Gesundheit*.
- Wald Schweiz. (2021). *Faktenblatt Zahlenwald*. Abgerufen am 13. August 2022
- Weidner, S., Mrzigod, A., Bechmann, R., & Sobek, W. (2021). *Graue Emissionen im Bauwesen – Bestandsaufnahme und Optimierungsstrategien*.
- Wiget, Y. (4. August 2022). [www.tagesanzeiger.ch](http://www.tagesanzeiger.ch). *Tagesanzeiger*. Abgerufen am 11. August 2022
- Wilding, B. (2021). Vorlesungsskript: Finanzmathematische Grundlagen und Investitionsrechnung.
- Wüest Partner. (2020). *Hochbaukennzahlen für Investoren*. Zürich.
- Wüest Partner. (12. Mai 2021). [www.wuestpartner.com](http://www.wuestpartner.com).
- Wüest Partner. (1. September 2022). GeoInfo Mikrolagen-Profil für Wohnnutzung.
- Wüest Partner. (01. 09 2022). Standortinformationen - Gemeinde Luzern.

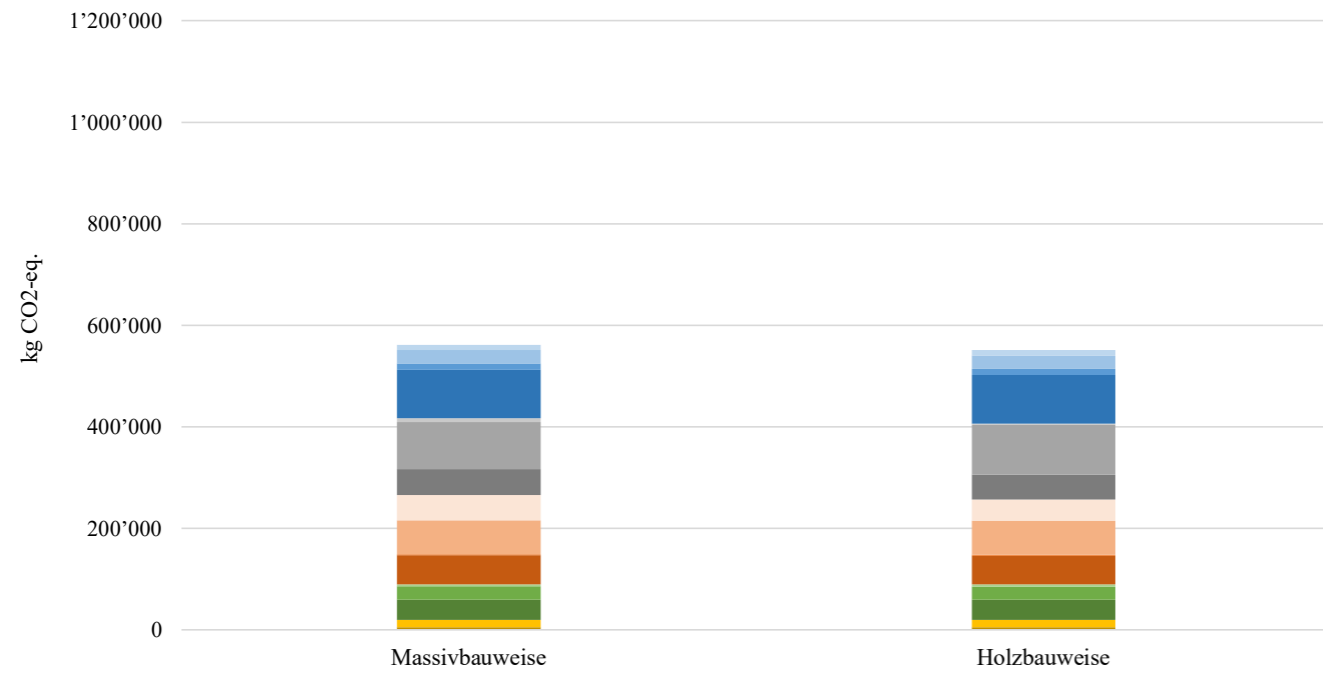
**Anhang 1: Detailkalkulationen**

## Treibhausgasbilanz Vergleich

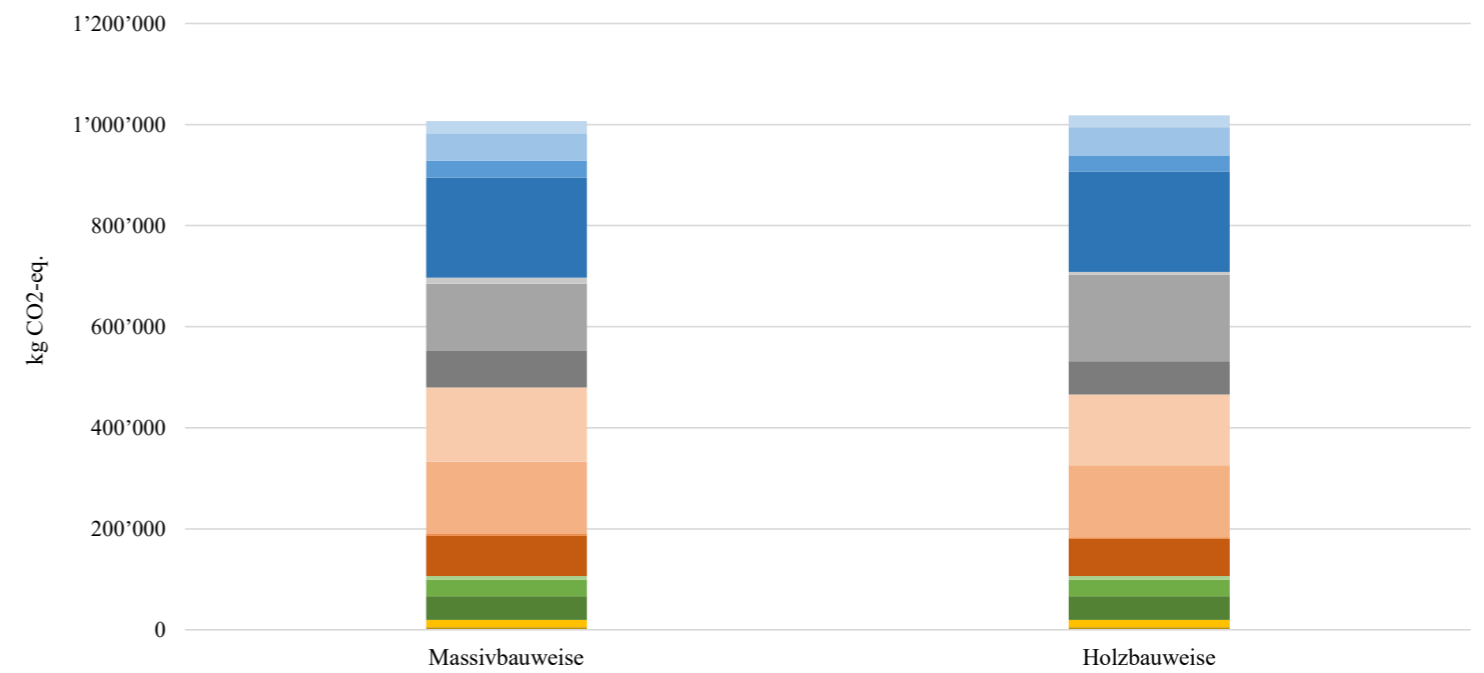
Erstellung ohne Entsorgung	Vorbereitung			Gebäudehülle unter Terrain			Gebäudehülle über Terrain				Innen-&Aussenbauteile			Gebäudetechnik			
	Baugrube	Baugrubenabschluss	Pfählung	Fundament / Bodenplatte	Aussenwand	Dach	Aussenwand	Untersichten	Fenster / Türen	Dach	Innenwände	Geschossdecken	Aussenliegende Vordachkonstruktion	Elektroanlage	Wärmetechnische Anlagen	Lufttechnische Anlagen	Wassertechnische Anlagen
Massivbauweise	5'237	14'894	0	39'284	26'097	3'980	57'614	2'106	66'906	49'620	50'865	92'710	7'424	95'670	12'248	26'636	10'369
Holzbauweise	5'237	14'894	0	39'258	25'737	4'298	56'879	1'668	66'906	42'195	48'819	97'545	2'809	95'688	12'259	26'684	10'388
Massivbauweise	0.93%	2.65%	0.00%	6.99%	4.58%	0.77%	10.13%	0.30%	11.91%	7.51%	8.69%	17.37%	0.50%	17.04%	2.18%	4.75%	1.85%
Holzbauweise	0.95%	2.70%	0.00%	7.12%	4.67%	0.78%	10.32%	0.30%	12.14%	7.65%	8.86%	17.69%	0.51%	17.36%	2.22%	4.84%	1.88%

LifeCycle	Vorbereitung			Gebäudehülle unter Terrain			Gebäudehülle über Terrain				Innen-&Aussenbauteile			Gebäudetechnik			
	Baugrube	Baugrubenabschluss	Pfählung	Fundament / Bodenplatte	Aussenwand	Dach	Aussenwand	Untersichten	Fenster / Türen	Dach	Innenwände	Geschossdecken	Aussenliegende Vordachkonstruktion	Elektroanlage	Wärmetechnische Anlagen	Lufttechnische Anlagen	Wassertechnische Anlagen
Massivbauweise	5'237	14'894	0	46'172	33'004	6'870	79'798	4'044	142'385	147'303	71'806	133'857	11'823	198'528	32'157	54'753	24'100
Holzbauweise	5'237	14'894	0	46'131	32'584	7'445	74'760	2'694	142'385	139'761	65'777	171'155	5'764	198'576	32'188	54'851	24'143

**Treibhausgas-Emissionen (Erstellung ohne Entsorgung)**



**Treibhausgas-Emissionen (Life Cycle)**



**Bemerkungen:**

- \_ Struktur nach SIA 2032, Anhang A, Tabelle 1
- \_ Amortisationszeiten Life Cycle nach SIA 2032, Anhang C, Tabelle 5
- \_ Berechnung nach absoluten Werten
- \_ Ökobilanzdaten THG-E nach KBOB V2.2:2016

**Treibhausgasbilanz Detail**

MASSIVBAUWEISE																
Bauteil	Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert		Amortisationszeit (normativ)				Treibhausgasemissionen Life Cycle	
e-BKPh-Element	Bezeichnung	Material	2D / 3D	[m2]	[m]	[m3]	[div]	[kg/m2]; [kg/m3]	[div]	Treibhausgasemissionen Erstellung + Entsorgung nach KBOB V2.2: 2016 [kg CO2-eq]	e-BKPh-Element	nach SIA 2032, Anhang C				Treibhausgasemissionen Life Cycle nach KBOB V2.2: 2016 MB
											20	30	40	60	60 Jahre = 1	
<b>Total</b>										<b>642'294</b>						<b>1'006'731</b>
<b>Vorarbeiten</b>										<b>20'132</b>						<b>20'132</b>
B06.01	Nicht kontaminierter Aushub									<b>5'237</b>	B06.01					<b>5'237</b>
	Aushub									5'237					1.00	5'237
	<i>maschinelles Baugrubenaushub</i>	<i>unbel. Aushubmaterial</i>	3			985.00		985.00	985.00	406				60	1.00	406
	<i>Abtransport (1m3 Aushub = 1.5t, Fahrdistanz=15km)</i>	<i>unbel. Aushubmaterial</i>	3			985.00		22'162.50	22'162.50	4'831				60	1.00	4'831
B06.04	Baugrubenabschluss									<b>14'894</b>	B06.04					<b>14'894</b>
	Baugrubensicherung (Nagelwand (hangseitig), natürliche Böschung (talseitig))									14'894						14'894
	<i>Nagelwand (hangseitige Böschungsfläche=128.4m2)</i>	<i>Spritzbeton, Nagelanker</i>	3	128.40				128.40	128.40	116.000				60	1.00	14'894
B.07.02	Pfählung									<b>0</b>	B07.02					<b>0</b>
	<i>Flachfundation &gt;&gt; keine Pfählung</i>															0
<b>Gebäudehülle unter Terrain</b>										<b>86'046</b>						<b>86'046</b>
C01.01	Unterbau Fundament, Bodenplatte									<b>24'573</b>	C01.01					<b>24'573</b>
	Sauberkeitsschicht									2'055						2'055
	<i>Sauberkeitsschicht unter Bodenplatte und Fundamentfüsse (d=50mm)</i>	<i>Magerbeton</i>	3		0.050	16.20		16.20	2150.000	34'830.00				60	1.00	2'055
	Perimeterdämmung									22'518						22'518
	<i>Perimeterdämmung horiz.</i>	<i>XPS</i>	3		0.220	47.06		47.06	33.000	1'552.98				60	1.00	22'518
C01.02	Fundament									<b>2'175</b>	C01.02					<b>2'175</b>
	Streifenfundament	<i>Stahlbeton</i>								2'175						2'175
	<i>Fundamentfuss Mehrzweckraum (d=250mm)</i>	<i>Beton</i>	3		0.250	7.03		7.03	2300.000	16'164.40				60	1.00	1'600
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	<i>Stahl</i>						120.00	120.00	843.36				60	1.00	575
	Fundamentvertiefung Stütze (1 Stk.) in C01.03 enthalten	<i>Stahlbeton</i>								0						0
	<i>Bodenplattenverstärkung unter Stütze (d=150mm)</i>	<i>Beton</i>												60	1.00	0
	<i>_Armierungsstahl</i>	<i>Stahl</i>												60	1.00	0
C01.03	Bodenplatte									<b>19'424</b>	C01.03					<b>19'424</b>
	Bodenplatte	<i>Stahlbeton</i>								19'424						19'424
	<i>Bodenplatte Mehrzweckraum (d=250mm)</i>	<i>Beton</i>	3		0.250	62.75		62.75	2300.000	144'325.00				60	1.00	14'288
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	<i>Stahl</i>						120.00	120.00	5'135				60	1.00	5'135
C02.01	Aussenwandkonstruktion uT									<b>10'190</b>	C02.01					<b>10'190</b>
	Aussenwand	<i>Stahlbeton</i>								10'190						10'190
	<i>Aussenwand (d=250mm)</i>	<i>Beton</i>	3		0.250	32.92		32.92	2300.000	75'716.00				60	1.00	7'496
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	<i>Stahl</i>						120.00	120.00	2'694				60	1.00	2'694
E01.01	Wandabdichtung uT									<b>115</b>	E01.01					<b>115</b>
	Wandabdichtung uT									115						115
	<i>Abdichtung</i>	<i>Bitumenanstrich</i>	<i>rechn.</i>	162.88				162.88		162.88				60	1.00	115
E01.02	Aussenwärmedämmung uT									<b>18'706</b>	E01.02					<b>18'706</b>
	Aussenwärmedämmung uT									18'706						18'706
	<i>Perimeterdämmung (d=240mm)</i>	<i>XPS</i>	3		0.240	39.09		39.09	33.000	1'290.05				60	1.00	18'706
E01.03	Schutzschicht uT									<b>3'994</b>	E01.03					<b>3'994</b>
	mechanischer Schutz Dämmung uT									3'994						3'994
	<i>Schutzfolie (d=5mm)</i>	<i>Polyethylen</i>	<i>rechn.</i>	162.88	0.005	0.81		0.81	920.000	749.27				60	1.00	3'994
C04.04	Konstruktion Flachdach uT									<b>1'197</b>	C04.04					<b>1'197</b>
	Decke über UG (Hauseingang EG)	<i>Stahlbeton</i>								1'197						1'197
	<i>Deckenplatte über UG Hauseingang EG (d=180mm)</i>	<i>Beton</i>	3		0.180	3.87		3.87	2300.000	8'894.10				60	1.00	881
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	<i>Stahl</i>						120.00	120.00	464.04				60	1.00	316
F01.01	Dachabdichtung uT									<b>5'673</b>	F01.01					<b>5'673</b>
	Decke über UG (Hauseingang EG)	<i>inhomogen</i>								5'673						5'673
	<i>Gefällskeil (d=10-70mm) (A Deckenplatte)</i>	<i>Beton</i>	2	17.60	0.040	0.70		0.70	2300.000	1'619.38				60	1.00	160
	<i>Dampfbremse inkl. Wandaufbordungen (A+0.3 Dämmung) (1-lagig) (d=10mm)</i>	<i>bituminös</i>	2	23.35	0.010	0.23		0.23	1100.000	256.82				60	1.00	909
	<i>Perimeterdämmung</i>	<i>XPS</i>	3		0.200	3.83		3.83	33.000	126.32				60	1.00	1'832
	<i>Abdichtung inkl. Wandaufbordungen (A+0.15) (2-lagig) (d=2 x 10mm)</i>	<i>bituminös</i>	2	20.38	0.020	0.41		0.41	1100.000	448.45				60	1.00	1'457
	<i>Schutzmatte inkl. Aufbordung (1.15A Dämmung) (d=10mm)</i>	<i>Gummi (EPDM)</i>	2	20.38	0.010	0.20		0.20	1100.000	224.22				60	1.00	1'314
<b>Gebäudehülle über Terrain</b>										<b>215'161</b>						<b>373'531</b>
C02.01	Aussenwandkonstruktion uT									<b>23'031</b>	C02.01					<b>23'031</b>
	Wand statisch tragend (d=180-200mm)	<i>Stahlbeton</i>								7'429						7'429
	<i>Wände UG</i>		3		0.200	18.26		18.26	2300.000	41'998.00				60	1.00	4'158
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>							120.00	120.00	2'191.20				60	1.00	1'494
	<i>Wände EG</i>		3		0.180	5.74		5.74	2300.000	13'199.70				60	1.00	1'307
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>							120.00	120.00	688.68				60	1.00	470
	Wand statisch tragend (d=150mm)	<i>Modulbackstein</i>								15'602						15'602
	<i>Wände EG-3.OG</i>		3		0.150	63.03		63.03	900.000	56'727.00				60	1.00	14'636
	<i>Attika Dachrandabschluss</i>		3		0.125	4.16		4.16	900.000	3'745.80				60	1.00	966
E02.02	Aussenwärmedämmsystem									<b>4'289</b>	E02.02					<b>8'579</b>



MASSIVBAUWEISE												Amortisationszeit (normativ)				Treibhausgasemissionen		
e-BKPh-Element	Bauteil	Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert	Treibhausgasemissionen				Treibhausgasemissionen Life Cycle			
				Material	2D / 3D	[m2]					[m]	[m3]	[div]	[kg/m2]; [kg/m3]		[div]	[kg CO2-eq]	nach SIA 2032, Anhang C
	Bezeichnung										60 Jahre = 1							
											20	30	40	60				
F02.01	Element zu Flachdach																	2'573
	Rahmen																	2'323
	Fensterzarge	Titanzinkblech	3			0.04	0.04 m3	7'200.00	287.45	4.040								2'323
	Dämmung	EPS	3			0.80	0.80 m3	35.000	27.95	7.640								427
	Innenverkleidung	Gipskartonplatte	3			0.20	0.20 m3	850.000	169.67	0.293								99
	Verglasung																	250
	Isolierverglasung 3-fach zu Dachfenster (Ug=0.6W/m2K)	VSG/VSG/VSG	2	2.48			2.48 m2			2.48	101.000							250
	<b>Innen- und Aussenbauteile</b>										<b>165'872</b>							<b>217'485</b>
C02.02	Innenwandkonstruktion																	38'359
	Wand statisch tragend																	27'791
	Kernwände UG-3.0G (d=200mm)	Beton	3		0.200	89.78	89.78 m3	2300.000	206'494.00	0.099								20'443
	_Armierungstahl (120kg/m3)	Stahl	rechn.				120.00 kg/m3		10'773.60	0.682								7'348
	Wand statisch nicht tragend																	10'568
	Kalksandstein UG-EG (d=125-150mm)	KS	3		0.125-0.150	14.33	14.33 m3	1400.000	20'062.00	0.138								2'769
	Backstein UG-3.0G (d=100-150mm)	KN	3		0.100-0.150	33.59	33.59 m3	900.000	30'231.00	0.258								7'800
C03.01	Aussenstütze																	0
																		0
C03.02	Innenstütze																	109
	Stützen	Stahlbeton																109
	Betonfertigteile UG-EG (d=200x200)		3			0.25	0.25 m3	2500.000	634.00	0.172								109
G01.03	Schachtfronten																	2'216
	Schachtfronten																	2'216
	Leichtbauständer	Aluminiumprofile	rechn.	122.60			0.08%	0.09 m3	2690.000	254.42	5.710							1'453
	Verkleidung 2-fach (d=25mm)	Gipskartonplatte	3		0.025	3.07	3.07 m3	850.000	2'605.25	0.293								763
G01.05	Innentüren																	4'884
	Innentüren																	4'884
	Wohnungstüren EG-3. OG (IDM: 98x204) (10 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	19.99			19.99 m2		19.99	43.000	860							860
	Zimmertüren EG-3. OG (IDM: 88x204) (28 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	50.27			50.27 m2		50.27	43.000	2'161							4'323
	Nebenraumbtüren UG-EG (IDM: 108x204) (1 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	2.20			2.20 m2		2.20	43.000	95							189
	Nebenraumbtüren UG-EG (IDM: 98x204) (2 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	4.00			4.00 m2		4.00	43.000	172							344
	Nebenraumbtüren UG-EG (IDM: 88x204) (11 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	19.75			19.75 m2		19.75	43.000	849							1'698
	Schleusenfront Eingang	Holz	2	3.67			3.67 m2		3.67	43.000	158							315
	_Verglasung zu Eingangsfront 2-fach (Ug=1.1W/m2K)	VSG/VSG	2	7.54			7.54 m2		7.54	78.200	589							1'179
G03.01	Unterkonstruktion zu Wandbekleidung																	3'974
	Grundputz																	3'974
	Kalk-Zementputz UG-3.0G (d=10mm)	Kalk-Zement	3			10.38	10.38 m3	1550.000	16'089.00	0.247								3'974
G03.02	Wandbekleidung																	5'595
	Deckbelag																	746
	Deckputz UG-3.0G (d=5mm)	Gipsputz	3		0.005	4.61	4.61 m3	1100.000	5'072.10	0.147								746
	Badzimmerplatten																	3'595
	Keramikplatten (d=9mm)		3	256.80	0.010	2.57	256.80 m2		256.80	14.000	3'595							7'190
	Malerarbeiten																	1'254
	Anstrich Weissputz UG-3.0G (2-fach)		rechn.	922.20			922.20 m2		922.20	1.360	1'254							2'508
C04.01	Geschossdecke																	65'158
	Deckenkonstruktion																	65'158
	Geschossdecken UG-2.0G (d=180-250mm)	Beton	3		0.180-0.250	210.50	210.50 m3	2300.000	484'150.00	0.099								47'931
	_Armierungstahl (120kg/m3)	Stahl	rechn.				120.00 kg/m3		25'260.00	0.682	17'227							17'227
C04.02	Innenliegende Treppe, Rampe																	9'668
	Fertigelementtreppe	Stahlbeton																9'668
	Fertigbetonelemente	Beton	3			8.64	8.64 m3	2500.000	21'605.00	0.172								3'716
	Treppengeländer UG-3.0G	Stahl feuerverzinkt	3			0.22	0.22 m3	7850.000	1'695.60	3.510	5'952							8'927
G02.01	Unterkonstruktion zu Bodenbelag																	18'386
	Dämm- & Dichtschicht																	4'800
	Trittschalldämmung UG-3.0G (d=20mm)	EPS	3		0.020	16.16	16.16 m3	30.000	484.80	7.640	3'704							3'704
	Wärmedämmung UG -3.0G (d=20mm)	Mineralwolle	3		0.020	16.16	16.16 m3	60.000	969.60	1.130	1'096							2'191
	Tragschicht																	13'586
	Trennlage UG-3.0G	PE-Folie	rechn.	1'050.40	0.001	1.05	1.05 m3	920.000	966.37	5.330	5'151							10'301
	Unterlagsboden für Bodenheizung UG-3.0G (d=60mm)	Anhydrit	3		0.060	48.48	48.48 m3	2000.000	96'960.00	0.087	8'436							16'871
G02.02	Bodenbelag																	9'642
	Nutzschicht																	9'642
	Hartbeton UG-EG Nebenräume einschichtig (d=27.5mm)	Beton	3	208.97	0.028	5.75	208.97 m2		208.97	16.900	3'532							7'063
	Kunststeinplatte EG-3.0G (d=10mm)	Kunststein	3	48.61	0.010	0.49	48.61 m2		48.61	5.040	245							490
	Parkett Mehrzweck/Wohnungen UG-3.0G 2-Schicht (d=11mm)	Holzparkett	3	677.70	0.010	6.78	677.70 m2		677.70	5'090	10'179							10'179
	Badzimmerplatten Nasszellen UG-3.0G (d=9mm)	Keramik	3	55.42	0.009	0.50	55.42 m2		55.42	14.000	776							1'552
G04.01	Unterkonstruktion zu Deckenbekleidung																	0

MASSIVBAUWEISE																	
Bauteil		Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert		Amortisationszeit (normativ)					
e-BKPh- Element	Bezeichnung	Material	2D / 3D	[m2]	[m]	[m3]	[div]	nach KBOB V2.2 2016 [kg/m2]; [kg/m3]	[div]	Treibhausgasemissionen <b>Erstellung + Entsorgung</b> nach KBOB V2.2: 2016 [kg CO2-eq]	e-BKPh- Element	nach SIA 2032, Anhang C				Treibhausgasemissionen <b>Life Cycle</b> nach KBOB V2.2: 2016 MB	
												20	30	40	60	60 Jahre =	
										0							0
G04.02	Deckenbekleidung									0	G04.02						0
													30			2.00	0
													30			2.00	0
													30			2.00	0
													30			2.00	0
C04.08	Aussenliegende Konstruktion, Vordach auskragende Balkone									7'882	C04.08						11'823
	<i>Kragplatte inkl. seitlicher Aufbordung</i>	Beton	3			18.33	18.33 m3	2500.000	45'825.00	0.172				40	1.50		11'823
	<b>Gebäudetechnik</b>									<b>155'083</b>							<b>309'537</b>
D01	Elektroanlage									99'264	D01						198'528
	<i>Elektroanlage Wohnen</i>		SIA 380	1'057.00			1'057.00 m2		1'057.00	12.700			30		2.00		26'848
	<i>Photovoltaikanlage (37kWp)</i>		rechn.			37.00	37.00 kWp		37.00	2'320.000			30		2.00		171'680
D05	Wärmetechnische Anlagen									16'393	D05						32'157
	<i>Erdwärmesonde (l=230m)</i>					530.000	200.00 m1		200.00	28.100				40	1.50		8'430
	<i>Sole-Wasser-Wärmepumpe 8kW (Stk.)</i>								1.00	2'180.000			20		3.00		6'540
	<i>Wohnen allgemein</i>		SIA 380	1'057.00			1'057.00 m2		1'057.00	3.070				30	2.00		6'490
	<i>Fussbodenheizung</i>		SIA 380	1'057.00			1'057.00 m2		1'057.00	5.060				30	2.00		10'697
D07	Lufttechnische Anlagen									27'376	D07						54'753
	<i>Abluftanlage Küche/ Nasszellen (4m3/hm2)</i>		SIA 380	1'057.00			1'057.00 m2		1'057.00	25.900				30	2.00		54'753
D08	Wassertechnische Anlagen									12'050	D08						24'100
	<i>Sanitäranlagen inkl. Erschliessung, Verteilung, Verbraucher, Entsorgung</i>		SIA 380	1'057.00			1'057.00 m2		1'057.00	11.400				30	2.00		24'100

- Bemerkungen:
- \_ Struktur nach SIA 2032, Anhang A, Tabelle 1
  - \_ Amortisationszeiten Life Cycle nach SIA 2032, Anhang C, Tabelle 5
  - \_ Berechnung nach absoluten Werten
  - \_ Ökobilanzdaten THG-E nach KBOB V2.2:2016



Treibhausgasbilanz Detail

HOLZBAUWEISE																	
Bauteil	Material	Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert	Amortisationszeit (normativ)						
e-BKPh-Element	Bezeichnung	Material	2D / 3D	[m2]	[m]	[m3]	[div]	[kg/m2]; [kg/m3]	[div]	Treibhausgasemissionen Erstellung + Entsorgung nach KBOB V2.2: 2016 [kg CO2-eq]	nach SIA 2032, Anhang C				60 Jahre=1	HB	
<b>Total</b>										<b>639'600</b>						<b>1'018'345</b>	
<b>Vorarbeiten</b>										<b>20'132</b>						<b>20'132</b>	
B06.01	nicht kontaminierter Aushub									5'237						5'237	
	Aushub									5'237						5'237	
	<i>maschinelles Baugrubenaushub</i>	unbel. Aushubmaterial	3			985.00	985.00 m3		985.00	406	0.412				60	1.00	406
	<i>Abtransport (1m3 Aushub = 1.5t, Fahrdistanz=15km)</i>	unbel. Aushubmaterial	3			985.00	22'162.50 tkm		22'162.50	4'831	0.218				60	1.00	4'831
B06.04	Baugrubenabschluss									14'894						14'894	
	Baugrubensicherung (Nagelwand (hangseitig), natürliche Böschung (talseitig))									14'894						14'894	
	<i>Nagelwand (hangseitige Böschungsfläche=128.4m2)</i>	Spritzbeton, Nagelanker	3	128.40			128.40 m2		128.40	14'894	116.000				60	1.00	14'894
B.07.02	Pfählung															0	
	<i>Flachfundation &gt;&gt; keine Pfählung</i>														60	1.00	0
<b>Gebäudehülle unter Terrain</b>										<b>86'160</b>						<b>86'160</b>	
C01.01	Unterbau Fundament, Bodenplatte									24'492						24'492	
	Sauberkeitsschicht									2'055						2'055	
	<i>Sauberkeitsschicht unter Bodenplatte und Fundamentfüsse (d=50mm)</i>	Magerbeton	3		0.050	16.20	16.20 m3	2150.000	34'830.00	2'055	0.059				60	1.00	2'055
	Perimeterdämmung									22'437						22'437	
	<i>Perimeterdämmung unter Bodenplatte (d=220mm)</i>	XPS	3		0.220	46.89	46.89 m3	33.000	1'547.37	22'437	14.500				60	1.00	22'437
C01.02	Fundament									2'175						2'175	
	Streifenfundament	Stahlbeton								2'175						2'175	
	<i>Fundamentfuss Mehrzweckraum (d=250mm, Frosttiefe)</i>	Beton	3			7.03	7.03 m3	2300.000	16'164.40	1'600	0.099				60	1.00	1'600
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	Stahl					120.00 kg/m3		843.36	575	0.682				60	1.00	575
	Fundamentvertiefung Stütze (2 Stk.) in C01.03 enthalten	Stahlbeton								0						0	
	<i>Bodenplattenverstärkung unter Stütze (d=150mm)</i>	Beton								0					60	1.00	0
	<i>_Armierungsstahl</i>	Stahl								0					60	1.00	0
C01.03	Bodenplatte									19'464						19'464	
	Bodenplatte	Stahlbeton								19'464						19'464	
	<i>Bodenplatte UG(d=250mm)</i>	Beton	3		0.250	62.88	62.88 m3	2300.000	144'624.00	14'318	0.099				60	1.00	14'318
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	Stahl					120.00 kg/m3		7'545.60	5'146	0.682				60	1.00	5'146
C02.01	Aussenwandkonstruktion uT									9'921						9'921	
	Aussenwand	Stahlbeton								9'921						9'921	
	<i>Aussenwand (d=250mm)</i>	Beton	3		0.250	32.05	32.05 m3	2300.000	73'715.00	7'298	0.099				60	1.00	7'298
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	Stahl					120.00 kg/m3		3'846.00	2'623	0.682				60	1.00	2'623
E01.01	Wandabdichtung uT									114						114	
	Wandabdichtung uT									114						114	
	<i>Abdichtung</i>	Bitumenanstrich	rechn.			161.81	161.81 m2		161.81	114	0.706				60	1.00	114
E01.02	Aussenwärmedämmung uT									18'582						18'582	
	Aussenwärmedämmung uT									18'582						18'582	
	<i>Perimeterdämmung (d=240mm)</i>	XPS	3		0.240	38.83	38.83 m3	33.000	1'281.52	14'582	14.500				60	1.00	14'582
E01.03	Schutzschicht uT									3'967						3'967	
	mechanischer Schutz Dämmung uT									3'967						3'967	
	<i>Schutzfolie (d=5mm)</i>	Polyethylen	rechn.			161.81	0.005	0.81	0.81 m3	3'967	5.330				60	1.00	3'967
C04.04	Konstruktion Flachdach uT									1'379						1'379	
	Decke über UG (Hauseingang EG)	Stahlbeton								1'379						1'379	
	<i>Deckenplatte über UG Hauseingang EG</i>	Beton	3		0.180	4.46	4.46 m3	2300.000	10'248.80	1'015	0.099				60	1.00	1'015
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	Stahl					120.00 kg/m3		534.72	365	0.682				60	1.00	365
F01.01	Dachabdichtung uT									6'065						6'065	
	Decke über UG (Hauseingang EG)									6'065						6'065	
	<i>Gefällskeil (d=10-70mm) (A Deckenplatte)</i>	Beton	2	19.62	0.040	0.78	0.78 m3	2300.000	1'805.04	179	0.099				60	1.00	179
	<i>Dampfbremse inkl. Wandaufbordungen (A+0.3) (1-lagig) (d=10mm)</i>	bituminös	2	25.57	0.010	0.26	0.26 m3	1100.000	281.22	996	3.540				60	1.00	996
	<i>Perimeterdämmung</i>	XPS	3		0.200	3.83	3.83 m3	33.000	126.32	1'832	14.500				60	1.00	1'832
	<i>Abdichtung inkl. Wandaufbordungen (1.15A) (2-lagig) (d=2 x 10mm)</i>	bituminös	2	22.50	0.020	0.45	0.45 m3	1100.000	495.04	1'609	3.250				60	1.00	1'609
	<i>Schutzmatte inkl. Aufbordung (1.15A Dämmung) (d=10mm)</i>	Gummi (EPDM)	2	22.50	0.010	0.23	0.23 m4	1100.000	247.52	1'450	5.860				60	1.00	1'450
<b>Gebäudehülle über Terrain</b>										<b>207'416</b>						<b>359'599</b>	
C02.01	Aussenwandkonstruktion uT									32'803						32'803	
	Massivbauweise	Stahlbeton								5'228						5'228	
	<i>Aussenwände UG uT</i>	Beton	3		0.200	16.89	16.89 m3	2300.000	38'847.00	3'846	0.099				60	1.00	3'846
	<i>_Armierungsstahl (120kg/m3)</i>	Stahl					120.00 kg/m3		2'026.80	1'382	0.682				60	1.00	1'382
	Holzänderkonstruktion EG-3.OG von aussen nach innen									27'575						27'575	
	<i>Weichfaserplatte (d=30mm) in E02.03</i>														60	1.00	0
	<i>Ständerbeplankung aussen (d=15mm)</i>	Gipsfaserplatte	3		0.015	10.14	10.14 m3	1200.000	12'168.00	6'534	0.537				60	1.00	6'534
	<i>Holzständer EG-3.OG (d=240mm; e=625)</i>	Fichte (Prod. CH) (27.4%)	3		0.200	134.10	36.74 m3	465.000	17'085.68	2'067	0.121				60	1.00	2'067
	<i>_Hohlraumdämmung (d=240mm)</i>	Mineralwolle (72.6%)	3		0.200	134.10	97.36 m3	60.000	5'841.40	6'601	1.130				60	1.00	6'601
	<i>Ständerbeplankung innen (d=25mm)</i>	Holzwerkstoff OSB	3	466.80	0.025	11.67	11.67 m3	605.000	7'060.35	4'335	0.614				60	1.00	4'335
	<i>Dampfbremse (sd=2m)</i>	Kraftpapier	rechn.	466.80	0.008	3.73	3.73 m3	650.000	2'427.36	4'102	1.690				60	1.00	4'102
	<i>Trittschalldämmung (d=10mm)</i>	Mineralwolle	3		0.010	3.79	3.79 m3	32.000	121.34	137	1.130				60	1.00	137
	<i>Vorsatzschalenrost (d=30mm)</i>	Fichte (Prod. CH) (6.2%)	3		0.030	11.25	0.70 m3	465.000	324.34	39	0.121				60	1.00	39



HOLZBAUWEISE																
Bauteil	Material	Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert	Amortisationszeit (normativ)					
e-BKPh-Element	Bezeichnung	Material	2D / 3D	[m2]	[m]	[m3]	[div]	nach KBOB V2.2 2016 [kg/m2]; [kg/m3]	[div]	Treibhausgasemissionen Erstellung + Entsorgung nach KBOB V2.2: 2016 [kg CO2-eq]	nach SIA 2032, Anhang C				HB	
											20	30	40	60	60 Jahre =	
	BA Brüstungsabdeckung	Titanzinkblech	rechn.	0.004	72.475	0.29		0.29 m3	7'200.00	2'087.28	4.040					8'433
F02.01	Element zu Flachdach															1'675
	Rahmen															1'425
	Fensterzarge	Titanzinkblech	3			0.04		0.04 m3	7'200.00	287.45	4.040					1'161
	Dämmung	EPS	3			0.80		0.80 m3	35.000	27.95	7.640			30		2'323
	Innenverkleidung	Gipskartonplatte	3			0.20		0.20 m3	850.000	169.67	0.293			30		427
	Verglasung															50
	Isolierverglasung 3-fach zu Dachfenster (Ug=0.6W/m2K)	VSG/VSG/VSG	2	2.48				2.48 m2		2.48	101.000			30		250
	<b>Innen- und Aussenbauteile</b>										<b>170'699</b>					<b>250</b>
C02.02	Innenwandkonstruktion															<b>170'699</b>
	Wand statisch tragend															39'395
	Massivbauweise															30'267
	Kernwände UG	Beton	3			15.68		15.68 m3	2300.000	36'064.00	0.099					4'854
	_Armierungsstahl (120kg/m3)	Stahl	rechn.					120.00 kg/m3	7850.000	1'881.60	0.682					3'570
	Holzbauweise															1'283
	Kernwände EG-3.OG (Brettschichtholz d=100mm) >> horiz. Gebäudeaussteifung	Holzwerkstoff	3		0.100	25.01		25.01 m3	470.000	11'754.70	0.446					25'413
	_Brandschutzverkleidung (Treppenhaus/Liftkern)	Gipsfaserplatte	3		0.018	2.22		2.22 m3	1200.000	2'664.00	0.537					5'243
	_Schallentkoppelungsdämmung (d=40mm)	Mineralwolle	3		0.040	10.63		10.63 m3	60.000	637.80	1.130					1'431
PJ WT	Holzständer EG-3.OG (d=100+100mm); e=625 (Wohnungstrennwände)	Fichtenholz CH (27.4%)	3		0.200	19.50	27.4%	5.35 m3	465.000	2'486.16	0.121					721
PJ WT	_Hohlraumdämmung (d=100+100mm)	Mineralwolle (72.6%)	3		0.200	19.50	72.6%	14.15 m3	60.000	849.21	1.130					301
PJ WT	_Schallentkoppelungsdämmung (d=20mm)	Mineralwolle	3		0.020	1.99		1.99 m3	60.000	119.46	1.130					960
PJ WT	_Ständerbeplankung beidseitig zweifach (d=30mm)	Gipsfaserplatte	3		0.060	6.04		6.04 m3	1200.000	7'245.60	0.537					135
PJ IT	Holzständer EG-3.OG (d=160mm); e=625 (innere Tragwand)	Fichtenholz CH (25.3%)	3		0.160	26.66	25.3%	6.75 m3	465.000	3'138.22	0.121					3'891
PJ IT	_Hohlraumdämmung (d=160mm)	Mineralwolle (74.7%)	3		0.160	26.66	74.7%	19.91 m3	60.000	1'194.67	1.130					380
PJ IT	_Ständerbeplankung beidseitig zweifach(d=30mm)	Gipsfaserplatte	3		0.060	10.00		10.00 m3	1200.000	12'000.00	0.537					1'350
DA	Holzständer EG-3.OG (d=160mm); e=625 (Deckenaufleger)	Fichtenholz CH (25.3%)	3		0.160	36.44	25.3%	9.22 m3	465.000	4'289.45	0.121					6'444
DA	_Hohlraumdämmung (d=160mm)	Mineralwolle (74.7%)	3		0.160	36.44	74.7%	27.22 m3	60.000	1'632.92	1.130					519
DA	_Ständerbeplankung raumseitig 2-fach (d=30mm)	Gipsfaserplatte	3		0.030	3.41		3.41 m3	1200.000	4'087.20	0.537					1'845
	Wand statisch nicht tragend															2'195
	Kalksandstein UG (d=150mm)	KS	3		0.150	10.97		10.97 m3	1400.000	15'358.00	0.138					9'129
	Backstein UG (d=150mm)	KN	3		0.150	3.34		3.34 m3	900.000	3'008.70	0.258					2'119
PJ TW	Holzständer EG-3.OG (d=100mm); e=625 (Trennwand)	Fichtenholz CH (21.9%)	3		0.203	20.93	21.9%	4.59 m3	465.000	2'133.33	0.121					776
PJ TW	_Hohlraumdämmung (d=100mm)	Mineralwolle (78.1%)	3		0.203	20.93	78.1%	16.34 m3	60.000	980.53	1.130					258
PJ TW	_Ständerbeplankung beidseitig einfach(d=18mm)	Gipsfaserplatte	3		0.036	7.55		7.55 m3	1200.000	9'063.60	0.537					1'108
C03.01	Aussenstütze															4'867
	Stahlstützen															172
	Aussenstütze Hauseingang EG (ROR..)	Stahl	3			0.03		0.03 m3	7850.000	233.93	0.734			60	1.00	172
C03.02	Innenstütze															172
	Stützen															805
	Betonfertigteil UG Nebenräume (d=200x200)	Beton	3			0.45		0.45 m3	2500.000	1'122.00	0.172			60	1.00	805
	Stahlprofilträger EG Nebenräume (HEB 160/160/8mm)	Stahl	3			0.03		0.03 m3	7850.000	209.60	0.734			60	1.00	193
PJ	Abfangung Brettstapeldecken Eckfenster EG-3.OG (RHS 100/100/6.3mm) (ohne Sturzträger)	Stahl	3			0.08		0.08 m3	7850.000	624.86	0.734			60	1.00	154
G01.03	Schachtfronten															459
	Schachtfronten															2'101
	Leichtbauständer	Aluminiumprofile	rechn.	116.24			0.08%	0.09 m3	2690.000	241.22	5.710					2'101
	Verkleidung 2-fach (d=25mm)	Gipskartonplatte	3		0.025	2.91		2.91 m3	850.000	2'470.10	0.293			30		1'377
G01.05	Innentüren															724
	Innentüren															4'884
	Wohnungstüren EG-3. OG (IDM: 98x204) (10 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	19.99				19.99 m2		19.99	43.000					4'884
	Zimmertüren EG-3. OG (IDM: 88x204) (28 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	50.27				50.27 m2		50.27	43.000			30		860
	Nebenraumtüren UG-EG (IDM: 108x204) (1 Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	2.20				2.20 m2		2.20	43.000			30		2'161
	Nebenraumtüren UG-EG (IDM: 98x204) (2Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	4.00				4.00 m2		4.00	43.000			30		95
	Nebenraumtüren UG-EG (IDM: 88x204) (11Stk.)	Stahlzargen / Röhrenspan	rechn.	19.75				19.75 m2		19.75	43.000			30		172
	Schleusenfront Eingang	Holz	2		3.67			3.67 m2		3.67	43.000			30		849
	_Verglasung zu Eingangsfreie 2-fach (Ug=1.1W/m2K)	VSG/VSG	2	7.54				7.54 m2		7.54	78.200			30		158
G03.01	Unterkonstruktion zu Wandbekleidung															589
	Grundputz															185
	auf Backsteinwände UG (d=10mm)	Kalk-Zement	3		0.010	0.48		0.48 m3	1550.000	749.74	0.247			30		185
G03.02	Wandbekleidung															370
	Deckbelag															185
	Deckputz UG-3.OG (d=5mm)	Gipsputz	3		0.005	5.80		5.80 m3	1100.000	6'378.90	0.147					370
	Badzimmerplatten															5'532
	Keramikplatten (d=9mm)		3	215.50		2.16		215.50 m2		215.50	14.000			30		938
	Malerarbeiten															3'017
	Anstrich Weissputz UG-3.OG (2-fach)		rechn.	1'159.80				1'159.80 m2		1'159.80	1.360			30		3'017
C04.01	Geschossdecke															1'577
	Deckenkonstruktion															3'155
	Geschossdecken UG (d=180-450mm)	Beton	3		0.180-0.450	72.39		72.39 m3	2300.000	166'497.00	0.099					51'613
	_Armierungsstahl (120kg/m3)	Stahl	rechn.					120.00 kg/m3		8'686.80	0.682			60	1.00	51'613
														60	1.00	16'483
																5'924

HOLZBAUWEISE																		
Bauteil	Material	Material	Herkunft Ausmassdaten	Bauteilabmessung			Berechnungsreferenz	Rohdichte Material	Bezugsgrösse	Ökobilanzwert		Amortisationszeit (normativ)						
				[m2]	[m]	[m3]				Treibhausgasemissionen Erstellung + Entsorgung nach KBOB V2.2: 2016		nach SIA 2032, Anhang C				60 Jahre = 1	HB	
e-BKPh- Element	Bezeichnung	Material	2D / 3D				[div]	[kg/m2]; [kg/m3]	[div]	[kg CO2-eq]		20	30	40	60			
	Geschossdecken EG-2.OG (Brettschichtholz d=200mm) Unterzug Geschossdecke EG (IPE 300/150/7.1mm)	Holzwerkstoff Stahl	3 3		0.200 0.300	137.70 0.06	137.70 m3 0.06 m3	470.000 7850.000	64'719.00 463.94	0.446 0.734	28'865 341					60	1.00	28'865
C04.02	Innenliegende Treppe, Rampe										7'780						1.00	10'764
	Fertigelementtreppe	Stahlbeton									7'780							10'764
	Treppenelemente (Brettschichtholz Vollholzkonstruktion) Treppengeländer UG-3.OG	Holzwerkstoff Stahl feuerverzinkt	3 3			8.64 0.22	8.64 m3 0.22 m3	470.000 7850.000	4'061.74 1'700.31	0.446 3.510	1'812 5'968				60	1.00	1'812	
														40		1.50	8'952	
G02.01	Unterkonstruktion zu Bodenbelag										18'421							36'842
	Dämm- & Dichtschicht										5'295							10'589
	Trittschalldämmung UG-3.OG (d=20-30mm) Wärmedämmung UG-EG (d=20mm)	EPS Mineralwolle	3 3		0.020-0.030 0.020	21.97 3.82	21.97 m3 3.82 m3	30.000 60.000	659.10 229.26	7.640 1.130	5'036 259						2.00	10'071
																	2.00	518
	Tragschicht										13'127							26'253
	Trennlage UG- 3.OG Unterlagsboden für Bodenheizung UG-3.OG (d=60mm)	PE-Folie Anhydrit	rechn. 3	1'014.87	0.001 0.060	1.01 46.84	1.01 m3 46.84 m3	920.000 2000.000	933.68 93'680.00	5.330 0.087	4'977 8'150						2.00	9'953
																	2.00	16'300
G02.02	Bodenbelag										9'539							19'077
	Nutzschicht										9'539							19'077
	Hartbeton UG-EG Nebenräume einschichtig (d=27.5mm) Kunststeinplatte EG-3.OG (d=10mm) Parkett Mehrzweck/Wohnungen UG-3.OG 2-Schicht (d=11mm) Badzimmerplatten Nasszellen UG-3.OG (d=9mm)	Beton Kunststein Holzwerkstoff Keramik	3 3 3 3		210.20 48.84 663.70 53.98	0.028 0.010 0.010 0.009	6.31 0.49 6.64 0.54	210.20 m2 48.84 m2 663.70 m2 53.98 m2	210.20 48.84 663.70 53.98	16.900 5.040 7.510 14.000	3'552 246 4'984 756						2.00	7'105
																	2.00	492
																	2.00	9'969
																	2.00	1'511
G04.01	Deckenbekleidung Unterkonstruktion zu Deckenbekleidung										11'695							23'389
	Trag- & Dämmschicht										11'695							23'389
	Unterkonstruktion Decke (Gummigelagerte Direktabhängiger, Lattung) Akustikdämmung (d=80mm) (98%)	Aluminium Mineralwolle	rechn. 3	685.33		52.71	0.1% 52.71 m3	2690.000 60.000	1'422.22 3'162.60	5.710 1.130	8'121 3'574						2.00	16'242
																	2.00	7'147
G04.02	Deckenbekleidung										14'735							29'470
	Nutzschicht										14'735							29'470
	Deckenverkleidung (2-fache Beplankung je d=15mm) Deckputz (d=5mm) Anstrich Weissputz EG-3.OG (2-fach)	Gipsfaserplatte Gips	3 2 2		0.030 0.005	20.56 3.43	20.56 m3 3.43 m3	1200.000 1100.000	24'672.00 3'769.33	0.537 0.147	13'249 554						2.00	26'498
																	2.00	1'108
																	2.00	1'864
C04.08	Aussenliegende Konstruktion, Vordach										3'842							5'764
	auskragende Balkone										3'842							5'764
	Fertigelementkragplatte inkl. seitlicher Aufbordung	Holzschichtplatten	3			18.33	18.33 m3	470.000	8'615.10	0.446	3'842				40	1.50	5'764	
	<b>Gebäudetechnik</b>										<b>155'194</b>							<b>309'758</b>
D01	Elektroanlage										99'288							198'576
	Elektroanlage Wohnen Photovoltaikanlage (37kWp)		SIA 380 rechn.	1'058.90		37.00	1'058.90 m2 37.00 kWp		1'058.90 37.00	12.700 2'320.000	13'448 85'840						2.00	26'896
																	2.00	171'680
D05	Wärmetechnische Anlagen										16'409							32'188
	Erdwärmesonde (l=200m) Sole-Wasser-Wärmepumpe 8kW (Stk.) Wohnen allgemein Fussbodenheizung				200.000		200.00 m1		200.00	28.100	5'620						1.50	8'430
									1.00	2'180.000	2'180			20			3.00	6'540
			SIA 380	1'058.90			1'058.90 m2		1'058.90	3.070	3'251				30		2.00	6'502
			SIA 380	1'058.90			1'058.90 m2		1'058.90	5.060	5'358				30		2.00	10'716
D07	Lufttechnische Anlagen										27'426							54'851
	Abluftanlage Küche/ Nasszellen (4m3/hm2)		SIA 380	1'058.90			1'058.90 m2		1'058.90	25.900	27'426					30	2.00	54'851
D08	Wassertechnische Anlagen										12'071							24'143
	Sanitäranlagen inkl. Erschliessung, Verteilung, Verbraucher, Entsorgung		SIA 380	1'058.90			1'058.90 m2		1'058.90	11.400	12'071					30	2.00	24'143

Bemerkungen:

- \_ Struktur nach SIA 2032, Anhang A, Tabelle 1
- \_ Amortisationszeiten Life Cycle nach SIA 2032, Anhang C, Tabelle 5
- \_ Berechnung nach absoluten Werten
- \_ Ökobilanzdaten THG-E nach KBOB V2.2:2016

**Anhang 2: Heizwärmebedarfsberechnung nach SIA 380/1**

**Bauvorhaben/Projekt: Studhaldenhöhe 12a, 6005 Luzern**

Auftragsnummer:

Variante: CUREM MAS\_Massivbau

Sachbearbeiter: Stefan Kiener

**Beteiligte:**

Ort/ Datum:

Unterschrift:

**Berechnung Heizwärmebedarf QH nach SIA 380/1:2016****Nachweis**

Systemnachweis

**Gebäudekennwerte:**- Gebäudekategorie: **Wohnen MFH I**- Klimastation (SIA 2028): **Luzern**

Temp.Korrektur: -2%

- Art des Bauvorhabens: **Neubau**

- Wärmespeicherfähigkeit

pro m2 EBF [kWh/m2K]: **0.15** (schwer)- Regelungszuschlag  $\Delta\theta_i$  [K]: **1** (Referenzraum-Temperaturregelung)**Heizwärmebedarf QH [kWh/m2a]:****24.3** 57% Anforderung erfüllt**Heizlast Ph [W/m2]:****15.5** Anforderung erfüllt**Grenz- und Zielwerte:**

Grenzwert QH,li [kWh/m2a] Neubau: 42.5 100%

Zielwert QH,ta [kWh/m2a] Neubau: 29.7 70%

Grenzwert Ph,li [W/m2] 20.0

inkl. Zuschlag für Wärmebrücken [%]: 15

**Energiebilanz:****1. Transmissionswärmeverluste QT [kWh/m2a] 56.3 72%**

1.1 gegen Aussenluft [kWh/m2a] 48.1

1.2 gegen unbeheizt und gegen Erdreich [kWh/m2a] 8.2

**2. Lüftungswärmeverluste QV [kWh/m2a] 22.2 28%****3. Genutzte Wärmeeinträge Qug [kWh/m2a] -54.1****3.1 Interne Wärmeeinträge Qi [kWh/m2a] 27.3**

3.1.1 Personen [kWh/m2a] 7.7

3.1.2 Elektrizität [kWh/m2a] 19.6

**3.2 Solarer Wärmeeintrag total Qs [kWh/m2a] 60.9**Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne  $\eta_g$  [-] 0.69Zeitkonstante  $\tau$  [h] 210**4. Total Heizwärmebedarf QH [kWh/m2a] 24.3 100%****Energiebezugsfläche EBF:****Geschoss EBF [m2]**

Untergeschoss 125

Erdgeschoss 151

1. Obergeschoss 261

2. Obergeschoss 261

3. Obergeschoss 261

**Total EBF 1'057****Kennwerte:**Fensterfläche [m2]: 339  $A_W / A_E$  [%] (Flächenanteil Fenster und Türen): 32.1thermische Gebäudehüllfläche  $A_{th}$  [m2]: 2'133 Gebäudehüllzahl  $A_{th} / A_E$  [-]: 2.02

## 0 Werte der Standardnutzung

Variante: CUREM MAS\_Massivbau

Raumtemperatur [°C]	20	Basis QH,li0 [kWh/m2]	13
Personenfläche [m2/P]	40	Steigung ΔQH,li [kWh/m2]	15
Wärmeabgabe pro Person [W/P]	70	Referenzzeitkonstante für Ausnutzungsgrad [h]	15
Präsenzzeit pro Tag [h]	12	numerischer Parameter für Ausnutzungsgrad [-]	1
Elektrizitätsbedarf pro Jahr [kWh/m2]	28		
Reduktionsfaktor Elektrizitätsbedarf [-]	0.7		
Aussenluft-Volumenstrom [m3/hm2]	0.70	keine Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern	
		* Vorlauftemperatur bei Auslegungstemp. Flächenheizung [°C]:	35

## 1 Bauteile gegen Aussenklima

Bauteilheizung/ Heizkörper	1.1 Dächer											
	Wärmedämmung [cm]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	Orientierung [-]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]					
	DgA_UG-01	20	21	0.25	H	0.49	1	1%				
	DgA_UG-02	6	3	0.25	H	0.08	2	0%				
	DgA_UG-03	6	3	0.25	H	0.08	3	0%				
	DgA_EG-01	6	4	0.25	H	0.09	4	0%				
	DgA_EG-02	6	4	0.25	H	0.09	5	0%				
	DgA_DA-01	20	272	0.11	H	2.79	6	6%				
	-											
	-											
	-											
	-											
	<b>Total</b>		<b>307</b>					<b>7%</b>				
1.2 Wände												
	Wärmedämmung [cm]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	Orientierung [-]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]					
	-											
	WgA UG	24	74	0.13	N	0.90	7	2%				
	WgA UG	24	28	0.13	O	0.33	8	1%				
	WgA UG	24	19	0.13	S	0.23	9	0%				
	WgA UG	24	23	0.13	W	0.28	10	1%				
	WgA EG-O3	26	235	0.13	N	2.85	11	6%				
	WgA EG-O3	26	122	0.13	O	1.48	12	3%				
	WgA EG-O3	26	242	0.13	S	2.93	13	6%				
	WgA EG-O3	26	122	0.13	W	1.48	14	3%				
	-											
	<b>Total</b>		<b>865</b>					<b>21%</b>				
1.3 Fenster												
	O [-]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	g-Wert [-]	F <sub>F</sub> [-]	fs1 [°]	fs2 [°]	fs3 [°]	fs3 [°]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	N	127	0.83	0.53	0.75				9.84	15	20%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	O	45	0.83	0.53	0.75				3.48	16	7%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	S	109	0.83	0.53	0.75				8.43	17	17%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	W	28	0.83	0.53	0.75				2.16	18	4%
	T_UG-N01	N	4	0.83	0.53	0.75				0.34	19	1%
	T_UG-N02	N	3	0.83	0.53	0.75				0.26	20	1%
	T_EG-S02	S	9	0.83	0.53	0.75				0.72	21	1%
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	<b>Total</b>		<b>326</b>									<b>52%</b>

Bauteilbezeichnung/ Heizkörper	1.4 Fenster horizontal										Nr.	Anteile
	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	g-Wert [-]	F <sub>F</sub> [-]	fs1 S [°]	fs1 W [°]	fs1 O [°]	fs1 N [°]	QH [kWh/m <sup>2</sup> a]			
F_DA-01	1	1.00	0.35	0.85					0.13	22	0%	
F_DA-02	1	1.00	0.35	0.85					0.13	23	0%	
<b>Total</b>	<b>3</b>										<b>1%</b>	

1.5 Böden	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	QH	Nr.	Anteile
	[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
* BgA_EG-01	17	24	0.25	0.76	24	2%
* BgA_O1-01	17	22	0.25	0.68	25	1%
-						
-						
-						
-						
<b>Total</b>		<b>46</b>				<b>3%</b>

1.6 Türen	Typ	Fläche A	U-Wert	Orientierung	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
T_UG-N03	Metall	3	1.30	N	0.41	26	1%
T_EG-S01	Metall	3	1.30	S	0.41	27	1%
-							
<b>Total</b>		<b>7</b>					<b>2%</b>

## 2 Wärmebrücken gegen Aussenklima, Erdreich und unbeheizt

2.1 lineare Wärmebrücken	Typ	Länge l	Psi-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[m]	[W/mK]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
<b>Total</b>							

2.2 punktuelle Wärmebrücken	Typ	Anzahl z	Chi-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[-]	[W/K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
-							
-							
-							
-							
<b>Total</b>							



### 3 Bauteile gegen unbeheizte Räume und Erdreich

Bauteilheizung/ Heizkörper	3.1 Dächer	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
		[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
-								
-								
-								
-								
-								
	<b>Total</b>							

3.2 Wände	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
WgE UG Nord	24	34	0.13	0.80	0.32	28	1%
WgE UG Ost	24	15	0.13	0.80	0.14	29	0%
WgE UG Süd	24	68	0.13	0.80	0.65	30	1%
WgE UG West	24	27	0.13	0.80	0.26	31	1%
WgU_UG-01		63	0.14	0.80	0.65	32	1%
WgU_UG-02		9	0.14	0.80	0.09	33	0%
WgU_EG-01		23	0.14	0.80	0.24	34	0%
-							
-							
	<b>Total</b>	<b>238</b>					<b>5%</b>

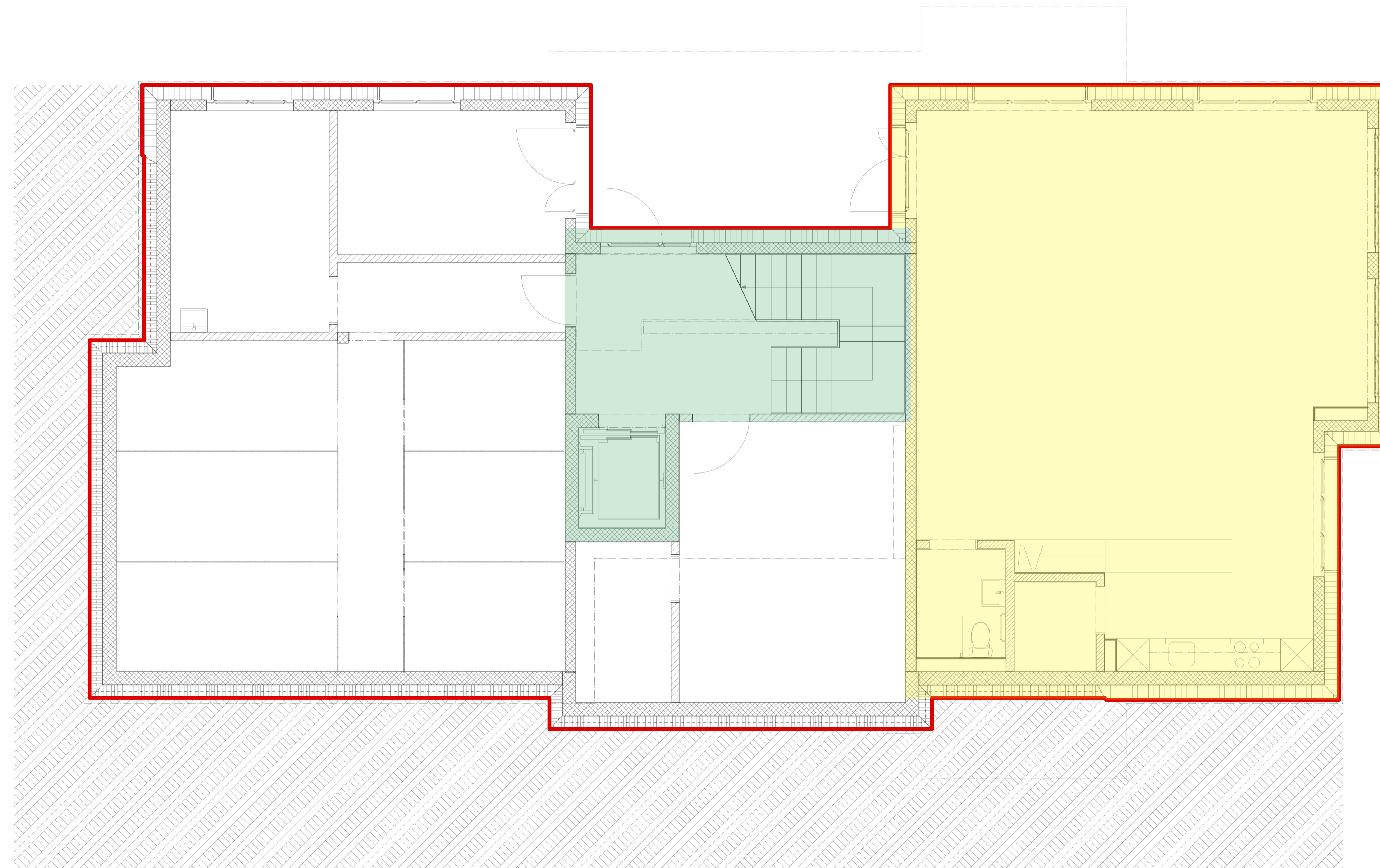
3.3 Böden	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
BgE	22	249	0.16	0.80	2.98	35	6%
* BgU_O1-01		89	0.16	0.80	1.42	36	3%
-							
-							
-							
-							
-							
-							
	<b>Total</b>	<b>338</b>					<b>9%</b>

3.4 Türen	Typ	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
T-UG-01		2	1.30	0.80	0.17	37	0%
T_EG-01		2	1.30	0.80	0.17	38	0%
-							
	<b>Total</b>	<b>4</b>					<b>1%</b>

3.5 Fenster	Typ	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
-							
-							
-							
-							
	<b>Total</b>						

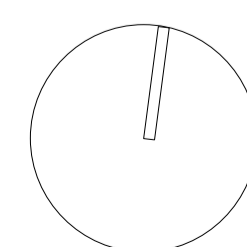
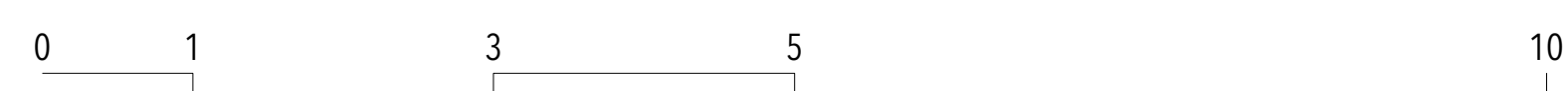
\*/\*\* Bauteile mit Bauteilheizung oder Heizkörper

	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	150.7m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.3m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>959.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 97.2m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 27.3m^2$

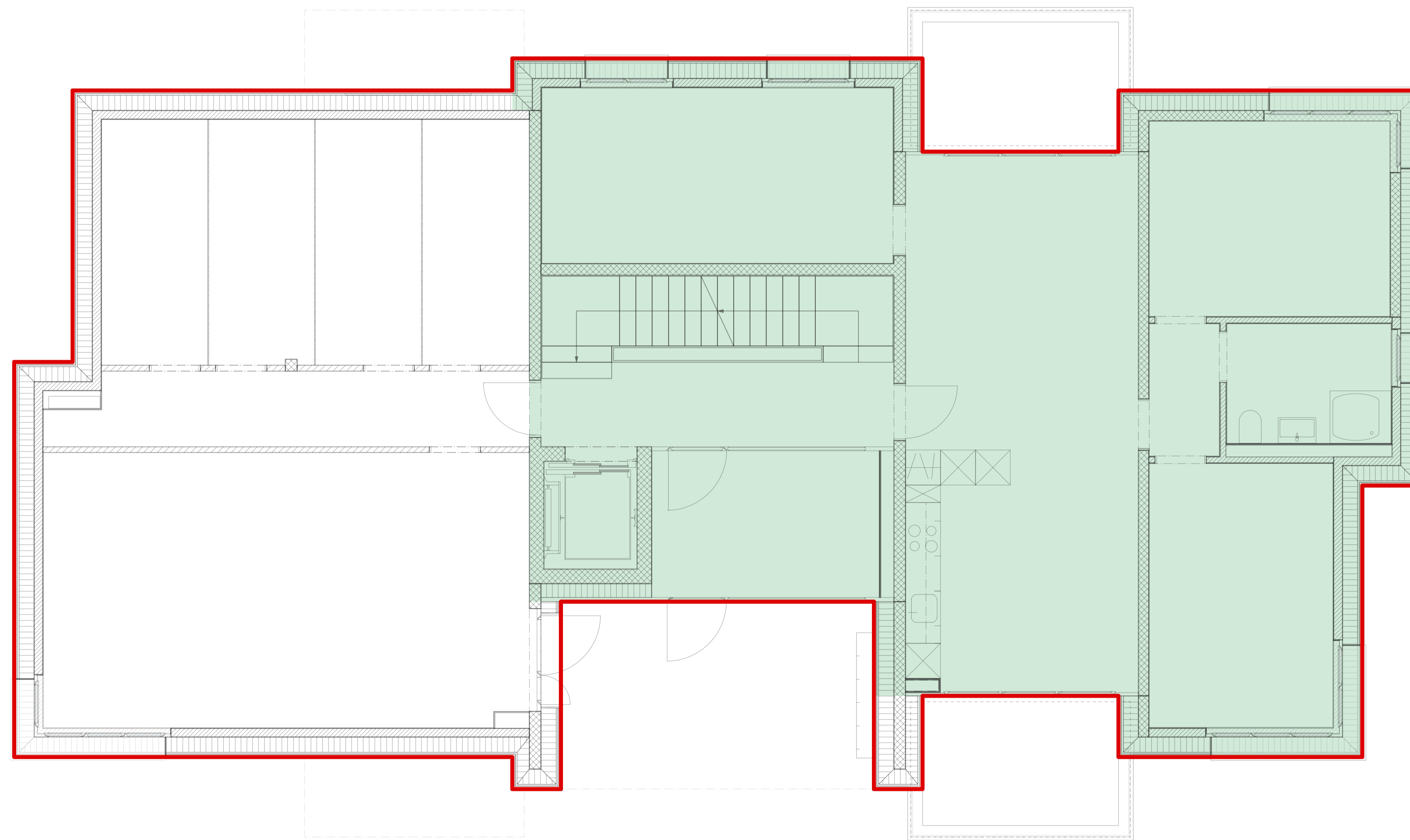
## Massivbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

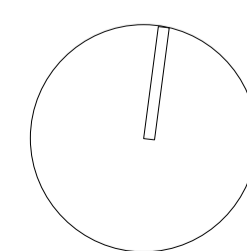
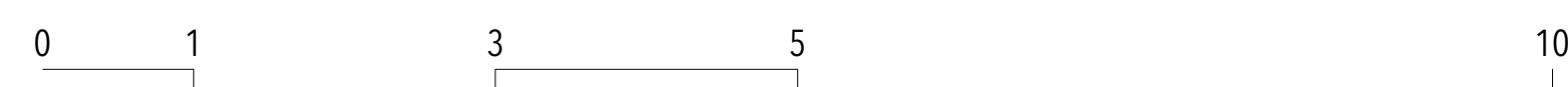
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: UG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	150.7m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.3m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>959.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0\text{m}^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 150.7\text{m}^2$

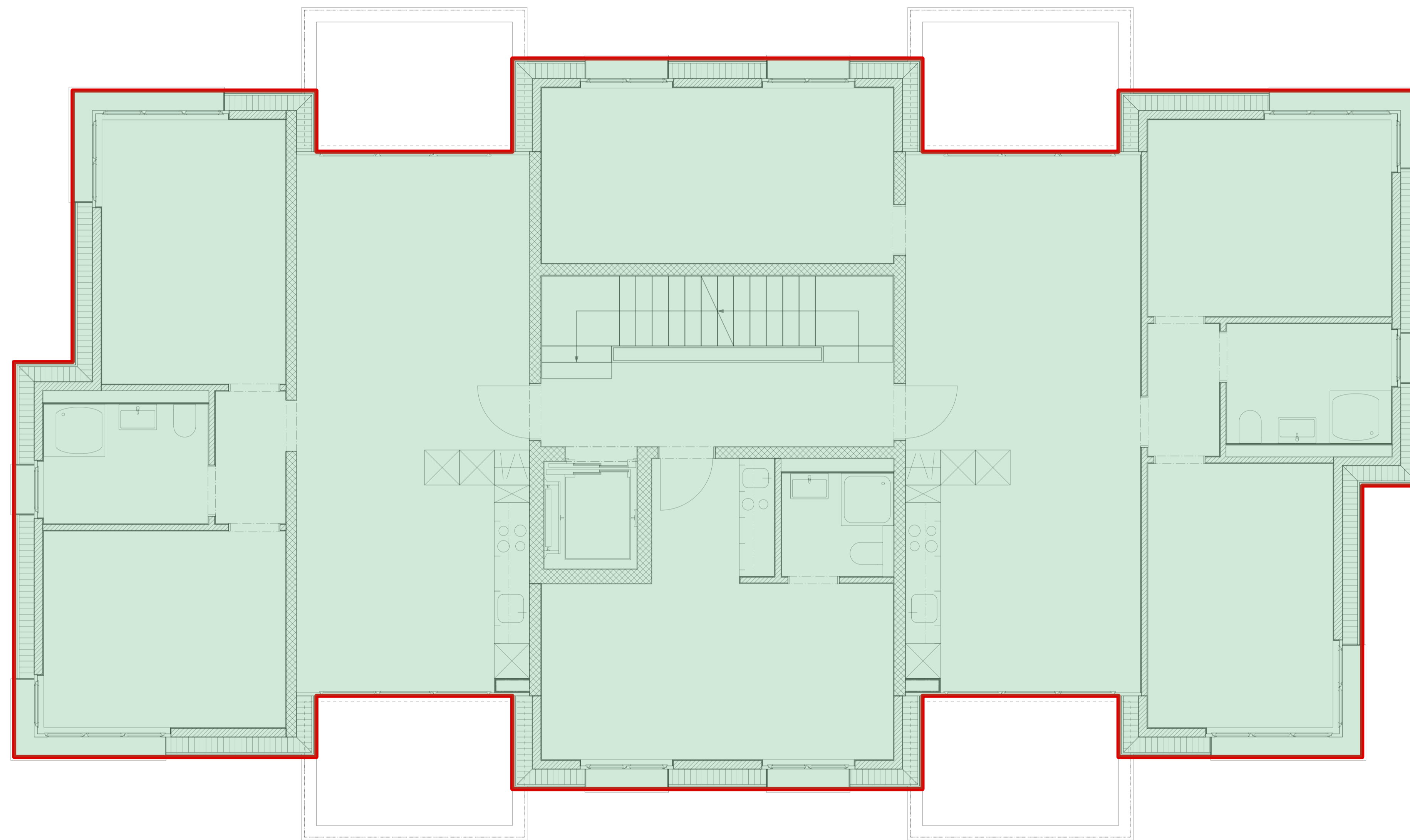
## Massivbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

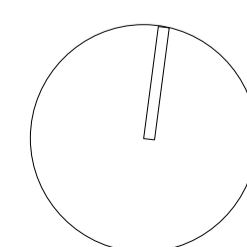
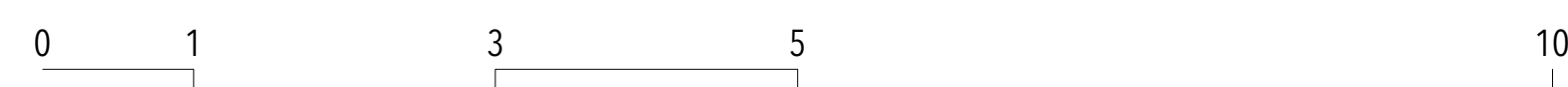
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: EG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08-2022/ski

	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	150.7m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.3m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>959.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 260.6m^2$

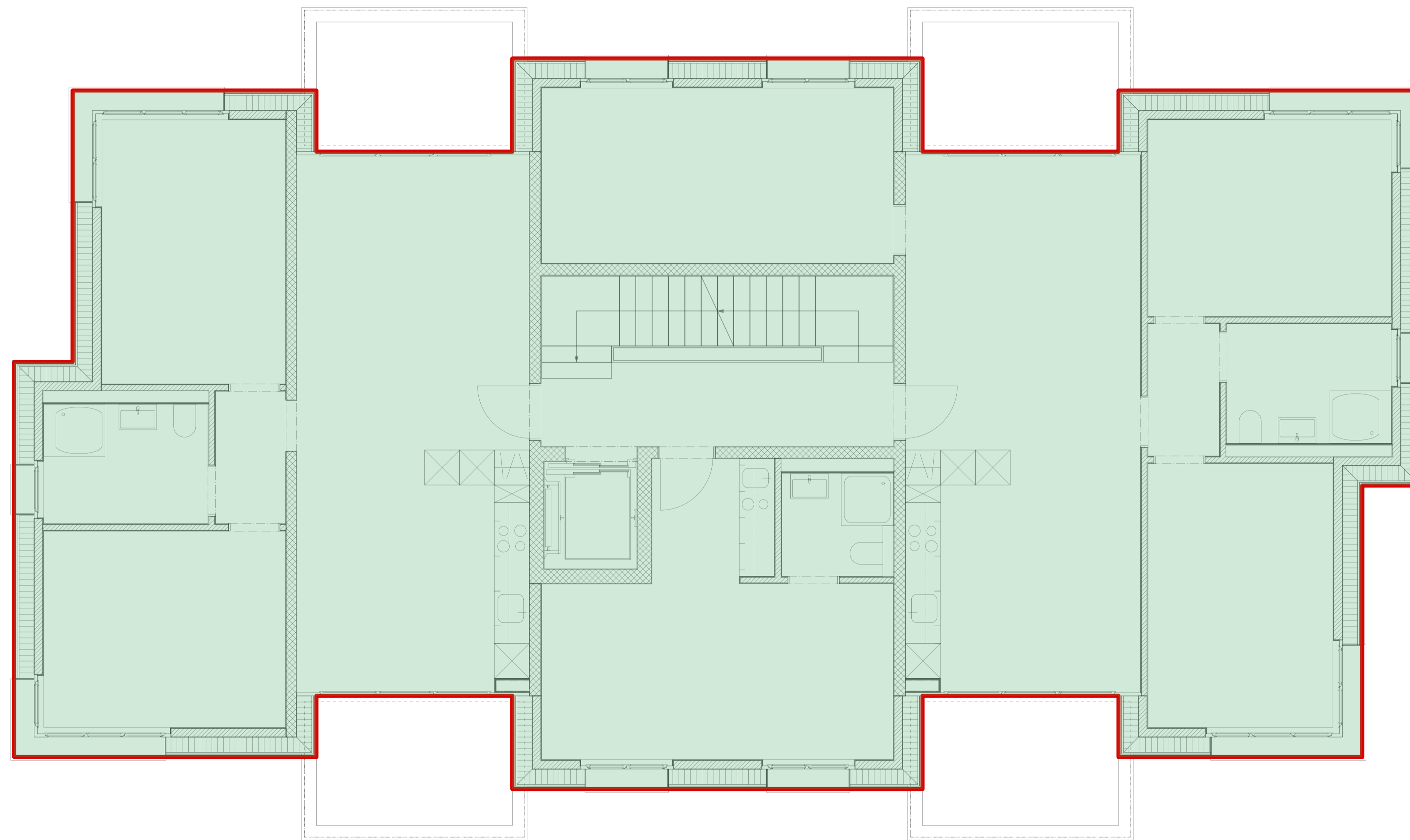
## Massivbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

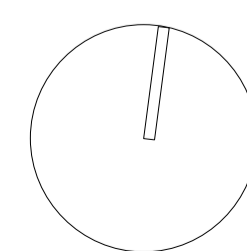
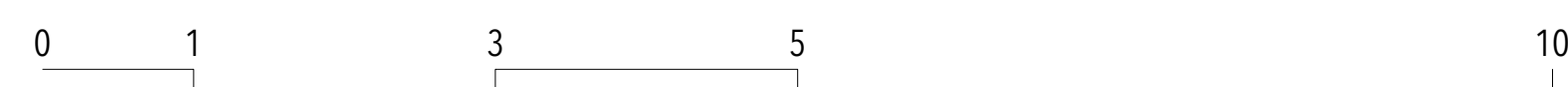
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: 1.OG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022

	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	150.7m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.3m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>959.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 260.6m^2$

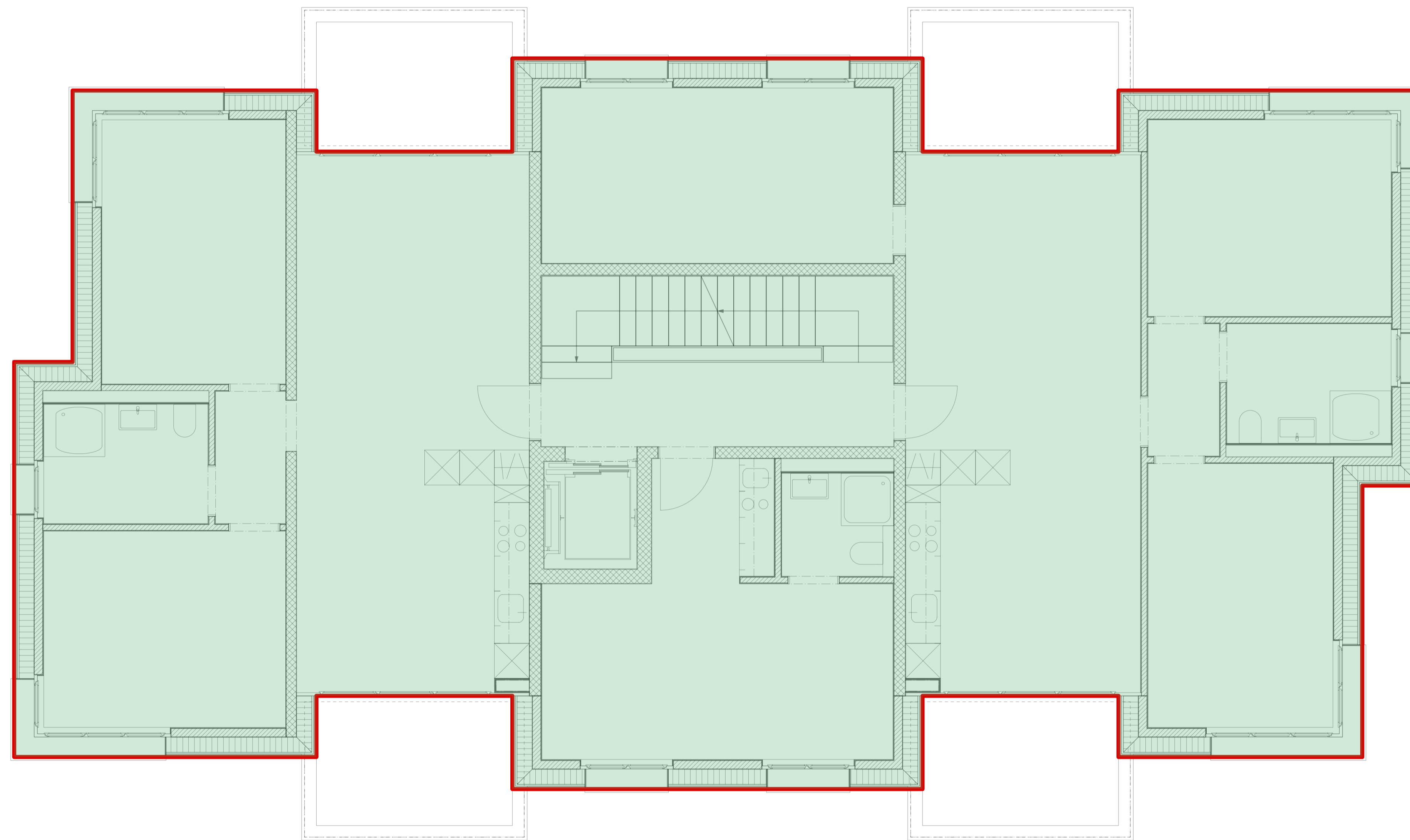
## Massivbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

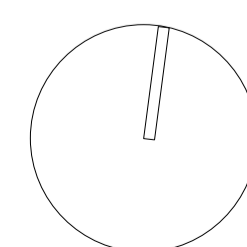
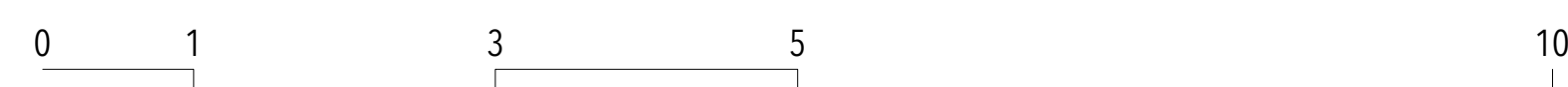
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: 2.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	150.7m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.3m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>959.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 260.6m^2$

## Massivbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Energiebezugsfläche nach SIA 380: 3.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

**Bauvorhaben/Projekt: Studhaldenhöhe 12a, 6005 Luzern**

Auftragsnummer:

Variante: CUREM MAS\_Holzbau

Sachbearbeiter: Stefan Kiener

**Beteiligte:**

Ort/ Datum:

Unterschrift:

**Berechnung Heizwärmebedarf QH nach SIA 380/1:2016****Nachweis**

Systemnachweis

**Gebäudekennwerte:**- Gebäudekategorie: **Wohnen MFH I**- Klimastation (SIA 2028): **Luzern**

Temp.Korrektur: -2%

- Art des Bauvorhabens: **Neubau**

- Wärmespeicherfähigkeit

pro m2 EBF [kWh/m2K]: **0.08** (mittel)- Regelungszuschlag  $\Delta\theta_i$  [K]: **1** (Referenzraum-Temperaturregelung)**Heizwärmebedarf QH [kWh/m2a]:****25.2**

59%

Anforderung erfüllt

**Heizlast Ph [W/m2]:****15.4**

Anforderung erfüllt

**Grenz- und Zielwerte:**

Grenzwert QH,li [kWh/m2a] Neubau:

42.5

100%

Zielwert QH,ta [kWh/m2a] Neubau:

29.7

70%

Grenzwert Ph,li [W/m2]

20.0

inkl. Zuschlag für Wärmebrücken [%]:

15

**Energiebilanz:****1. Transmissionswärmeverluste QT [kWh/m2a]****56.2**

72%

1.1 gegen Aussenluft [kWh/m2a]

48.1

1.2 gegen unbeheizt und gegen Erdreich [kWh/m2a]

8.2

**2. Lüftungswärmeverluste QV [kWh/m2a]****22.2**

28%

**3. Genutzte Wärmeeinträge Qug [kWh/m2a]****-53.2****3.1 Interne Wärmeeinträge Qi [kWh/m2a]****27.3**

3.1.1 Personen [kWh/m2a]

7.7

3.1.2 Elektrizität [kWh/m2a]

19.6

**3.2 Solarer Wärmeeintrag total Qs [kWh/m2a]****60.9**Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne  $\eta_g$  [-]

0.68

Zeitkonstante  $\tau$  [h]

112

**4. Total Heizwärmebedarf QH [kWh/m2a]****25.2**

100%

**Energiebezugsfläche EBF:****Geschoss****EBF [m2]**

Untergeschoss

125

Erdgeschoss

151

1. Obergeschoss

261

2. Obergeschoss

261

3. Obergeschoss

261

**Total EBF****1'058****Kennwerte:**

Fensterfläche [m2]:

339

 $A_W / A_E$  [%] (Flächenanteil Fenster und Türen):

32.0

thermische Gebäudehüllfläche  $A_{th}$  [m2]:

2'133

Gebäudehüllzahl  $A_{th} / A_E$  [-]:

2.02

## 0 Werte der Standardnutzung

Variante: CUREM MAS\_Holzbau

Raumtemperatur [°C]	20	Basis QH,li0 [kWh/m2]	13
Personenfläche [m2/P]	40	Steigung ΔQH,li [kWh/m2]	15
Wärmeabgabe pro Person [W/P]	70	Referenzzeitkonstante für Ausnutzungsgrad [h]	15
Präsenzzeit pro Tag [h]	12	numerischer Parameter für Ausnutzungsgrad [-]	1
Elektrizitätsbedarf pro Jahr [kWh/m2]	28		
Reduktionsfaktor Elektrizitätsbedarf [-]	0.7		
Aussenluft-Volumenstrom [m3/hm2]	0.70	keine Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern	
		* Vorlauftemperatur bei Auslegungstemp. Flächenheizung [°C]:	35

## 1 Bauteile gegen Aussenklima

Bauteilheizung/ Heizkörper	1.1 Dächer											
	Wärmedämmung [cm]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	Orientierung [-]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]					
	DgA_UG-01	20	21	0.25	H	0.49	1	1%				
	DgA_UG-02	6	3	0.25	H	0.08	2	0%				
	DgA_UG-03	6	3	0.25	H	0.08	3	0%				
	DgA_EG-01	6	4	0.25	H	0.09	4	0%				
	DgA_EG-02	6	4	0.25	H	0.09	5	0%				
	DgA_DA-01	20	272	0.11	H	2.79	6	6%				
	-											
	-											
	-											
	-											
	<b>Total</b>		<b>307</b>					<b>7%</b>				
1.2 Wände												
	Wärmedämmung [cm]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	Orientierung [-]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]					
	-											
	WgA UG	24	74	0.13	N	0.90	7	2%				
	WgA UG	24	28	0.13	O	0.33	8	1%				
	WgA UG	24	19	0.13	S	0.23	9	0%				
	WgA UG	24	23	0.13	W	0.28	10	1%				
	WgA EG-O3	26	235	0.13	N	2.85	11	6%				
	WgA EG-O3	26	122	0.13	O	1.48	12	3%				
	WgA EG-O3	26	242	0.13	S	2.93	13	6%				
	WgA EG-O3	26	122	0.13	W	1.48	14	3%				
	-											
	<b>Total</b>		<b>865</b>					<b>21%</b>				
1.3 Fenster												
	O [-]	Fläche A [m2]	U-Wert [W/m2K]	g-Wert [-]	F <sub>F</sub> [-]	fs1 [°]	fs2 [°]	fs3 [°]	fs3 [°]	QH [kWh/m2a]	Nr. [-]	Anteile [%]
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	N	127	0.83	0.53	0.75				9.83	15	20%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	O	45	0.83	0.53	0.75				3.48	16	7%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	S	109	0.83	0.53	0.75				8.43	17	17%
	Terrassen-/Balkon-/Lochfenste	W	28	0.83	0.53	0.75				2.16	18	4%
	T_UG-N01	N	4	0.83	0.53	0.75				0.34	19	1%
	T_UG-N02	N	3	0.83	0.53	0.75				0.26	20	1%
	T_EG-S02	S	9	0.83	0.53	0.75				0.72	21	1%
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	-											
	<b>Total</b>		<b>326</b>									<b>52%</b>





### 3 Bauteile gegen unbeheizte Räume und Erdreich

Bauteilheizung/ Heizkörper	3.1 Dächer	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
		[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
-								
-								
-								
-								
-								
<b>Total</b>								

3.2 Wände	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
WgE UG Nord	24	34	0.13	0.80	0.32	28	1%
WgE UG Ost	24	15	0.13	0.80	0.14	29	0%
WgE UG Süd	24	68	0.13	0.80	0.65	30	1%
WgE UG West	24	27	0.13	0.80	0.26	31	1%
WgU_UG-01		63	0.14	0.80	0.65	32	1%
WgU_UG-02		9	0.14	0.80	0.09	33	0%
WgU_EG-01		23	0.14	0.80	0.23	34	0%
-							
-							
<b>Total</b>		<b>238</b>					<b>5%</b>

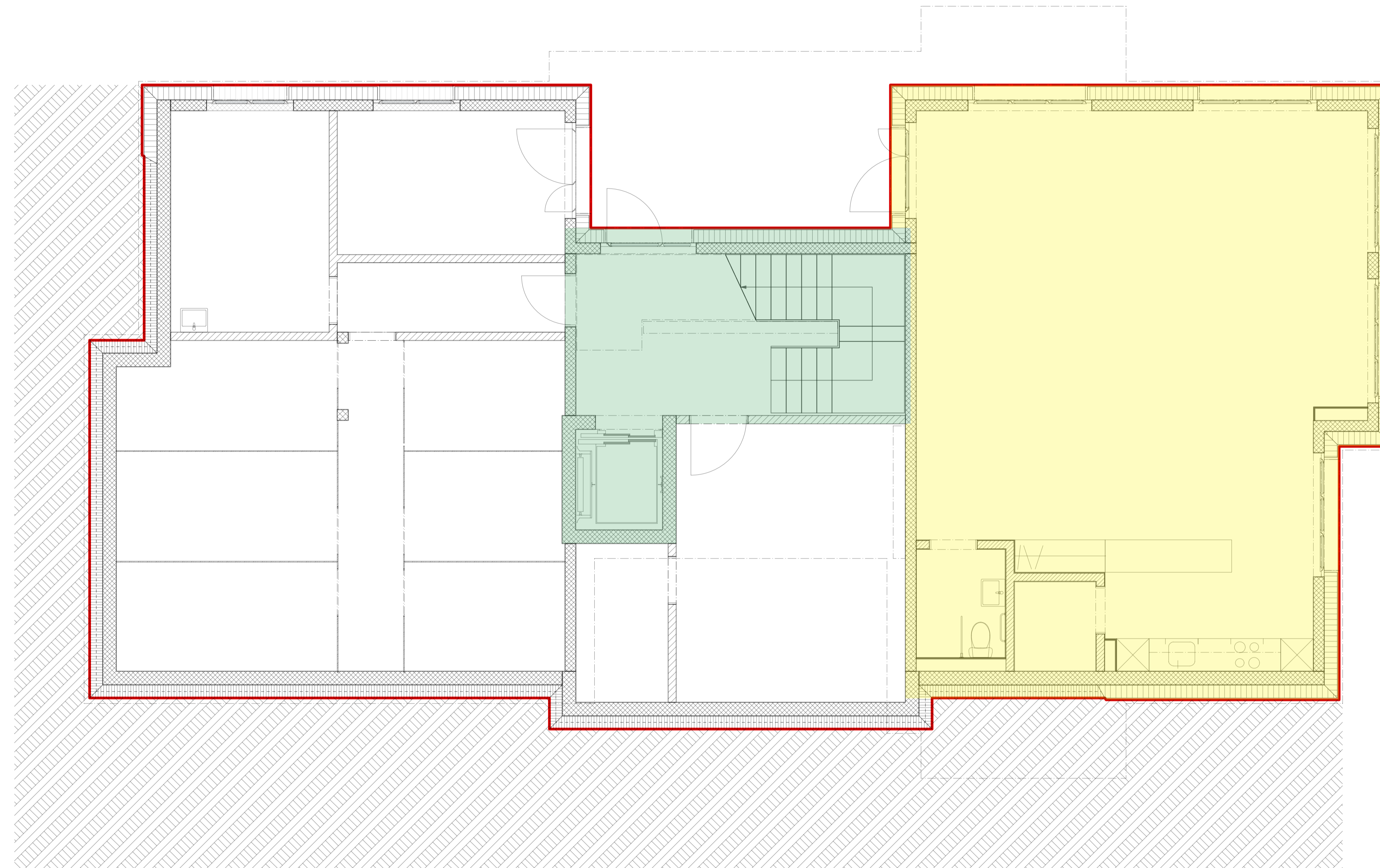
3.3 Böden	Wärmedämmung	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[cm]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
BgE	22	249	0.16	0.80	2.97	35	6%
* BgU_O1-01		89	0.16	0.80	1.41	36	3%
-							
-							
-							
-							
-							
-							
<b>Total</b>		<b>338</b>					<b>9%</b>

3.4 Türen	Typ	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]
T-UG-01		2	1.30	0.80	0.17	37	0%
T_EG-01		2	1.30	0.80	0.17	38	0%
-							
<b>Total</b>		<b>4</b>					<b>1%</b>

3.5 Fenster	Typ	Fläche A	U-Wert	Reduktionsfaktor	QH	Nr.	Anteile	
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[-]	[%]	
-								
-								
-								
-								
<b>Total</b>								

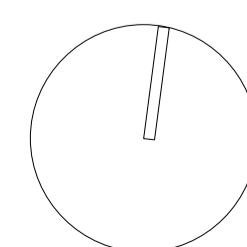
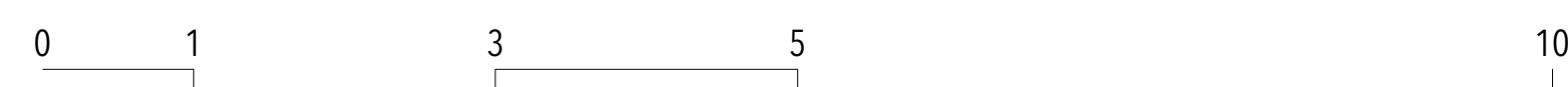
\*/\*\* Bauteile mit Bauteilheizung oder Heizkörper

	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	151.2m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>961.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 97.2m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 27.5m^2$

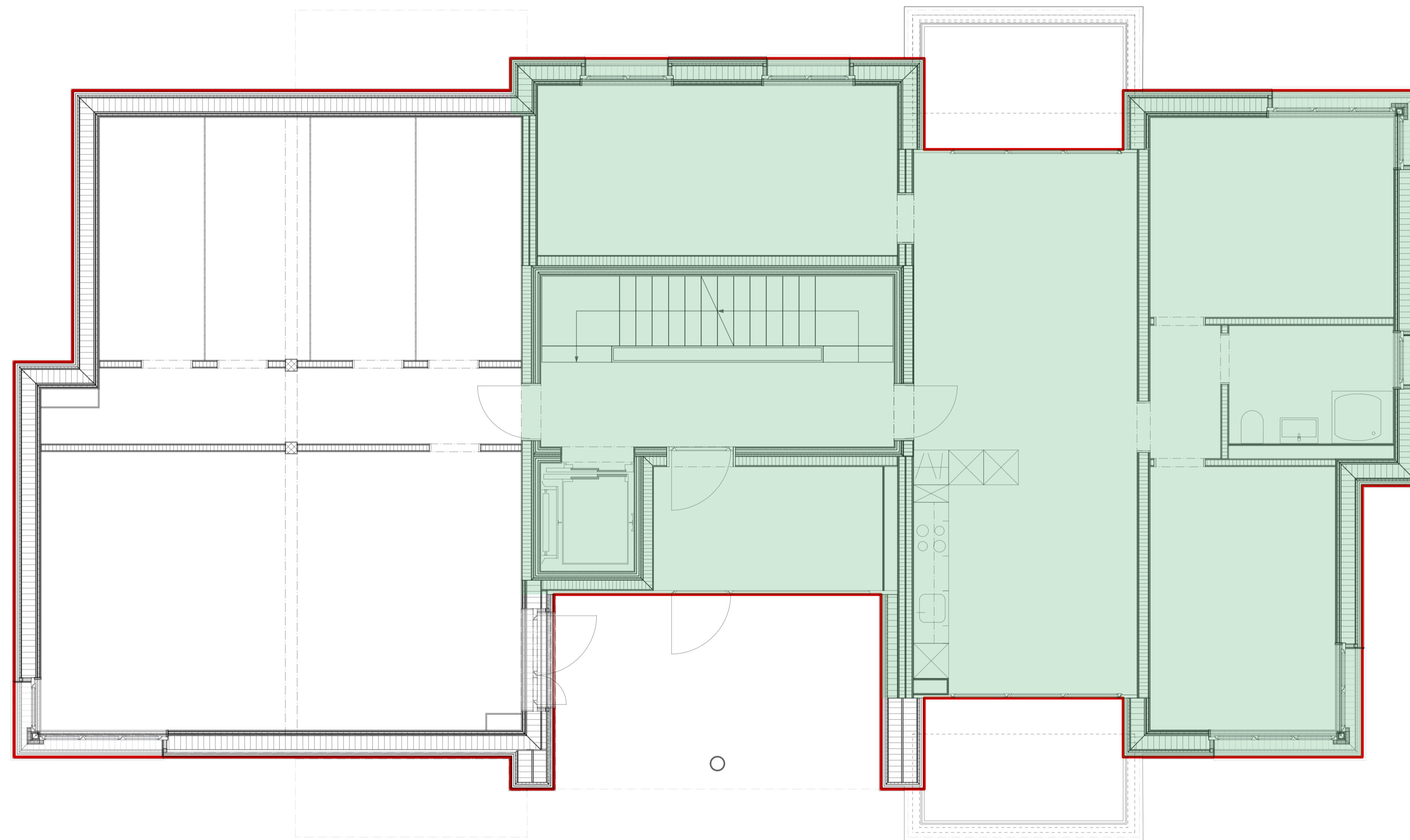
## Holzbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

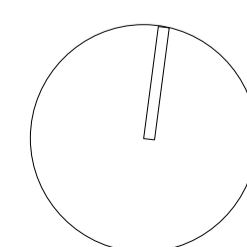
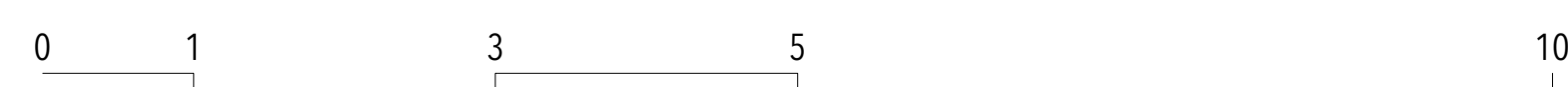
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: UG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	151.2m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>961.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0\text{m}^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 151.2\text{m}^2$

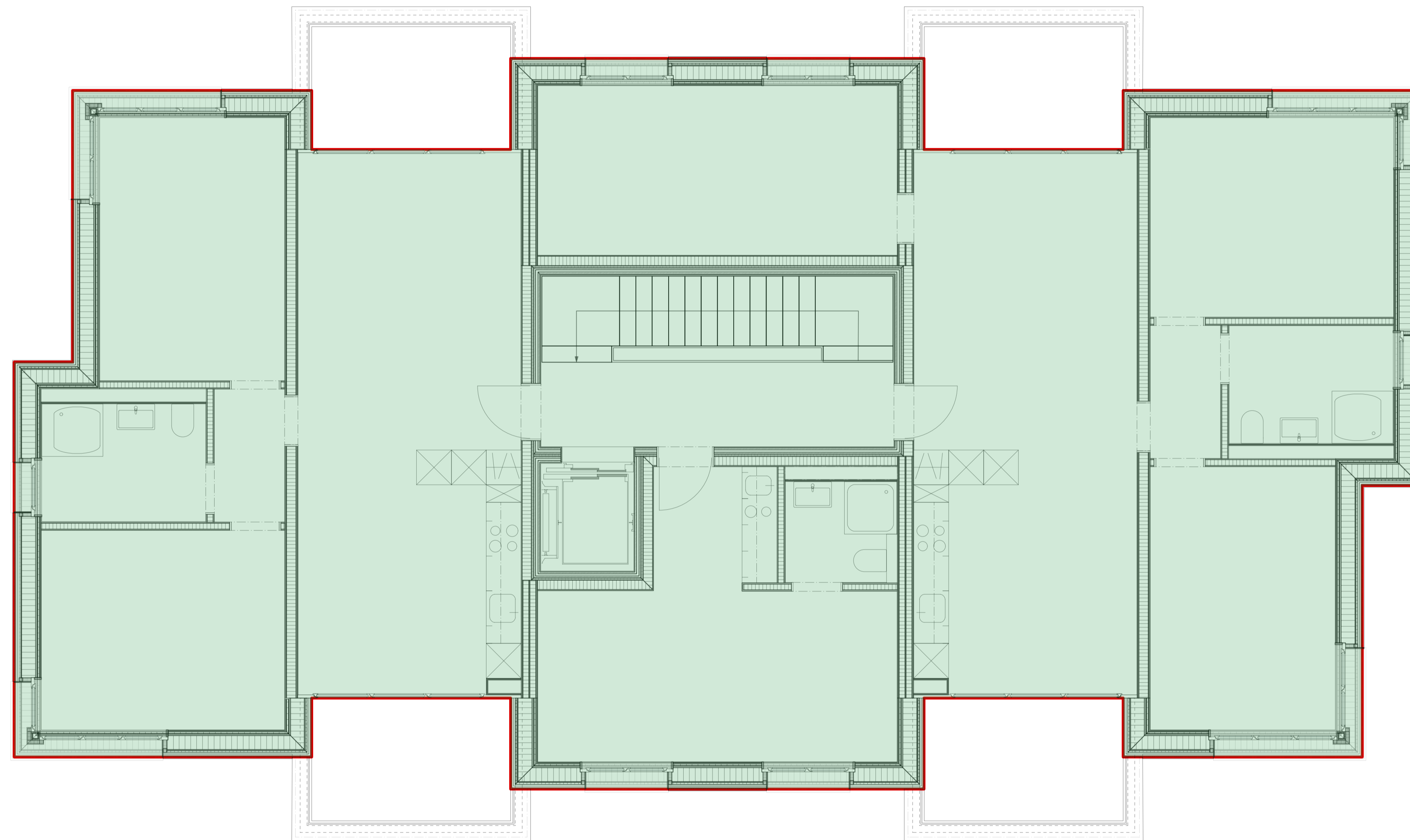
# Holzbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

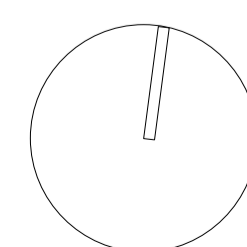
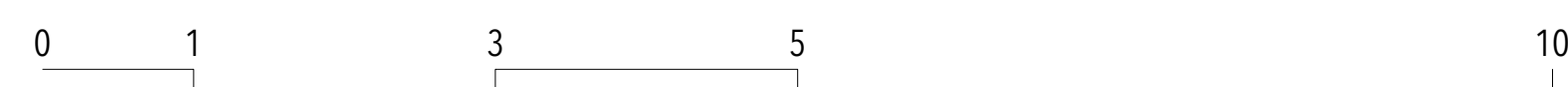
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: EG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08-2022/ski

	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	151.2m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>961.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 261.0m^2$

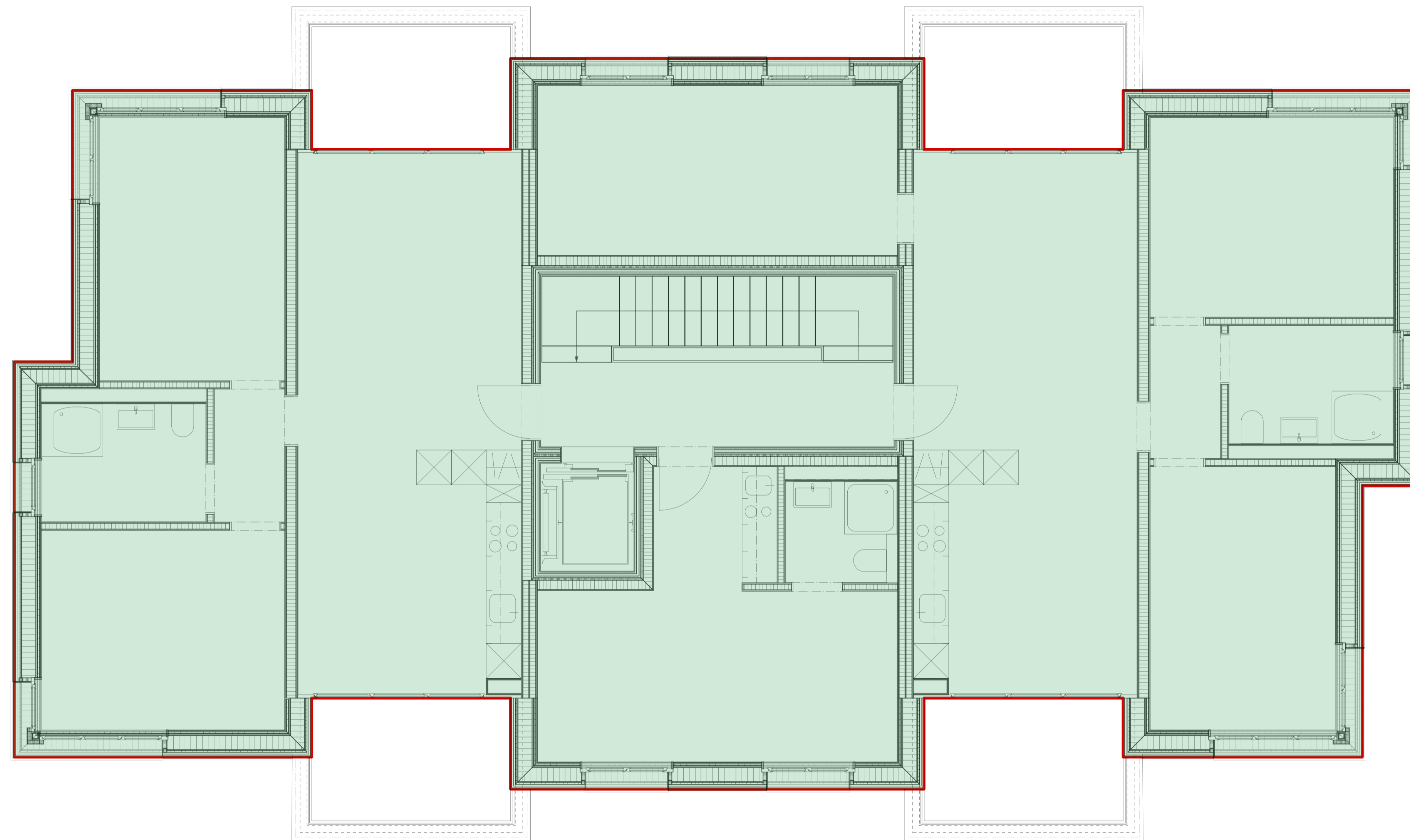
# Holzbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

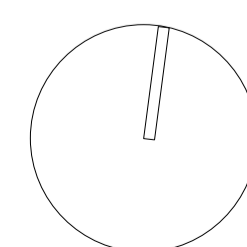
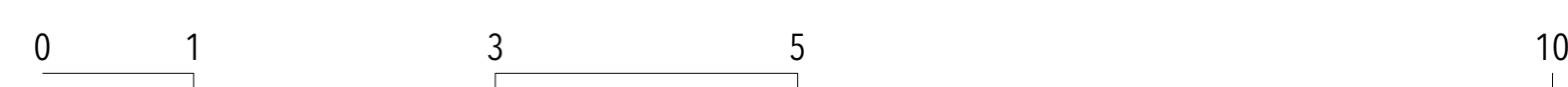
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: 1.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022

	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	151.2m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>961.8m<sup>2</sup></b>



- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 261.1m^2$

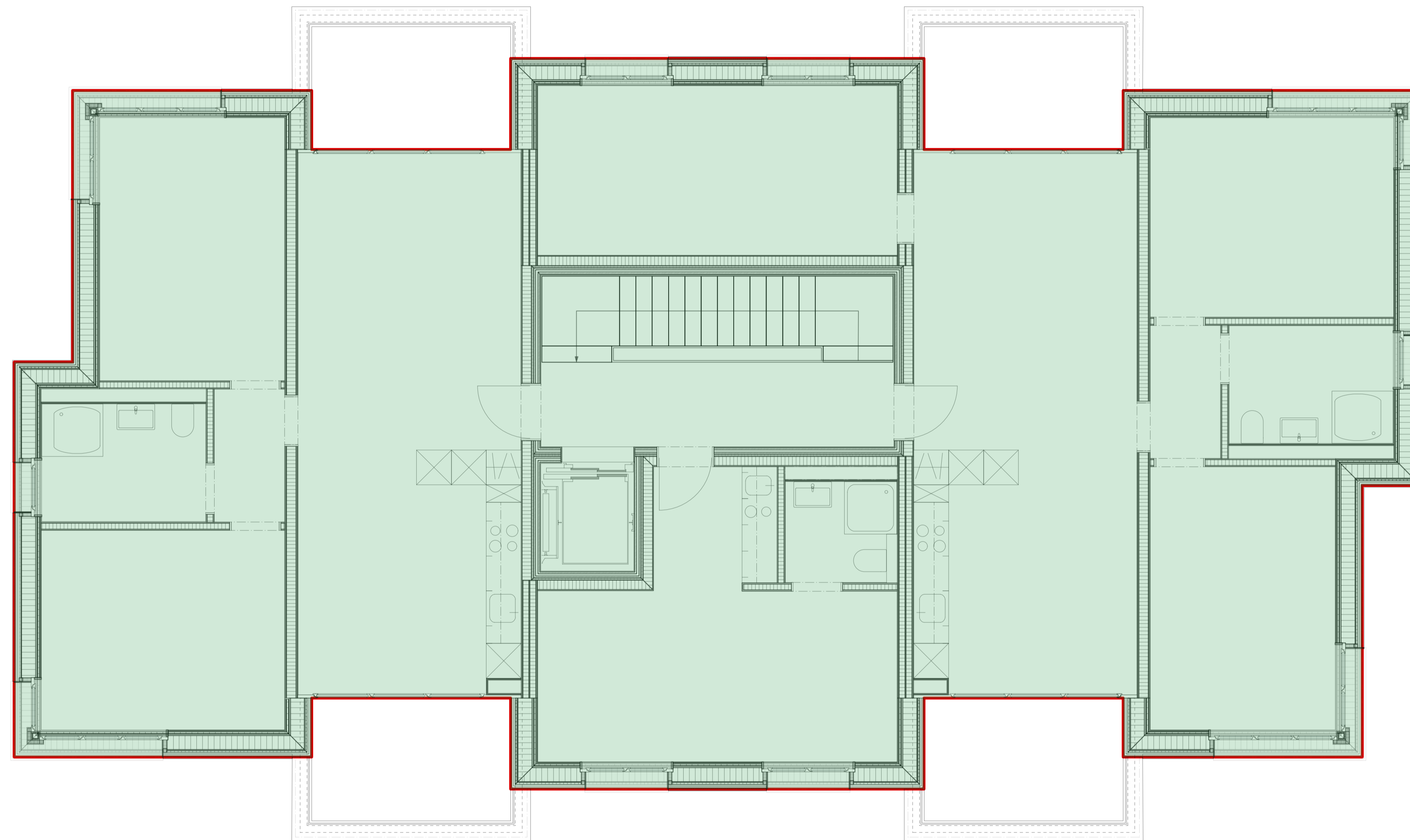
# Holzbau



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

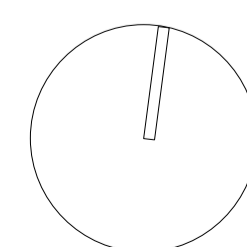
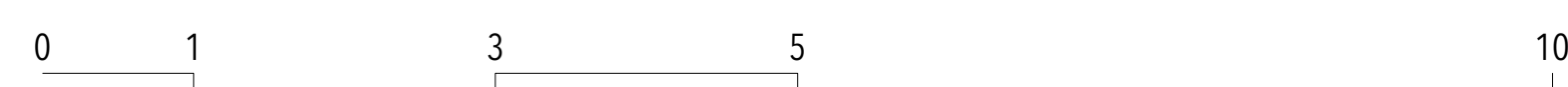
Plan **Energiebezugsflächen nach SIA 380: 2.OG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
	0m <sup>2</sup>	151.2m <sup>2</sup>
	97.2m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>
	<b>97.2m<sup>2</sup></b>	<b>961.8m<sup>2</sup></b>



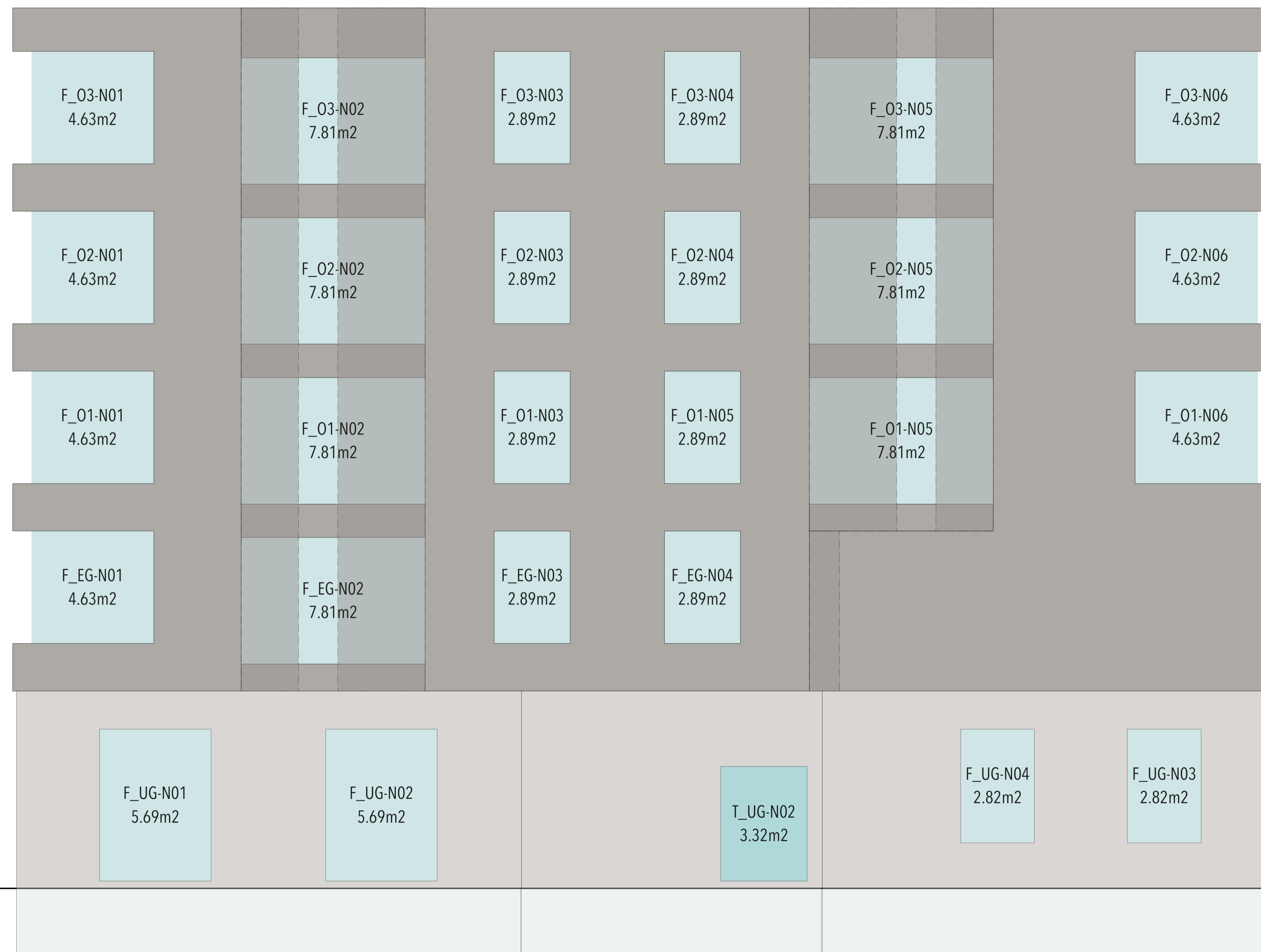
- Dämmperimeter
- Schule:  $A_E = 0m^2$
- Wohnen MFH:  $A_E = 261.1m^2$

# Holzbau



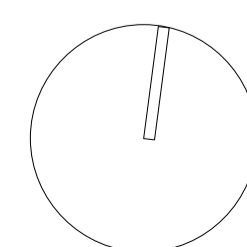
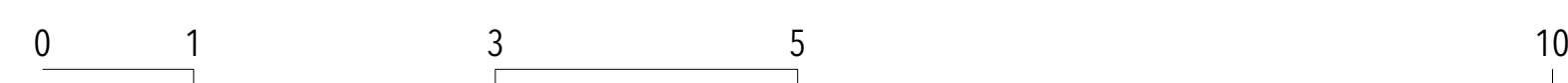
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Energiebezugsfläche nach SIA 380: 3.OG**  
 Masstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

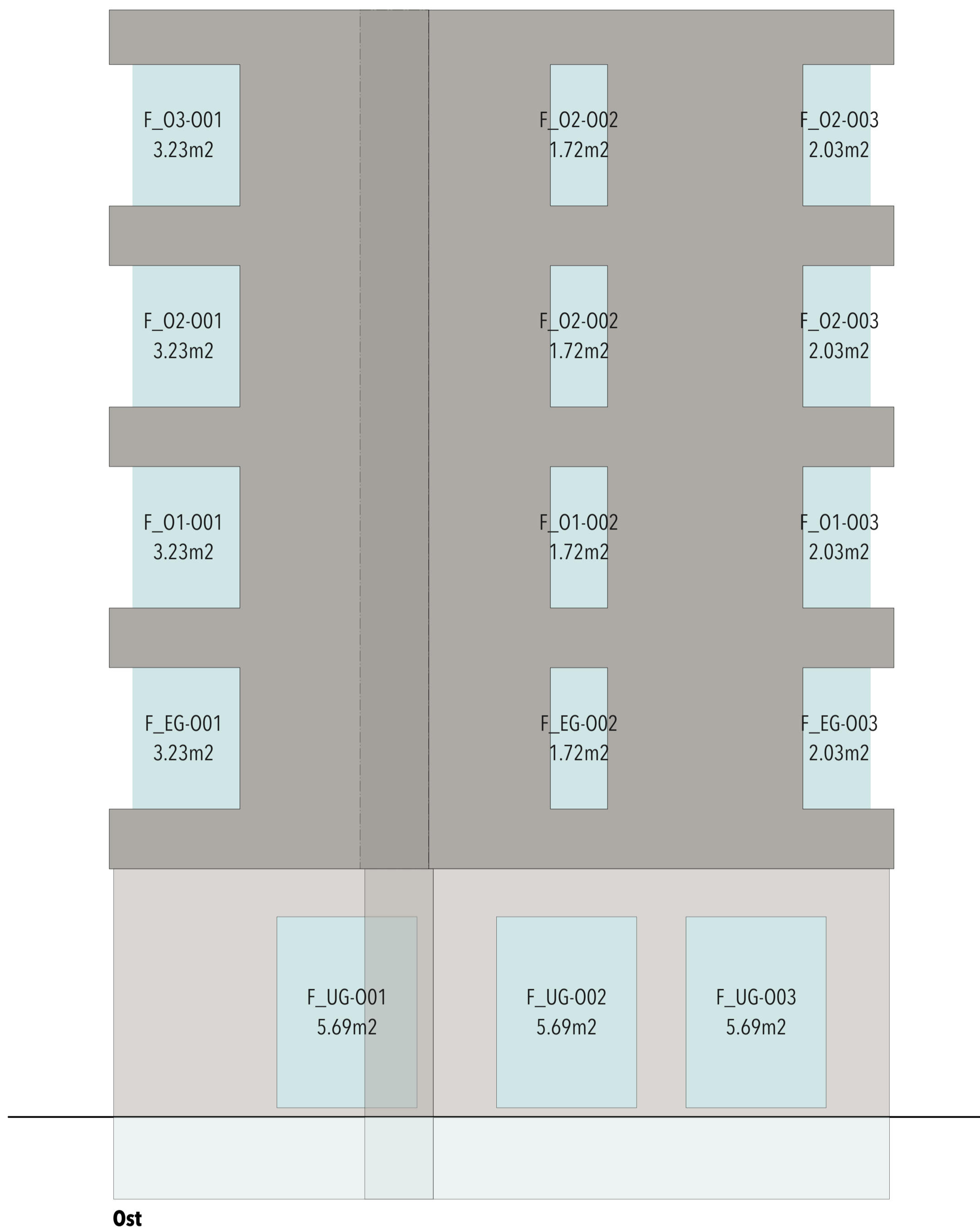
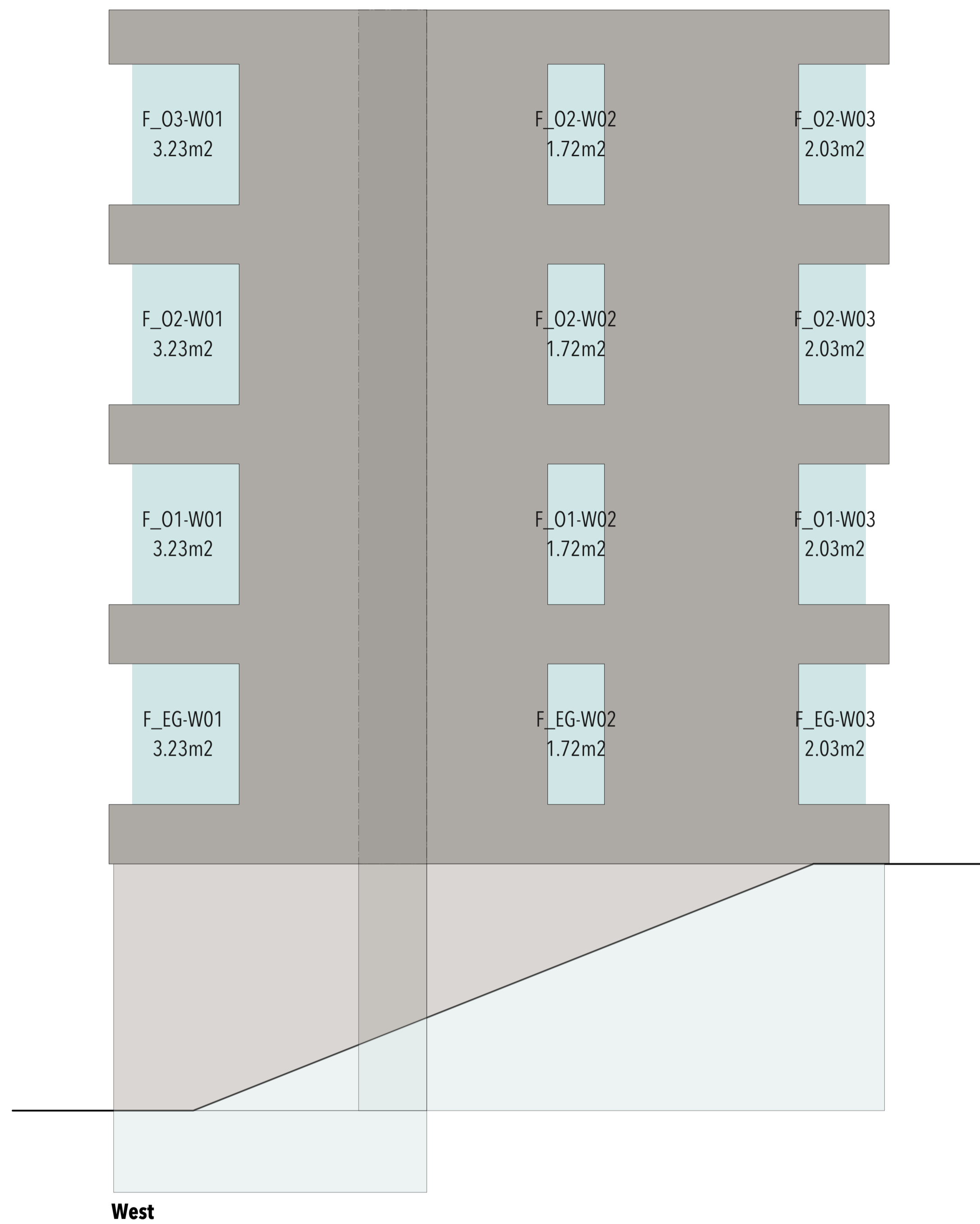


- WgA EG-03: 235.0m<sup>2</sup>
- WgA UG: 74.2m<sup>2</sup>
- WgE (Sockel) = 33.9m<sup>2</sup>
- Fenster = 127.0m<sup>2</sup>
- Tür (Glas-Metall) = 7.7m<sup>2</sup>
- Tür (Metall) = 3.4m<sup>2</sup>

Nord





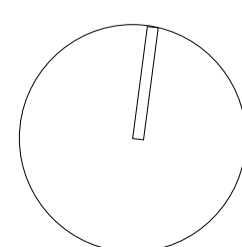
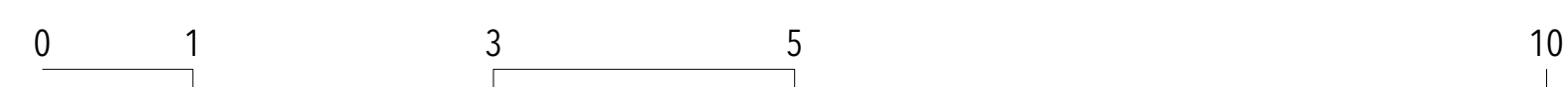


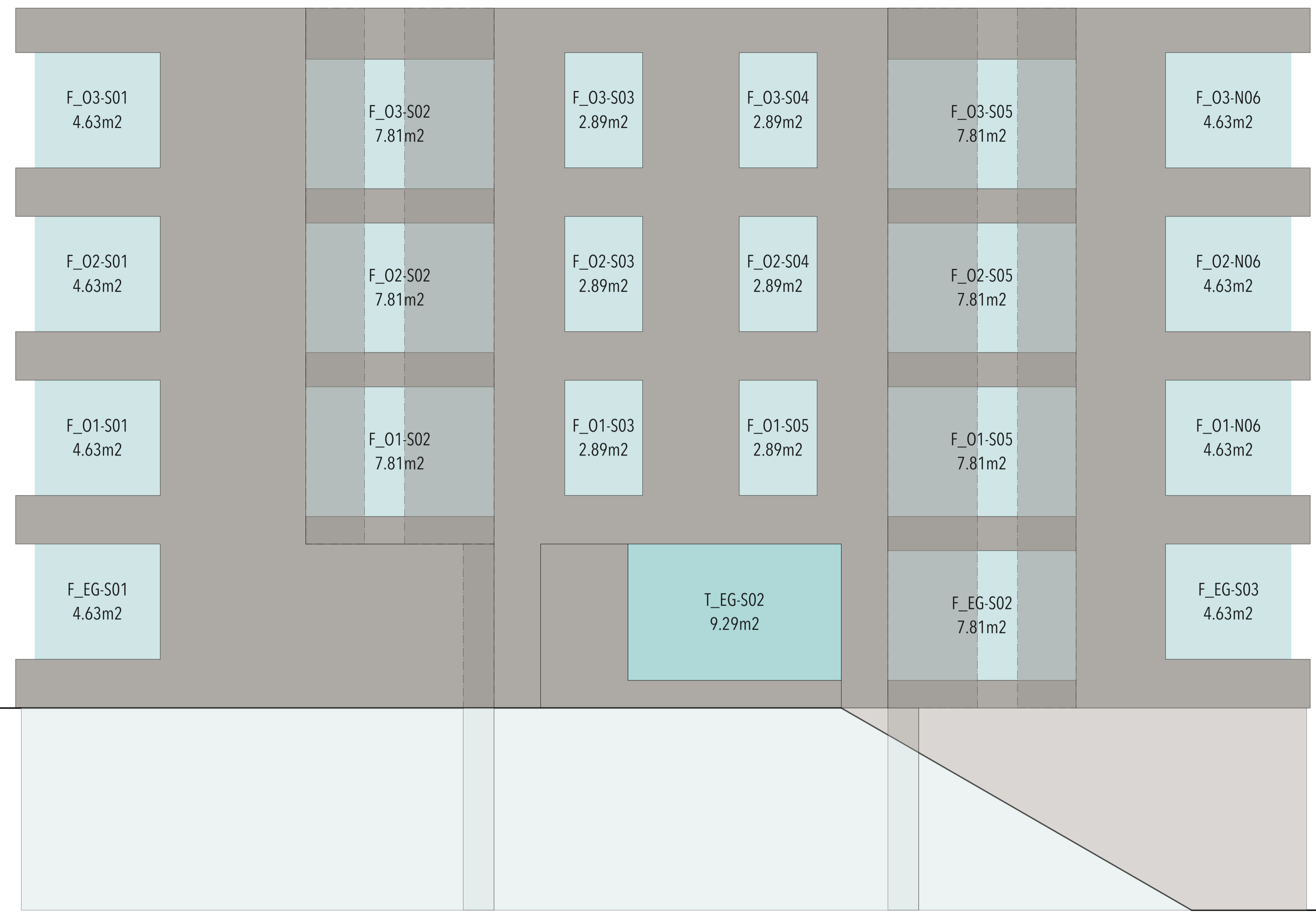
**Ost**

-  WgA EG-03: 122.2m<sup>2</sup>
-  WgA: UG: 27.5m<sup>2</sup>
-  WgE (Sockel) = 14.8m<sup>2</sup>
-  Fenster = 44.9m<sup>2</sup>
-  Tür (Glas-Metall) = 0m<sup>2</sup>
-  Tür (Metall) = 0m<sup>2</sup>

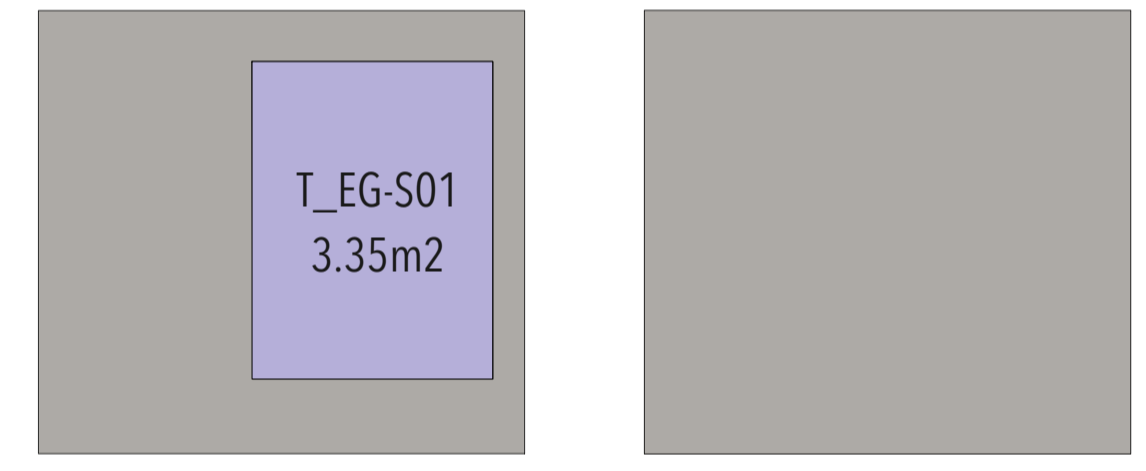
**West**

-  WgA EG-03: 122.2m<sup>2</sup>
-  WgA: UG: 23.1m<sup>2</sup>
-  WgE (Sockel) = 26.9m<sup>2</sup>
-  Fenster = 27.9m<sup>2</sup>
-  Tür (Glas-Metall) = 0m<sup>2</sup>
-  Tür (Metall) = 0m<sup>2</sup>

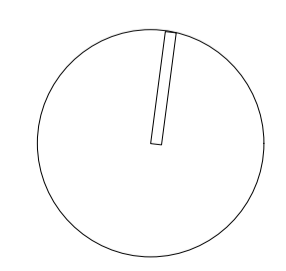
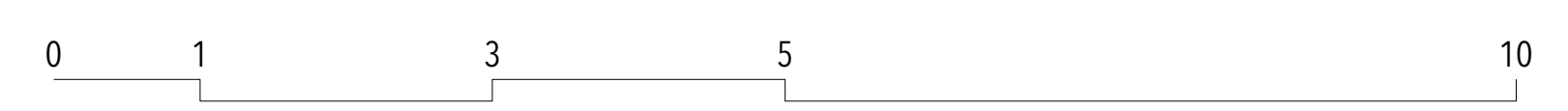


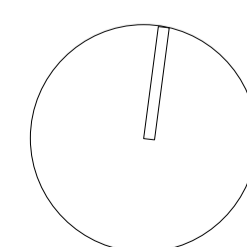
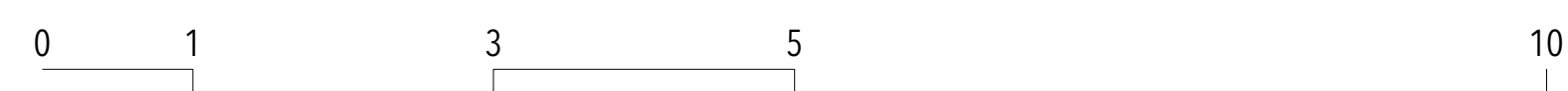
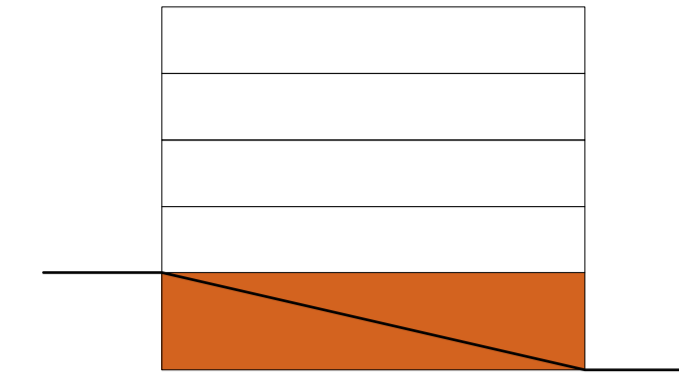


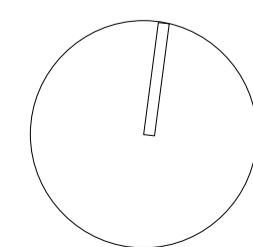
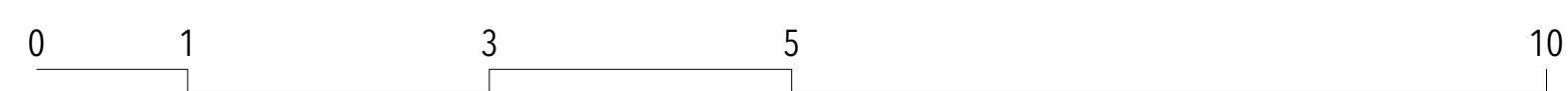
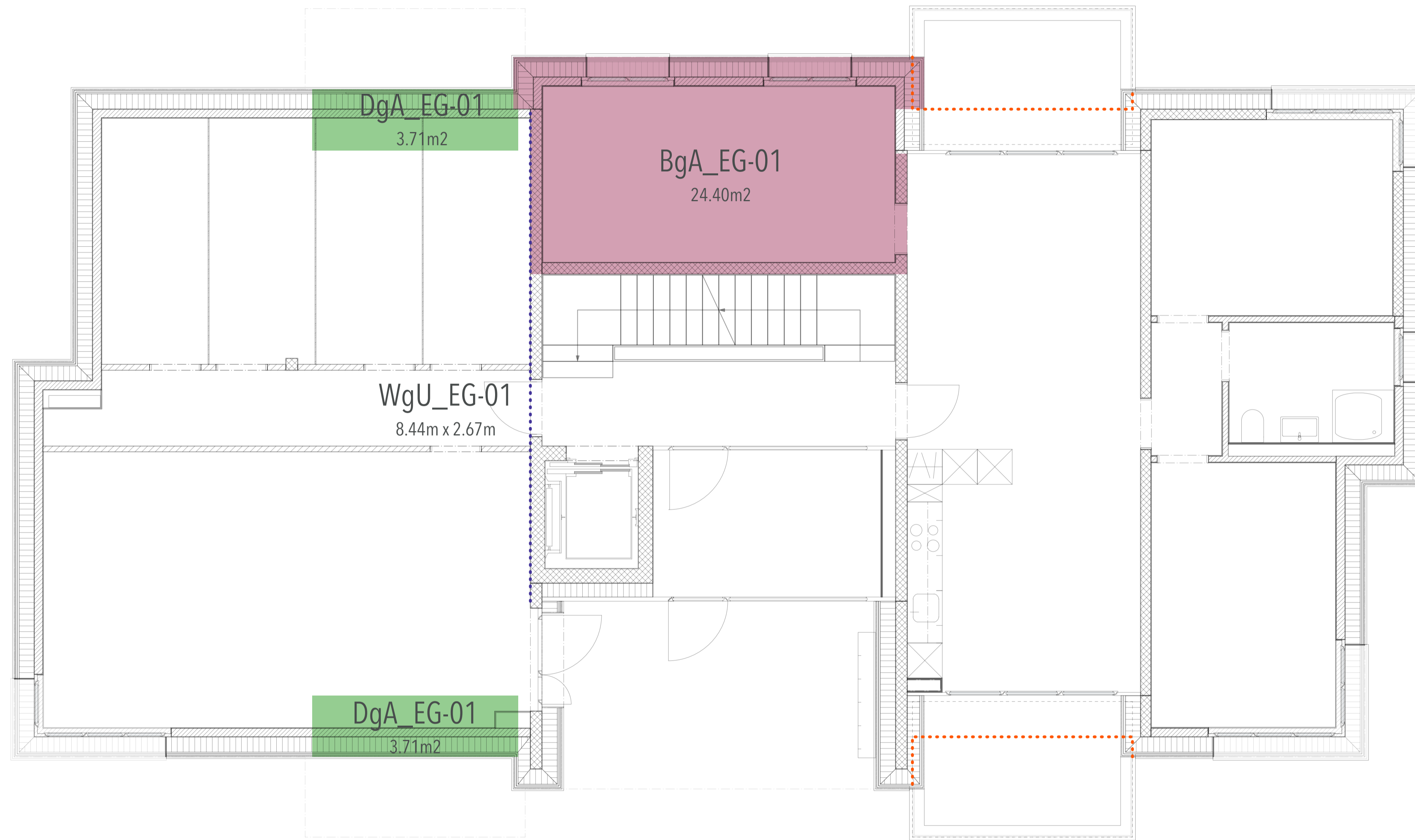
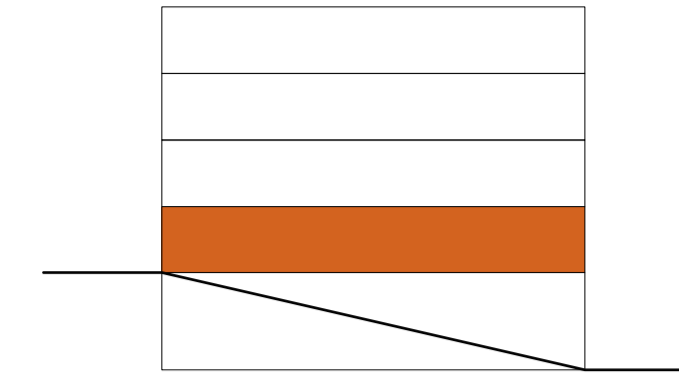
- WgA EG-03: 241.6m<sup>2</sup>
- WgA: UG: 19.1m<sup>2</sup>
- WgE (Sockel) = 68.0m<sup>2</sup>
- Fenster = 108.9m<sup>2</sup>
- Tür (Glas-Metall) = 9.3m<sup>2</sup>
- Tür (Metall) = 3.4m<sup>2</sup>



Süd

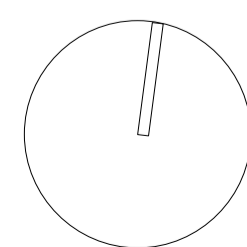
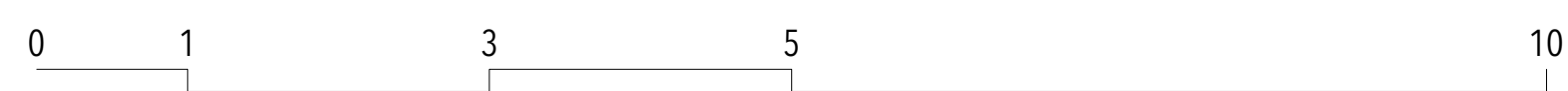
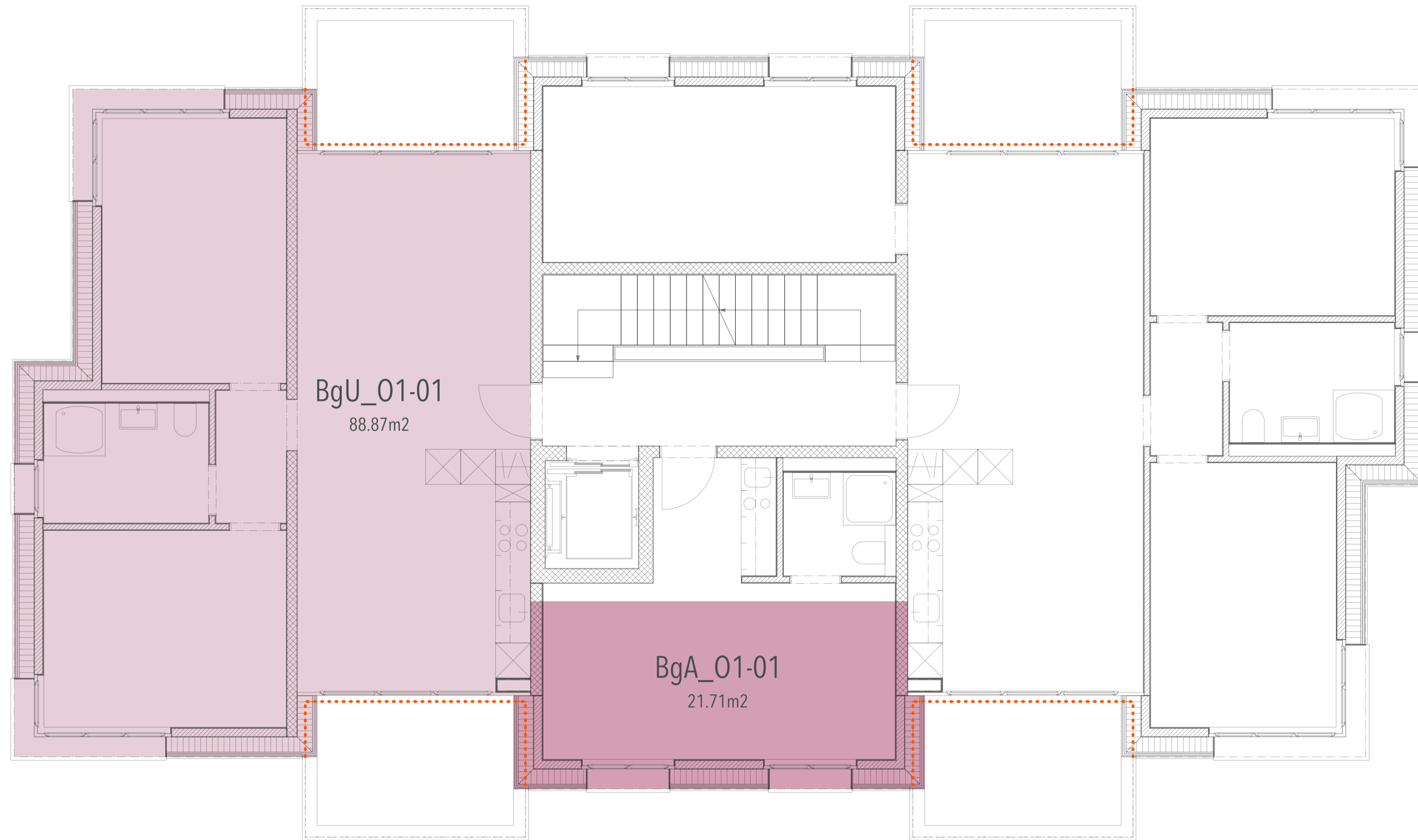
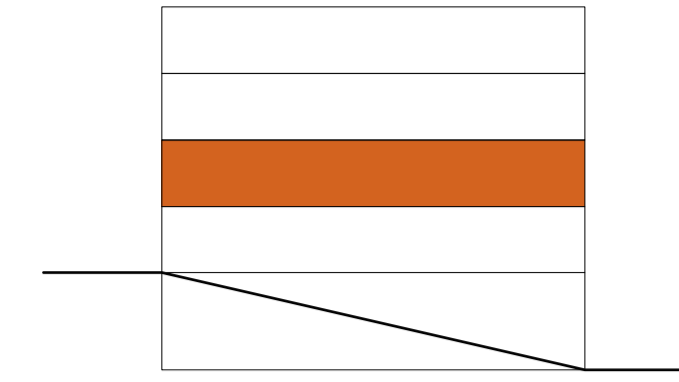






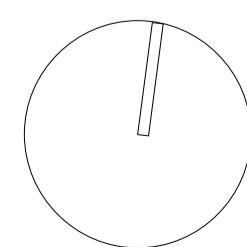
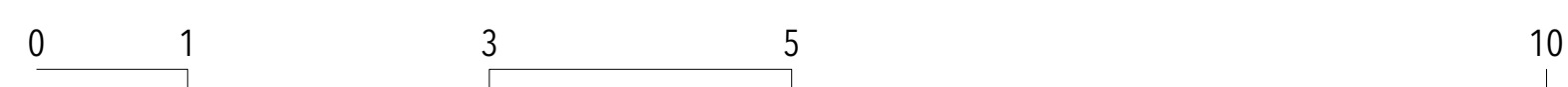
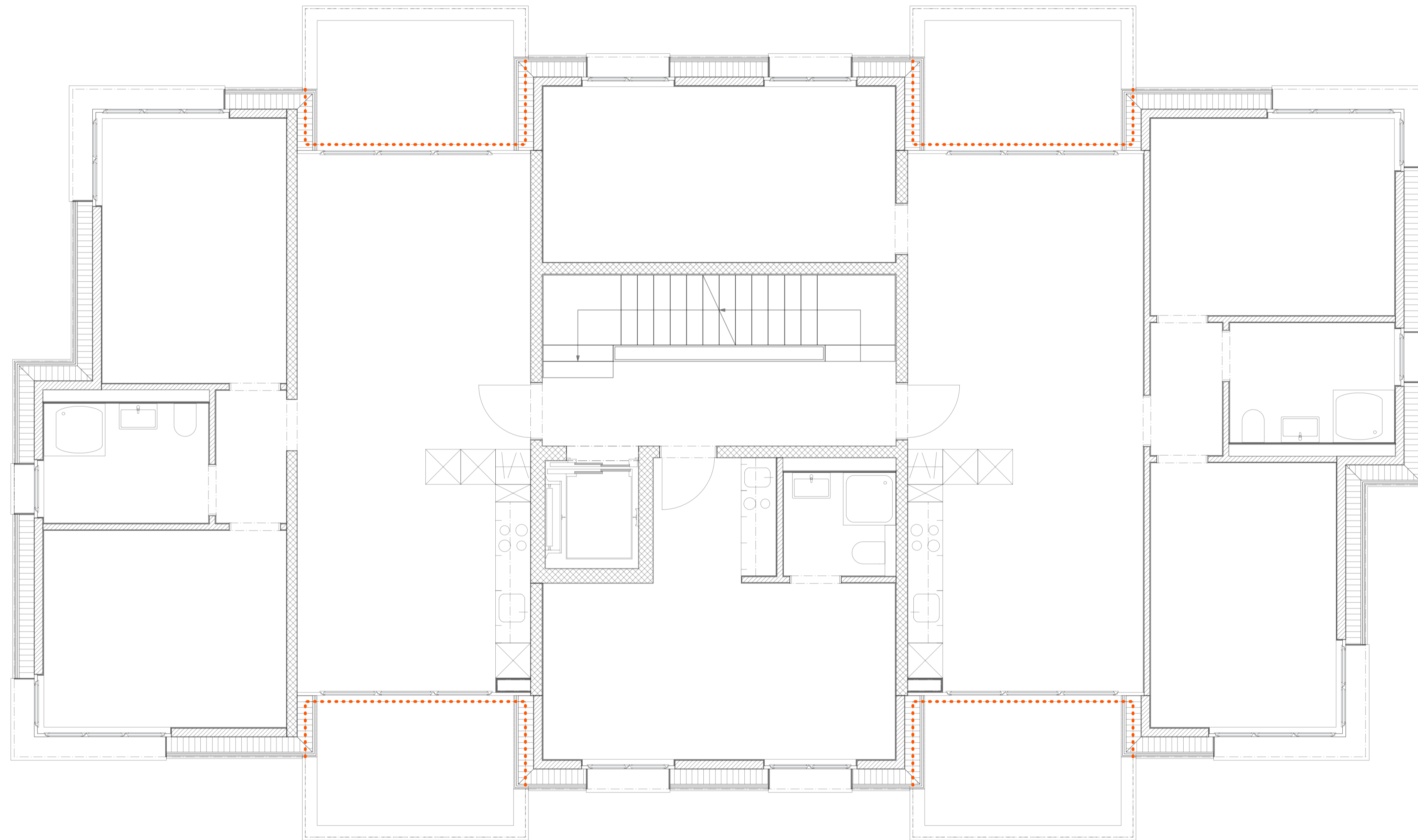
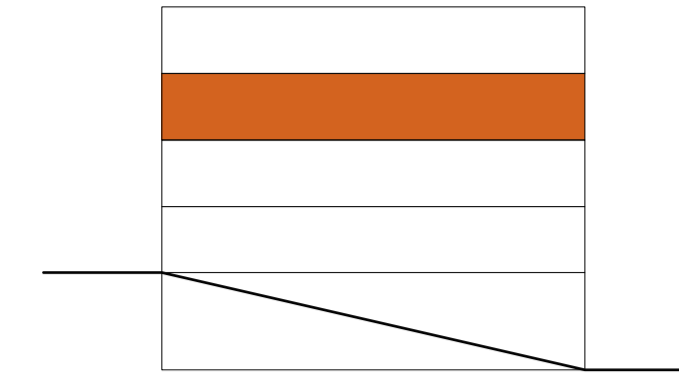
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Bauteilflächen nach SIA 380: EG**  
Massstab 1:50  
Planformat A2  
Datum 18.07.2022; rev. 21.08-2022/ski



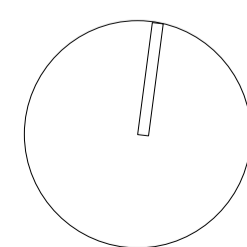
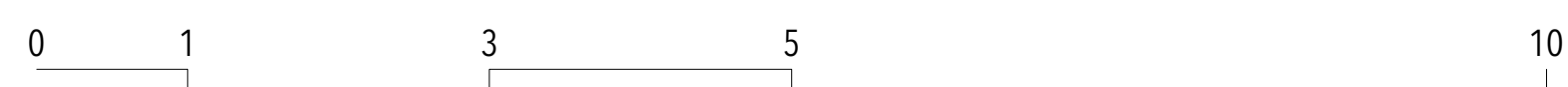
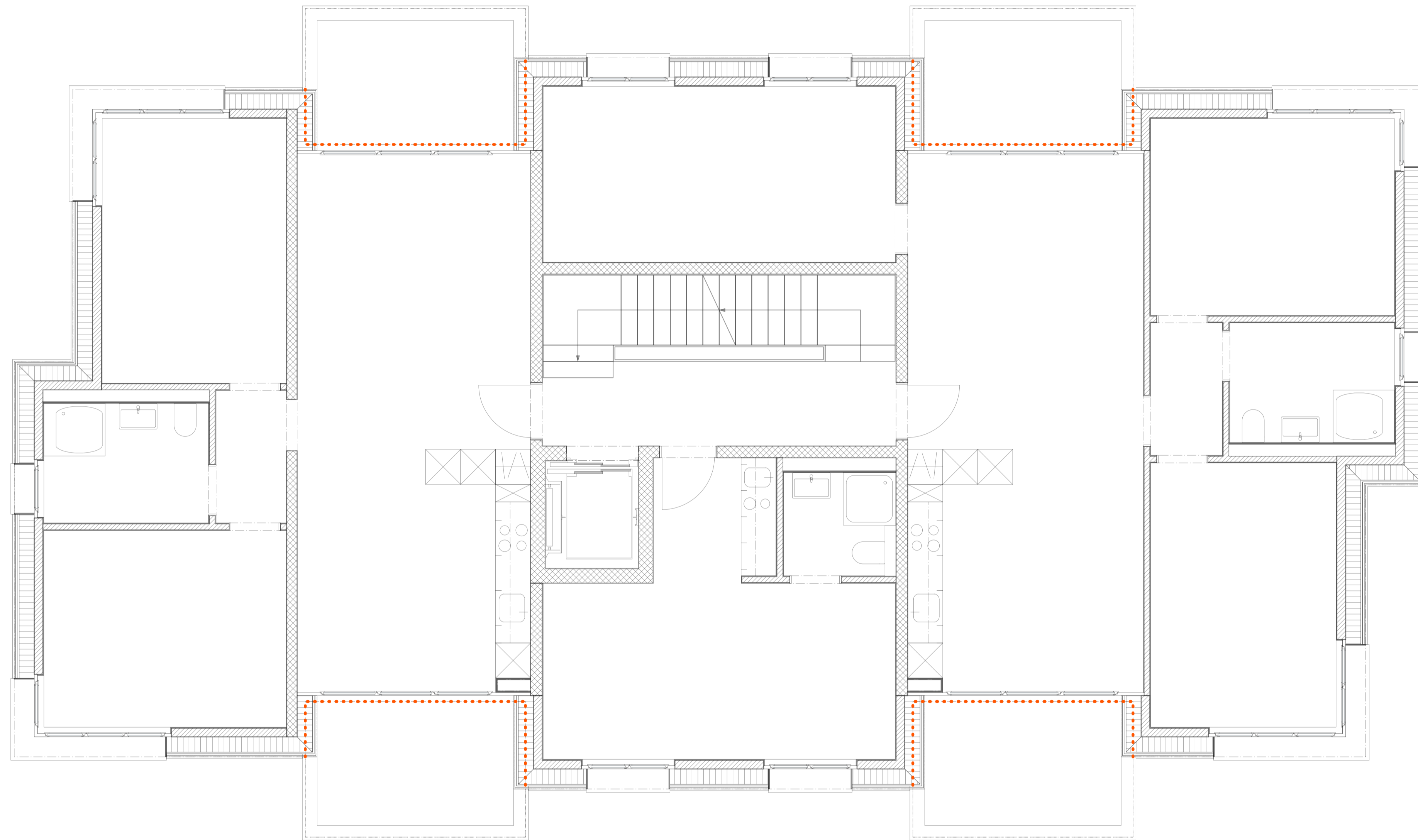
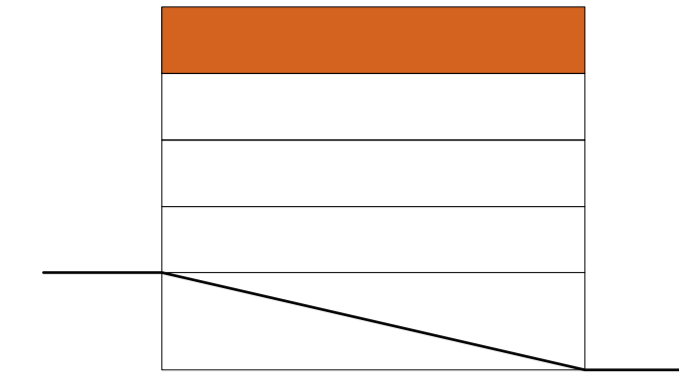
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Bauteilflächen nach SIA 380: 1.OG**  
Massstab 1:50  
Planformat A2  
Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022



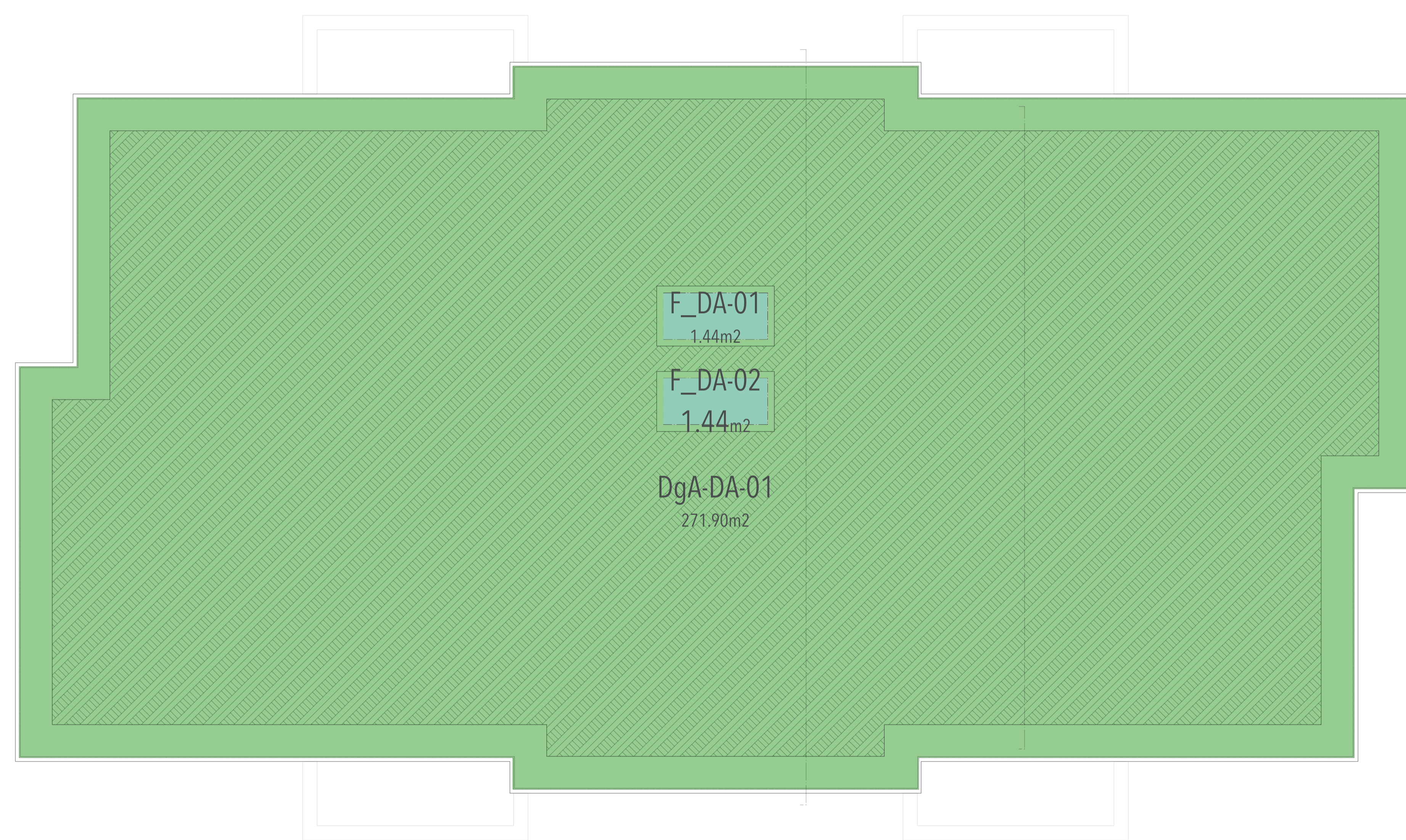
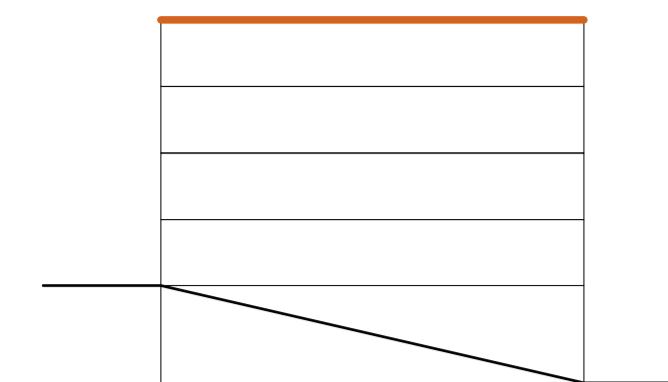
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Bauteilflächen nach SIA 380: 2.OG**  
Massstab 1:50  
Planformat A2  
Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

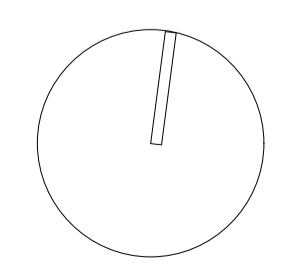
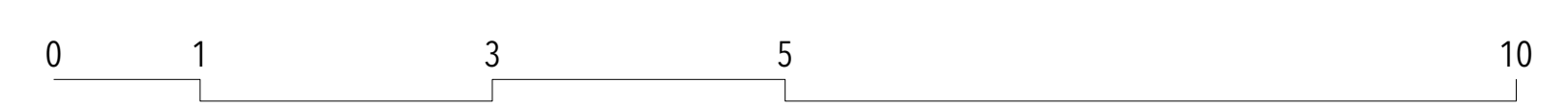
Plan **Bauteilflächen nach SIA 380: 3.OG**  
Massstab 1:50  
Planformat A2  
Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski



F\_DA-01  
1.44m<sup>2</sup>

F\_DA-02  
1.44m<sup>2</sup>

DgA-DA-01  
271.90m<sup>2</sup>





**Anhang 3: Investitionswertberechnung (DCF)**

# BEWERTUNGSBERICHT

BEWERTUNG	VARIANTE	Basis
KAPITALWERT MASSIVBAUWEISE	PER: 01.01.2023	CHF 2'400'000
KAPITALWERT HOLZBAUWEISE	PER: 01.01.2023	CHF 1'200'000



OBJEKT	<b>Mehrfamilienhaus</b>
ADRESSE	Studhaldenhöhe 12a
ORT	6005 Luzern
KOORDINATEN [LAT/LON]	47.036, 8.326
EGRID	CH613592508832
EGID	
EIGENTÜMER	

BEARBEITUNG	Stefan Kiener	DATUM	31.08.2022
-------------	---------------	-------	------------

## KOSTEN

BAUKOSTEN		MASSIVBAUWEISE			HOLZBAUWEISE		
		MENGE	Kostenbenchmark	[CHF]	MENGE	Kostenbenchmark	[CHF]
1	<b>VORBEREITUNGSARBEITEN</b>	5.0%		134'334	5.0%		165'375
2	<b>GEBÄUDE</b>	746	3'600	2'686'680	735	4'500	3'307'500
	TIEFGARAGE			0			0
	KELLER / NEBENRÄUME UG			0			0
	WOHNEN MIETWOHNUNGSSTANDARD			0			0
	WOHNEN EIGENTUMSSTANDARD			0			0
	BÜRO / GEWERBE (GRUNDAUSBAU)			0			0
	VERKAUF / RETAIL (GRUNDAUSBAU)			0			0
	HOTEL **** (OHNE AUSSTATTUNG)			0			0
3	<b>BETRIEBSEINRICHTUNG</b>	0		0	0		0
4	<b>UMGEBUNG</b>		Kosten gem GKS	250'000		Kosten gem GKS	250'000
5	<b>BAUNEKENKOSTEN</b>	5.0%		153'551	5.0%		186'144
6	<b>HONORARE PLANER UND SPEZIALISTEN</b>	13.0%		399'232	13.0%		483'974
7	<b>HONORARE TU</b>	12.0%		368'522	12.0%		446'745
1-7	BAUKOSTEN EXKL. MWST.			3'992'318			4'839'738
	MWST.	7.7%		307'409	7.7%		372'660
	<b>BAUKOSTEN INKL. MWST.</b>			<b>4'299'727</b>			<b>5'212'397</b>
<b>BEWIRTSCHAFTUNGSKOSTEN (OPEX)</b>				[%/A]			[%/A]
<b>BETRIEBSKOSTEN &amp; UNTERHALTSKOSTEN</b>				6.1%			6.1%
	VERWALTUNGSKOSTEN (A <sub>v</sub> )		Anteil Sollmietertrag	3.60%		Anteil Sollmietertrag	3.60%
	BETRIEBSKOSTEN (A <sub>B</sub> )		Anteil Sollmietertrag	2.50%		Anteil Sollmietertrag	2.50%
<b>INSTANDSETZUNGSKOSTEN (CAPEX)</b>				[%/A]			[%/A]
	<b>INSTANDSETZUNGSINVESTITION (I<sub>q</sub>)</b>		Anteil Investitionskosten	0.70%		Anteil Investitionskosten	0.70%

# SYNTHETISCHES ZINSSATZMODELL

## BASISZINSSATZ

RISIKOLOSER ZINSSATZ	FPRE: August 22	1.78%
----------------------	-----------------	-------

## LOKALER NACHFRAGEÜBERHANG

GROSSER NACHFRAGEÜBERHANG		
MITTLERER NACHFRAGEÜBERHANG		
KEIN NACHFRAGEÜBERHANG	kein erheblicher Nachfrageüberhang	0.30%
LEICHTES ÜBERANGEBOT		
GROSSES ÜBERANGEBOT		

## LAGESPEZIFISCHE ZUSCHLÄGE INNERHALB MAKROLAGE

BESTE LAGE		
GUTE LAGE	gute-sehr gute Mietlage	0.05%
DURCHSCHNITTLICHE LAGE		
UNTERDURCHSCHNITTLICHE LAGE		
STARK BENACHTEILIGTE LAGE		

## OBJEKTSPEZIFISCHE ZUSCHLÄGE (NUTZUNGSART)

WOHNEN	Wohnen	0.30%
BÜRO		
VERKAUF		
GEWERBE		
INDUSTRIE		
LAGER UND LOGISTIK		
GASTRONOMIE		
HOTEL		

## IMMOBILITÄTSZUSCHLAG

BESTE VERKÄUFLICHKEIT	gute Verkäuflichkeit	0.05%
LEICHT ERSCHWERTE VERKÄUFLICHKEIT		
ERSCHWERTE VERKÄUFLICHKEIT		
SEHR SCHWIERIGE VERKÄUFLICHKEIT		

## KORREKTUR

ZUSCHLAG / ABSCHLAG		0.00%
---------------------	--	-------

## RISIKOAJUSTIERTER ZINSSATZ

NETTOZINSSATZ REAL		2.48%
--------------------	--	-------

### 34 Minimale Diskontierungssätze für Mehrfamilienhäuser in der Schweiz (netto, real)

Bewerter / Firma	A	B	C	D	E	F	G	H	Ø
Stand: 15.08.2022	1.50	1.70	1.75	1.80	1.80	1.80	1.85	2.00	1.78
Veränderung ggü. Vormonat	→	→	→	↗	→	→	→	→	↗

Anmerkung: Mittelgrosses MFH mit Mietwohnungen, praktisch Neubau, ohne ungünstige Eigenschaften, Top Stadtquartier in Zürich, Top Mikrolage; Die angegebenen Diskontierungssätze sind aufsteigend sortiert. Es kann somit nicht auf die Quelle geschlossen werden.

Pfeile: Veränderung des Diskontierungssatzes der jeweiligen Firma im Vergleich zum Vorquartal. Interpretation: ↗ (Erhöhung gegenüber Vorquartal), ↘ (Senkung gegenüber Vorquartal), ↑ (starke Erhöhung gegenüber Vorquartal), ↓ (starke Senkung gegenüber Vorquartal), → (Wert vom Vorquartal beibehalten).

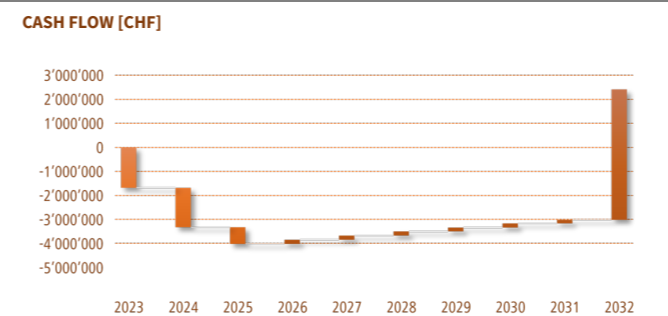
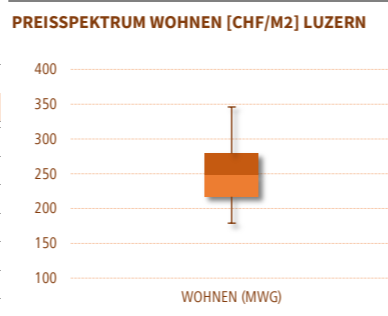
Hinweis: Sämtliche Bewerter weisen auf die gegenwärtig erhöhte Bewertungsunsicherheit hin.

Quelle: CBRE, EY, FPRE, JLL, PWC, SPGI ZH, ZBI, ZKB (alphabetisch aufgeführt).

# INVESTITIONSWERTBERECHNUNG (Massivbauweise)

OBJEKT	Mehrfamilienhaus	KATASTERNUMMER	1379	BESTANDSGEBÄUDE		BRUTTORENDITE (EXIT)	0.00%	4.88%	<b>KAPITALWERT PER: 01.01.2023</b>
EGRID	CH613592508832	PARZELLENFLÄCHE [M2]	1'508	GEBÄUDEVERSICHERUNGSWERT [CHF]		NETTORENDITE (EXIT)	-40.21%	3.88%	
ADRESSE	Studhaldenhöhe 12a	NUTZUNGSZONE		BAUJAHR		IRR10 / IRR	-17.62%	8.83%	
PLZ ORT	6005 Luzern	EIGENTUMSFORM	Eigentum	LETZTE RENOVATION					

INPUTPARAMETER	NETTOMIETANSATZ [CHF/M2/A]	QUANTIL N. WP [%]	MIKROLAGE [1.0 - 5.0]	MIETZINSANTEIL [CHF/M2/A]
Wohnen	288.5	80%	4.5	288.50
				288.50
	ZINSSATZ [%]			KOSTEN [CHF]
KALKULATIONSZINSSATZ REAL	2.48%	ANFANGSINVESTITION [CHF]		4'299'727
KALKULATIONSZINSSATZ NOMINAL	2.48%			
KALKULATIONSZINSSATZ EXIT REAL	2.48%	VERWALTUNGSKOSTEN (A <sub>v</sub> )		3.60%
KALKULATORISCHE RESTNUTZDAUER (AB EXIT)	ewig	BETRIEBSKOSTEN (A <sub>b</sub> )		2.50%
ALLGEMEINE TEUERUNG	0.00%	INSTANDSETZUNGSINVESTITION (I <sub>s</sub> ) AB EXIT		0.70%



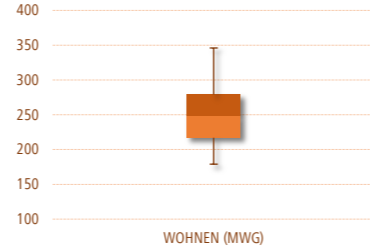
KAPITALWERT (NET PRESENT VALUE)		01.01.2023	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033-
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P11 = EXIT
INVESTITIONSWERT [CHF] (NET PRESENT VALUE)		2'411'000	-1'687'000	-1'638'000	-698'000	179'000	174'000	170'000	166'000	162'000	158'000	5'425'000	
EXIT VALUE												5'271'000	
BARWERT			-1'687'000	-1'638'000	-698'000	179'000	174'000	170'000	166'000	162'000	158'000	154'000	
<b>CASH FLOW (= NETTOERTRAG)</b>			<b>-1'729'000</b>	<b>-1'720'000</b>	<b>-751'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>197'000</b>	<b>167'000</b>
<b>ERTRAG IST (= BRUTTOERTRAG)</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>107'654</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>	<b>209'925</b>
	MENGE [Stk.]; [m2]	INDEXIERUNG [%]	NUTZWERTANSATZ [CHF/M2],[CHF/m2/a]	ERTRAG [CHF/a]	ERTRAG [%]								
MIETERTRAG SOLL	746			215'308	100.0%	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308
Wohnen	746	90.0%	288.5	215'308	100.0%	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308	215'308
ERTRAGSMINDERUNGEN				215'308		215'308	107'654	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383
TEMPORÄRER LEERSTAND (% VON SOLLMIETEINNAHMEN)				215'308		215'308	107'654	0	0	0	0	0	0
Wohnen				0.0%		100.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
[%]						100.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
SOCKELLEERSTAND (% VON SOLLMIETEINNAHMEN)				0		0	0	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383
Wohnen				2.5%		0.0%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
[%]						0.0%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
MINDERUNG MARKTMIETE				0		0	0	0	0	0	0	0	0
WEITERE ERTRÄGE				0		0	0	0	0	0	0	0	0
VERKAUFSERLÖS				0		0	0	0	0	0	0	0	0
HEIMFALLENTSCHÄDIGUNG				0		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>KOSTEN</b>				<b>1'729'350</b>		<b>1'719'891</b>	<b>858'237</b>	<b>13'134</b>	<b>13'134</b>	<b>13'134</b>	<b>13'134</b>	<b>13'134</b>	<b>43'232</b>
BEWIRTSCHAFTUNGSKOSTEN				0		0	7'751	13'134	13'134	13'134	13'134	13'134	13'134
VERWALTUNGSKOSTEN (A <sub>v</sub> )				0		0	7'751	7'751	7'751	7'751	7'751	7'751	7'751
[%]						3.60%	0.0%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%
BETRIEBSKOSTEN (A <sub>b</sub> )				0		0	0	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383	5'383
[%]						2.50%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
INVESTITIONSKOSTEN				4'299'728		1'729'350	1'719'891	850'486	0	0	0	0	30'098
ANFANGSINVESTITION (I)				1'729'350		1'719'891	850'486	0	0	0	0	0	0
				100.0%		40.2%	40.0%	19.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ERWEITERUNGSINVESTITION (I <sub>e</sub> )				0		0	0	0	0	0	0	0	0
INSTANDSETZUNGS- UND ERNEUERUNGSINVESTITION (I <sub>s</sub> )				0		0	0	0	0	0	0	0	30'098
WEITERE KOSTEN				0		0	0	0	0	0	0	0	0
ABSCHREIBUNG				0		0	0	0	0	0	0	0	0
BAURECHTSZINSEN				0		0	0	0	0	0	0	0	0

# INVESTITIONSWERTBERECHNUNG (Holzbauweise)

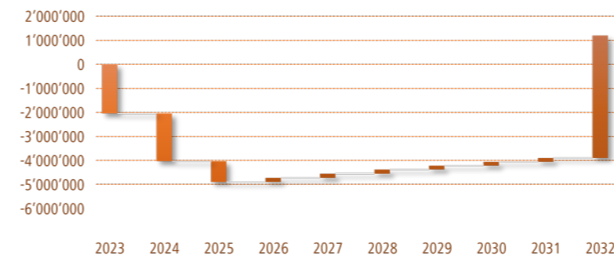
OBJEKT	Mehrfamilienhaus	KATASTERNUMMER	1379	BESTANDSGEBÄUDE		BRUTTORENDITE (EXIT)	0.00%	3.97%	KAPITALWERT PER: 01.01.2023
EGRID	CH613592508832	PARZELLENFLÄCHE [M2]	1'508	GEBÄUDEVERSICHERUNGSWERT [CHF]		NETTORENDITE (EXIT)	-40.21%	3.01%	
ADRESSE	Stadhaldenhöhe 12a	NUTZUNGSZONE		BAUJAHR		IRR10 / IRR	-20.44%	5.40%	CHF 1'200'000
PLZ ORT	6005 Luzern	EIGENTUMSFORM	Eigentum	LETZTE RENOVATION					

INPUTPARAMETER	NETTOMIETANSATZ [CHF/M2/A]	QUANTIL N. WP [%]	MIKROLAGE [1.0 - 5.0]	MIETZINSANTEIL [CHF/M2/A]
Wohnen	288.5	80%	4.5	288.50
				288.50
KOSTEN				
ZINSSATZ				[CHF]
				[%]
KALKULATIONSZINSSATZ REAL	2.48%	ANFANGSINVESTITION [CHF]		
KALKULATIONSZINSSATZ NOMINAL	2.48%	[CHF]		
KALKULATIONSZINSSATZ EXIT REAL	2.48%	[CHF]		
KALKULATORISCHE RESTNUTZDAUER (AB EXIT)	ewig	VERWALTUNGSKOSTEN (A <sub>v</sub> )		
ALLGEMEINE TEUERUNG	0.00%	BETRIEBSKOSTEN (A <sub>b</sub> )		
		INSTANDESETZUNGSINVESTITION (I <sub>1</sub> ) AB EXIT		
		0.70%		

PREISSPEKTRUM WOHNEN [CHF/M2] LUZERN



CASH FLOW [CHF]

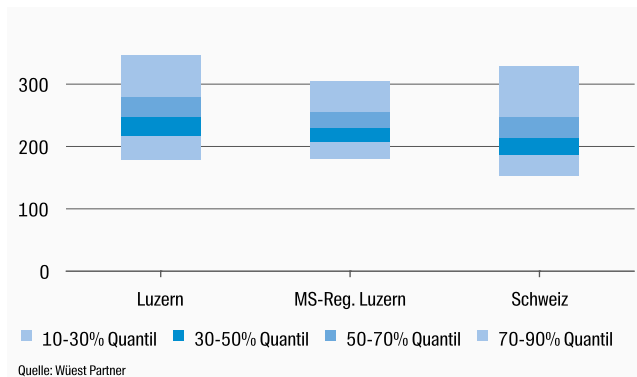


KAPITALWERT (NET PRESENT VALUE)	01.01.2023											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033-	
	0											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P11 = EXIT	
INVESTITIONSWERT [CHF] (NET PRESENT VALUE)	1'203'000											-2'045'000	-1'985'000	-867'000	176'000	172'000	167'000	163'000	159'000	156'000	152'000	4'955'000	
EXIT VALUE																							
BARWERT												-2'045'000	-1'985'000	-867'000	176'000	172'000	167'000	163'000	159'000	156'000	152'000		
CASH FLOW (= NETTOERTRAG)												-2'096'000	-2'085'000	-933'000	194'000	194'000	194'000	194'000	194'000	194'000	194'000	194'000	157'000
ERTRAG IST (= BRUTTOERTRAG)	MENGE	INDEXIERUNG	NUTZWERTANSATZ	ERTRAG	ERTRAG	0	0	106'024	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746	206'746		
	[Stk.]; [m2]	[%]	[CHF/M2],[CHF/m2/a]	[CHF/a]	[CHF/a]																		
MIETERTRAG SOLL	735			212'048	100.0%	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	
Wohnen	735	90.0%	288.5	212'048	100.0%	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	212'048	
ERTRAGSMINDERUNGEN						212'048	212'048	106'024	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	
TEMPORÄRER LEERSTAND (% VON SOLLMIETEINNAHMEN)						212'048	212'048	106'024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wohnen						0.0%	100.0%	100.0%	50.0%	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%	
[%]						100.0%	100.0%	50.0%	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%	
SOCKELLEERSTAND (% VON SOLLMIETEINNAHMEN)						0	0	0	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	
Wohnen						2.5%	0.0%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	
[%]						0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	
MINDERUNG MARKTMIETE						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WEITERE ERTRÄGE						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VERKAUFSERLÖS						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HEIMFALLENTSCHÄDIGUNG						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>KOSTEN</b>						<b>2'096'427</b>	<b>2'084'959</b>	<b>1'038'646</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>12'935</b>	<b>49'422</b>		
BEWIRTSCHAFTUNGSKOSTEN						0	0	7'634	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	12'935	
VERWALTUNGSKOSTEN (A <sub>v</sub> )						0	0	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	7'634	
[%]						3.60%	0.0%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	
BETRIEBSKOSTEN (A <sub>b</sub> )						0	0	0	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	5'301	
[%]						2.50%	0.0%	0.0%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	
INVESTITIONSKOSTEN						5'212'398	2'096'427	2'084'959	1'031'012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36'487	
ANFANGSINVESTITION (I)						2'096'426	2'084'959	1'031'012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						100.0%	40.2%	40.0%	19.8%	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%	
ERWEITERUNGSINVESTITION (I <sub>1</sub> )						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
INSTANDESETZUNGS- UND ERNEUERUNGSINVESTITION (I <sub>2</sub> )						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36'487	
WEITERE KOSTEN						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ABSCHREIBUNG						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BAURECHTSZINSEN						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

# Preise

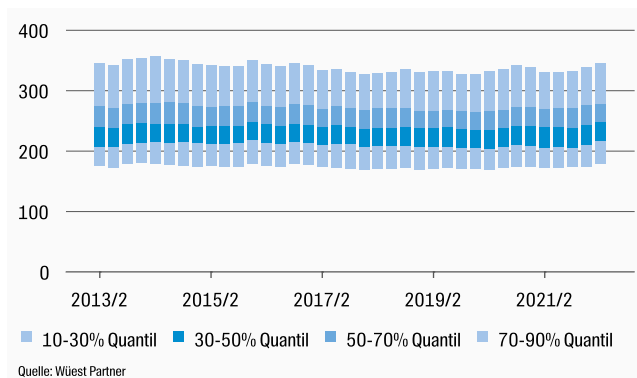
## Preisspektren Wohnen: Mietwohnungen

### Mietwohnungen: Preisspektren (Nettomiete in CHF pro m<sup>2</sup> und Jahr)



	Luzern	MS-Reg. Luzern	Schweiz
90% Quantil	346	305	329
70% Quantil	279	256	248
50% Quantil	248	230	213
30% Quantil	217	207	186
10% Quantil	179	180	153

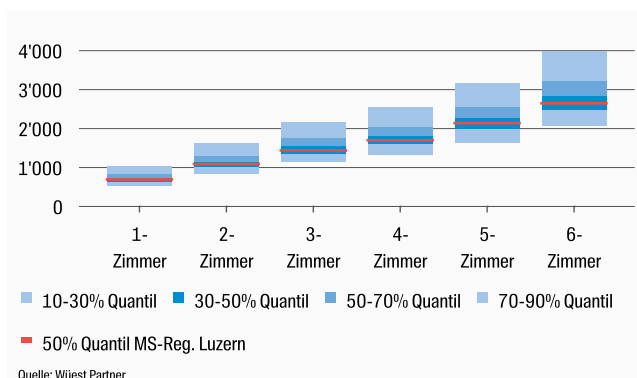
### Mietwohnungen: quartalsweise Entwicklung der Preisspektren (Nettomiete in CHF pro m<sup>2</sup> und Jahr), Luzern



	10% Quantil	30% Quantil	50% Quantil	70% Quantil	90% Quantil
2020/1	170	206	236	266	328
2020/2	170	204	236	267	333
2020/3	173	207	239	269	336
2020/4	174	210	243	273	341
2021/1	174	209	243	273	339
2021/2	172	206	240	270	331
2021/3	173	207	240	272	331
2021/4	173	206	239	272	333
2022/1	175	210	243	276	338
2022/2	179	217	248	279	346

Veränderungen zum Vorquartal (QOQ) und zum Vorjahr (YOY)					
	10% Quantil	30% Quantil	50% Quantil	70% Quantil	90% Quantil
QOQ	2.3%	3.3%	2.1%	1.1%	2.4%
YOY	4.1%	5.3%	3.3%	3.3%	4.5%

### Mietwohnungen: Preisspektren pro Objekt (Nettomiete in CHF pro Monat), Vergleich Luzern und MS-Reg. Luzern



Luzern						
	1-Zimmer	2-Zimmer	3-Zimmer	4-Zimmer	5-Zimmer	6-Zimmer
90% Quantil	1'030	1'610	2'170	2'540	3'170	3'990
70% Quantil	831	1'300	1'760	2'050	2'560	3'220
50% Quantil	737	1'150	1'560	1'820	2'270	2'860
30% Quantil	646	1'010	1'360	1'600	1'990	2'500
10% Quantil	533	833	1'130	1'320	1'640	2'070

MS-Reg. Luzern						
	1-Zimmer	2-Zimmer	3-Zimmer	4-Zimmer	5-Zimmer	6-Zimmer
90% Quantil	920	1'440	1'910	2'260	2'840	3'510
70% Quantil	773	1'210	1'600	1'900	2'390	2'950
50% Quantil	694	1'090	1'440	1'700	2'140	2'650
30% Quantil	626	981	1'300	1'540	1'930	2'390
10% Quantil	543	851	1'130	1'330	1'680	2'070

## GeoInfo Mikrolagen-Profil für Wohnnutzung

Beurteilung der Mikrolagefaktoren innerhalb der Gemeinde			Unterdurchschnittlich	Neutral	Überdurchschnittlich		
			--	-	0	+	++
<b>Gelände</b>	Hangneigung	5.9 Grad			0		
	Exposition	Nordost	--				
	Seesicht	341 Index					++
	Bergsicht	5 Sichtbare Gipfel			0		
	Sonnenscheindauer Sommer	15.3 Stunden				+	
	Sonnenscheindauer Winter	5.8 Stunden		-			
<b>Infrastruktur</b>	Zentrum	160 Meter Distanz				+	
	Schule/ Kindergarten	120 Meter Distanz					++
	Einkaufsmöglichkeit	240 Meter Distanz				+	
	Haltestelle	200 Meter Distanz				+	
	ÖV-Güteklasse	A (sehr gute Erschliessung)					++
	Erholungsraum / Natur	180 Meter Distanz				+	
	See	460 Meter Distanz				+	
	Fluss	2140 Meter Distanz		-			
<b>Immissionen</b>	Bahnlärm tagsüber	0 dB(A)					++
	Bahnlärm nachts	0 dB(A)					++
	Strassenlärm tagsüber	39 dB(A)					++
	Strassenlärm nachts	29 dB(A)					++
	Hauptstrassen	1680 Meter Distanz					++
	Bahnlinien	1260 Meter Distanz					++
	Sendeanlagen	220 Meter Distanz		-			
	Kernkraftwerken	45610 Meter Distanz			0		
	Hochspannungsleitung	2930 Meter Distanz					++
<b>Zonierung</b>	Bauzone	Wohnzone					

### Note: Beurteilung der Mikrolage relativ zur Gemeinde Luzern

<b>1: Mietwohnungen</b>	<b>4.5 - Sehr gut</b>
<b>2: Eigentumswohnungen</b>	<b>4.0 - Gut</b>
<b>3: Einfamilienhäuser</b>	<b>4.0 - Gut</b>

Die Mikrolage umfasst in der Summe eine Vielzahl an kleinräumigen Eigenschaften, die das unmittelbare Umfeld einer Immobilie charakterisieren. Die Beurteilung der Mikrolage auf der Notenskala von 1.0 (sehr schlecht) bis 5.0 (exzellent) erfolgt relativ zur Gemeinde. Innerhalb jeder Gemeinde kommt jede Mikrolagenote der Skala von 1.0 bis 5.0 vor, unabhängig davon, ob die Lagequalität der Gemeinde als Ganzes als sehr schlecht oder exzellent eingestuft wird.

### Informationen zur Abfrage

Adresse	Studhaldenhöhe 12A, Luzern, Schweiz - Gemeinde: Luzern
Koordinaten	667416/209784 (CH1903)
Datum	01.09.2022

### Datengrundlagen

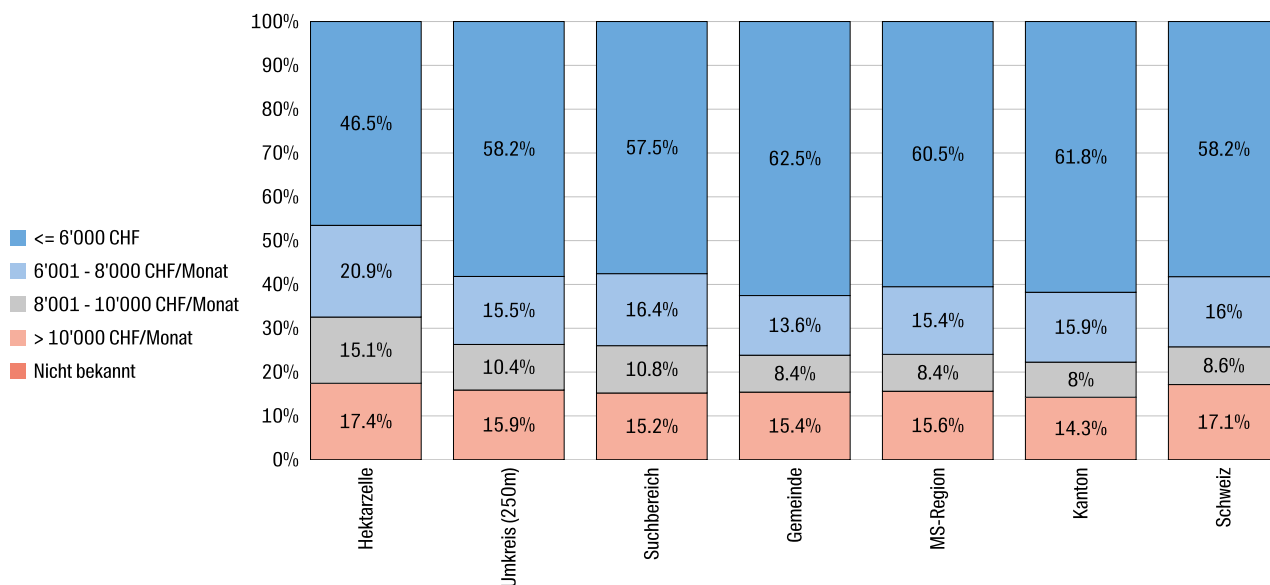
Beschreibung	Das Mikrolagenrating beurteilt die relative Güte einer Lage innerhalb der Gemeinde oder aber innerhalb der Makrolage (Gemeinde/ Quartier/ Ortschaft WP). Es handelt sich um hedonisches, GIS-gestütztes Modell, welches die Lagequalität von 25x25m-Zellen bezüglich zahlreicher räumlicher Faktoren beurteilt. Dabei erfolgt keine normative, subjektive Betrachtung, sondern eine objektive Einschätzung aufgrund messbarer, verfügbarer Eigenschaften.
Quelle	Wüest Partner AG; Aktualisierung jährlich
Erhebungsstand	2022-06-30
Letzte Aktualisierung	2022-07-15
Betreuer	daten@wuestpartner.com

### Disclaimer

Diese Daten und Informationen sind ausschliesslich zur Information bestimmt. Der Nutzer dieser Daten und Informationen trägt das Risiko für deren weitere Verwendung. Die Wüest Partner AG übernimmt für diese Daten und Informationen keine Gewähr, insbesondere nicht für ihre Vollständigkeit, Richtigkeit, Kontinuität, Verfügbarkeit und Aktualität. Jede diesbezügliche Haftung ist ausgeschlossen.



## GeoInfo Datenanalyse Haushaltseinkommen



	Hektarzelle (*)	Umkreis (250m) (*)	Suchbereich (*)	Gemeinde	MS-Region	Kanton	Schweiz
<= 6'000 CHF	40	1'057	714	32'502	73'607	125'243	2'352'053
6'001 - 8'000 CHF/Monat	18	282	204	7'076	18'789	32'331	646'726
8'001 - 10'000 CHF/Monat	13	189	134	4'378	10'235	16'252	348'162
> 10'000 CHF/Monat	15	289	189	8'020	19'011	28'890	692'794
Nicht bekannt		0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>86</b>	<b>1'817</b>	<b>1'241</b>	<b>51'976</b>	<b>121'642</b>	<b>202'716</b>	<b>4'039'735</b>

## Informationen zur Abfrage

### Ausgangsposition

Adresse	Studhaldenhöhe 12A, Luzern, Schweiz
Koordinaten	667416/209784 (CH1903)
Suchbereich	Radius [m] 200

### Filter

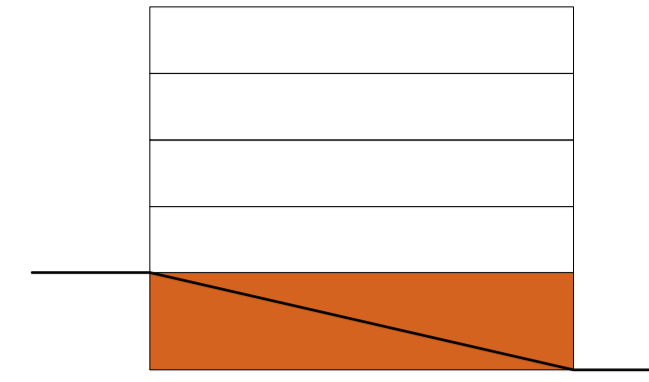
Kategorie	Anzahl Haushalte <= 6'000 CHF/Monat
-----------	-------------------------------------

(\*) Diese Zahlen beruhen auf der Auswertung der Daten auf Hektarstufe (BFS GEOSTAT). Aus Gründen des Datenschutzes werden pro Raster immer mind. 3 Personen angegeben, so dass keine Rückschlüsse auf persönliche Verhältnisse möglich sind. Dies ist zu berücksichtigen, wenn man auf diesen Aggregatsstufen die absoluten Zahlen verwendet.

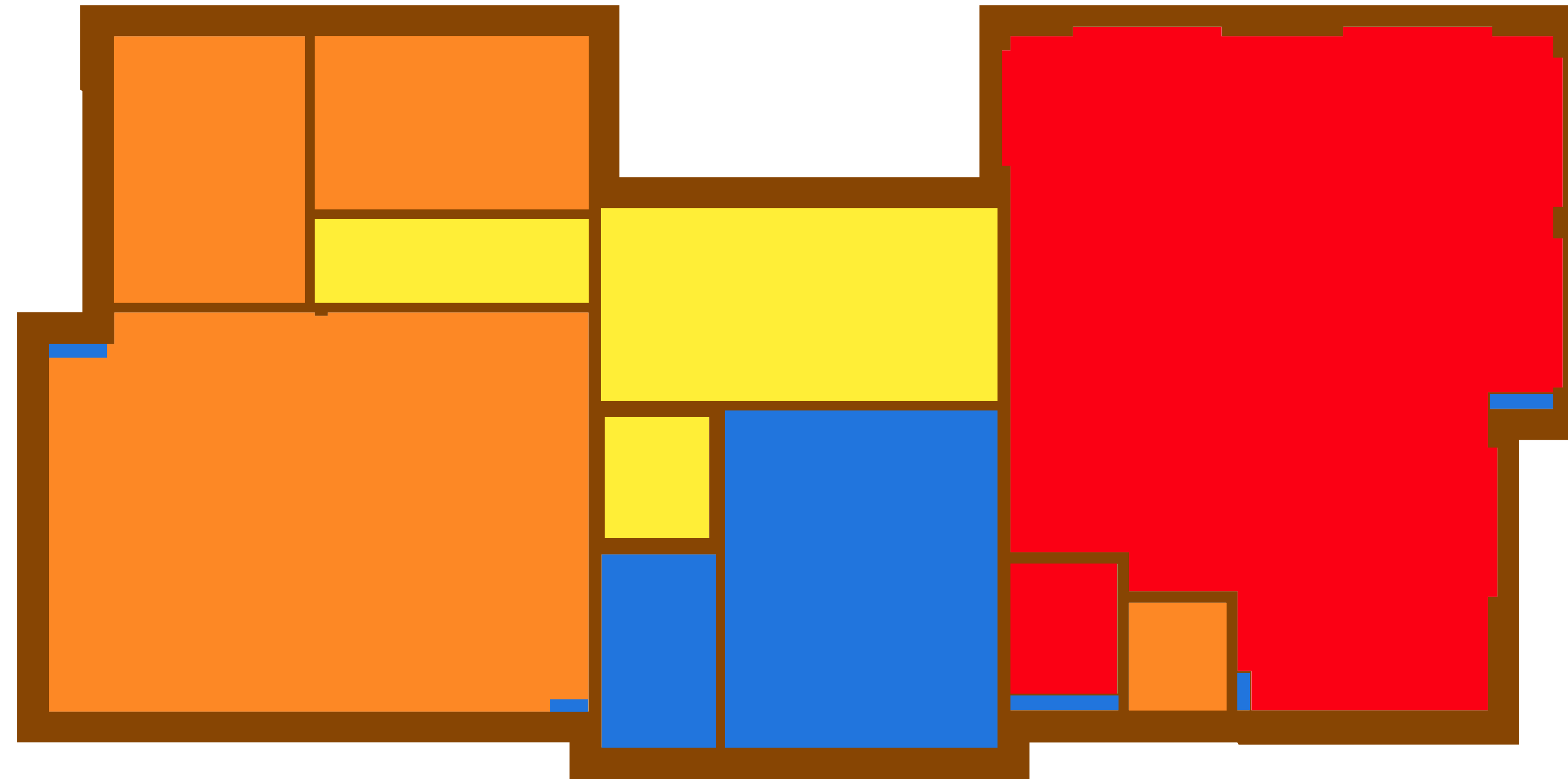
## Datengrundlagen

### Haushaltseinkommen

Beschreibung	<p>Monatliches Brutto-Haushaltseinkommen: Das Haushaltseinkommen setzt sich aus Erwerbseinkommen (selbständige oder unselbständige Arbeit), sowie Einkommen aus Vermögen, Renten und Sozialleistungen zusammen.</p> <p>Die Daten basieren auf dem Einkommens-Modell von AZ Direct. Dieses berücksichtigt neben den verschiedenen Einkommensquellen auch Beruf, Qualifikation, Funktion, Alter, Geschlecht, Region und Branche der Personen im Haushalt.</p>
Quelle	AZ Direct; Aktualisierung halbjährlich
Erhebungsstand	2022-07-31
Letzte Aktualisierung	2022-08-16
Betreuer	daten@wuestpartner.com

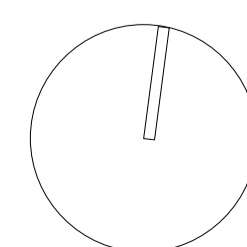
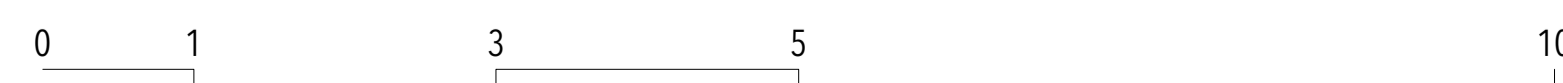


192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
191.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
91.6m <sup>2</sup>	70.2m <sup>2</sup>	40.8m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	250.4m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	75.0m <sup>2</sup>	26.2m <sup>2</sup>	27.6m <sup>2</sup>	43.7m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>746.3m<sup>2</sup></b>	<b>145.2m<sup>2</sup></b>	<b>129.4m<sup>2</sup></b>	<b>35.3m<sup>2</sup></b>	<b>227.0m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.1m<sup>2</sup></b>



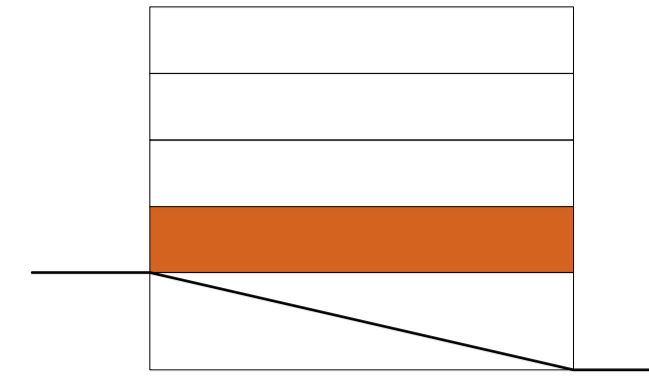
- HNF : 78.4m<sup>2</sup>
- NNF : 75.0m<sup>2</sup>
- VF : 26.2m<sup>2</sup>
- FF : 27.6m<sup>2</sup>
- KF : 43.7m<sup>2</sup>
- GF : 250.8m<sup>2</sup>

## Massivbau

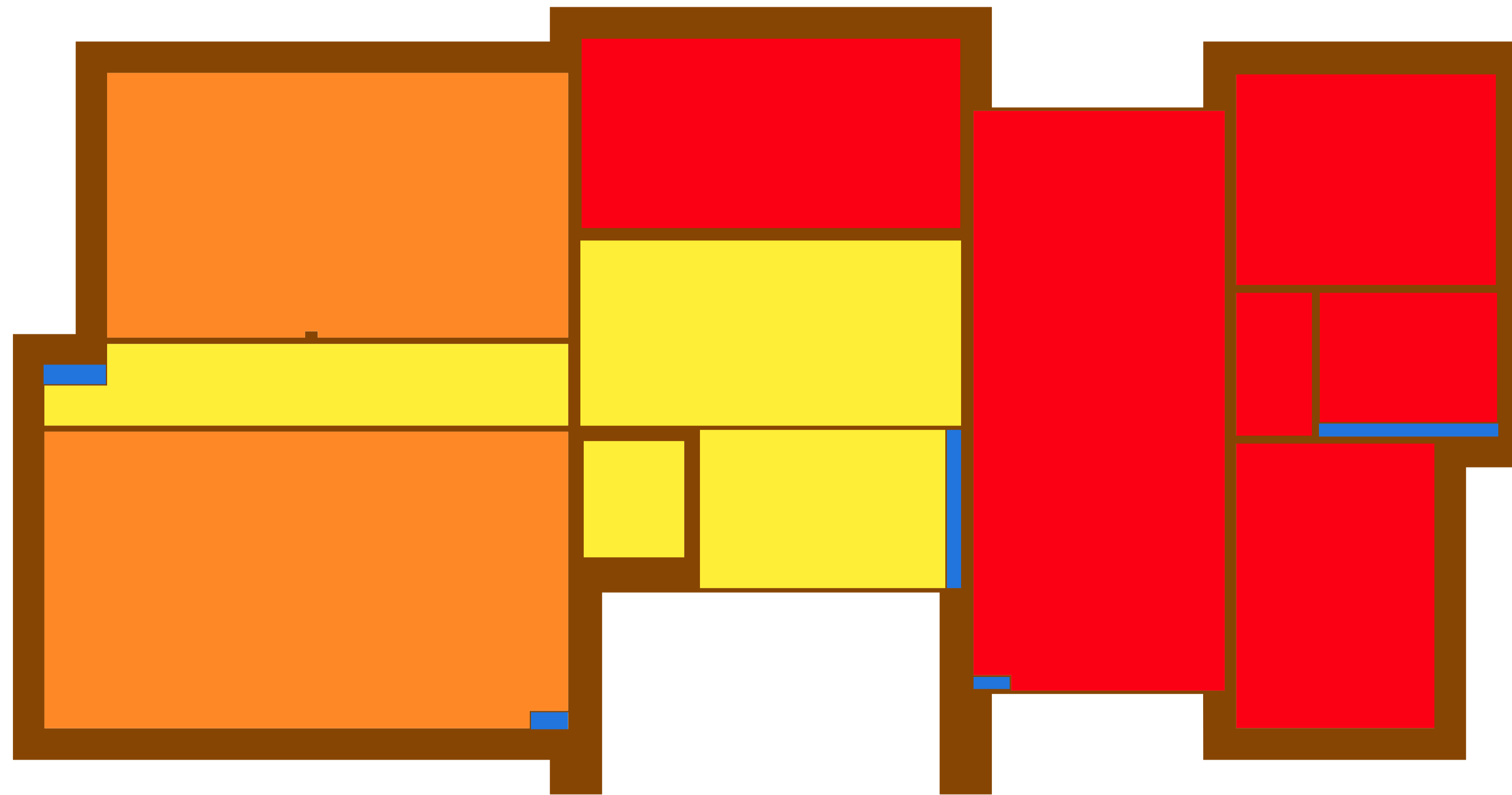


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss UG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

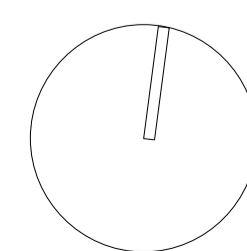
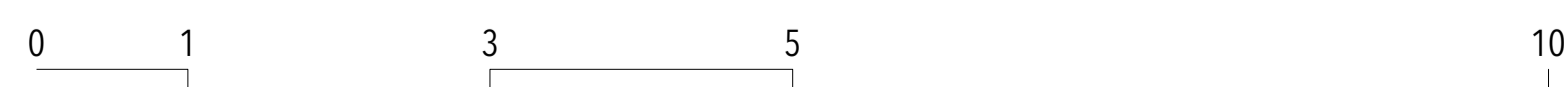


192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
191.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
91.6m <sup>2</sup>	70.2m <sup>2</sup>	40.8m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	250.4m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	75.0m <sup>2</sup>	26.2m <sup>2</sup>	27.6m <sup>2</sup>	43.7m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>746.3m<sup>2</sup></b>	<b>145.2m<sup>2</sup></b>	<b>129.4m<sup>2</sup></b>	<b>35.3m<sup>2</sup></b>	<b>227.0m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.1m<sup>2</sup></b>



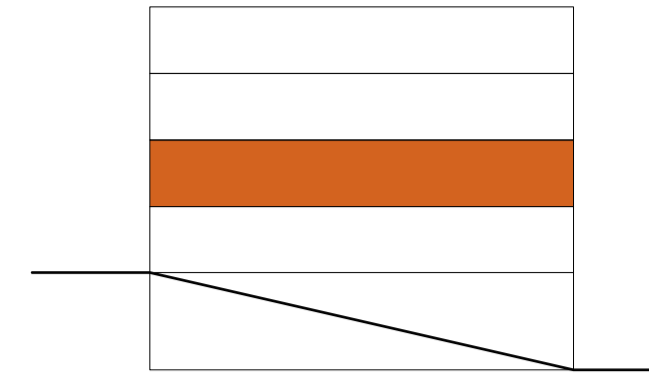
- HNF : 91.6m<sup>2</sup>
- NNF : 70.2m<sup>2</sup>
- VF : 40.8m<sup>2</sup>
- FF : 1.7m<sup>2</sup>
- KF : 46.1m<sup>2</sup>
- GF : 249.9m<sup>2</sup>

# Massivbau

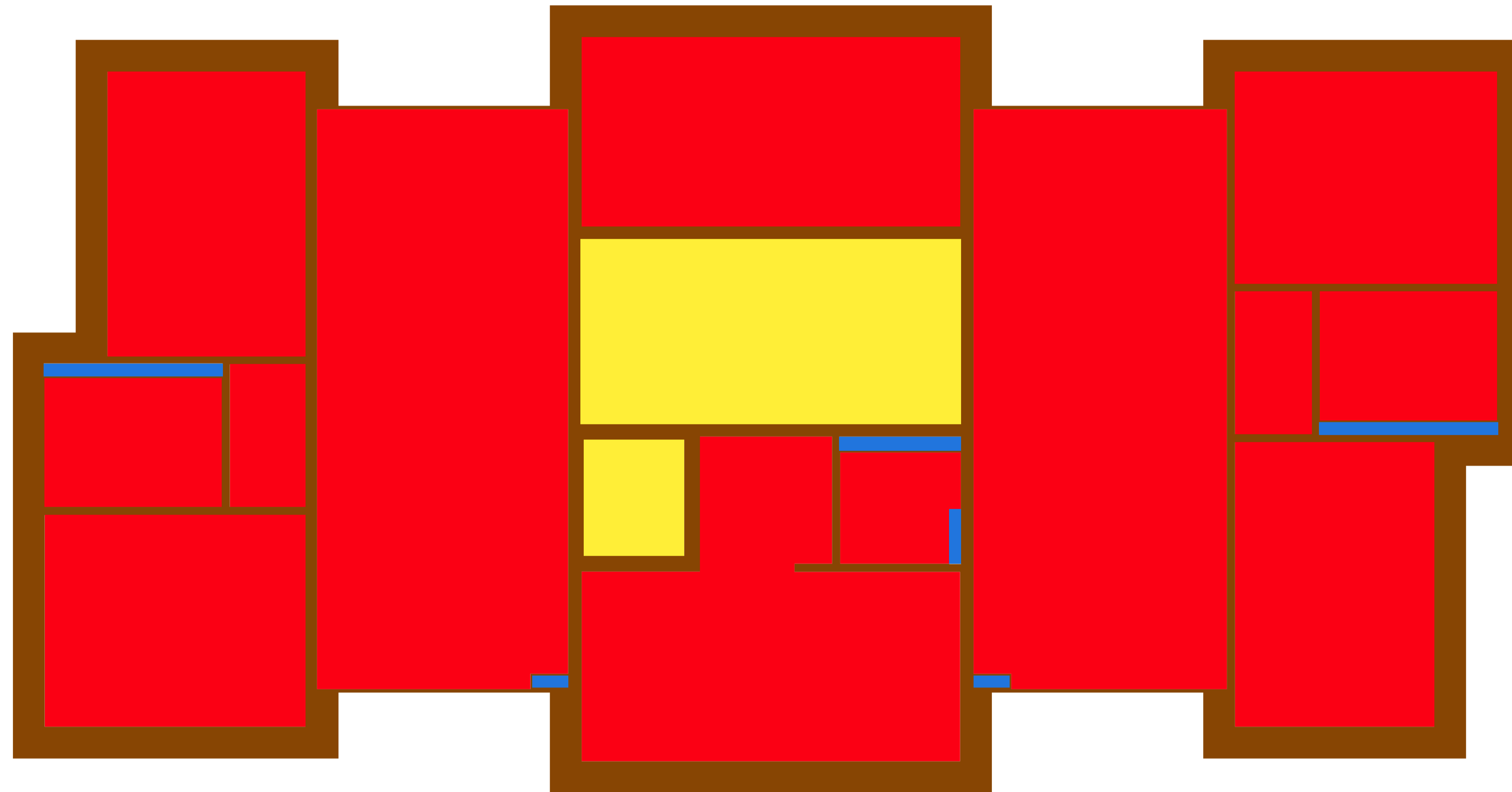


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss EG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022

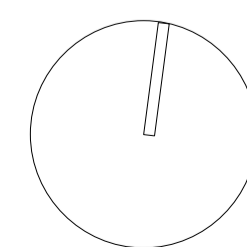
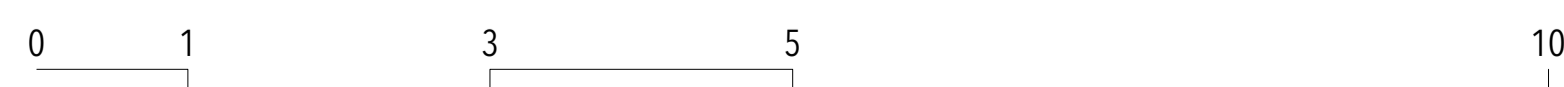


192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
191.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
91.6m <sup>2</sup>	70.2m <sup>2</sup>	40.8m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	250.4m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	75.0m <sup>2</sup>	26.2m <sup>2</sup>	27.6m <sup>2</sup>	43.7m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>746.3m<sup>2</sup></b>	<b>145.2m<sup>2</sup></b>	<b>129.4m<sup>2</sup></b>	<b>35.3m<sup>2</sup></b>	<b>227.0m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.1m<sup>2</sup></b>



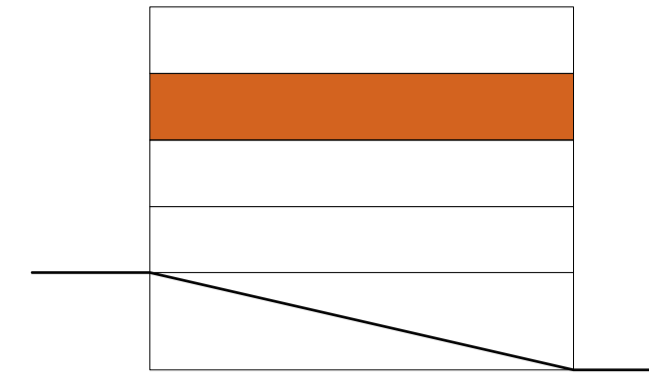
- HNF : 191.7m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.0m<sup>2</sup>
- KF : 46.1m<sup>2</sup>
- GF : 260.6m<sup>2</sup>

## Massivbau

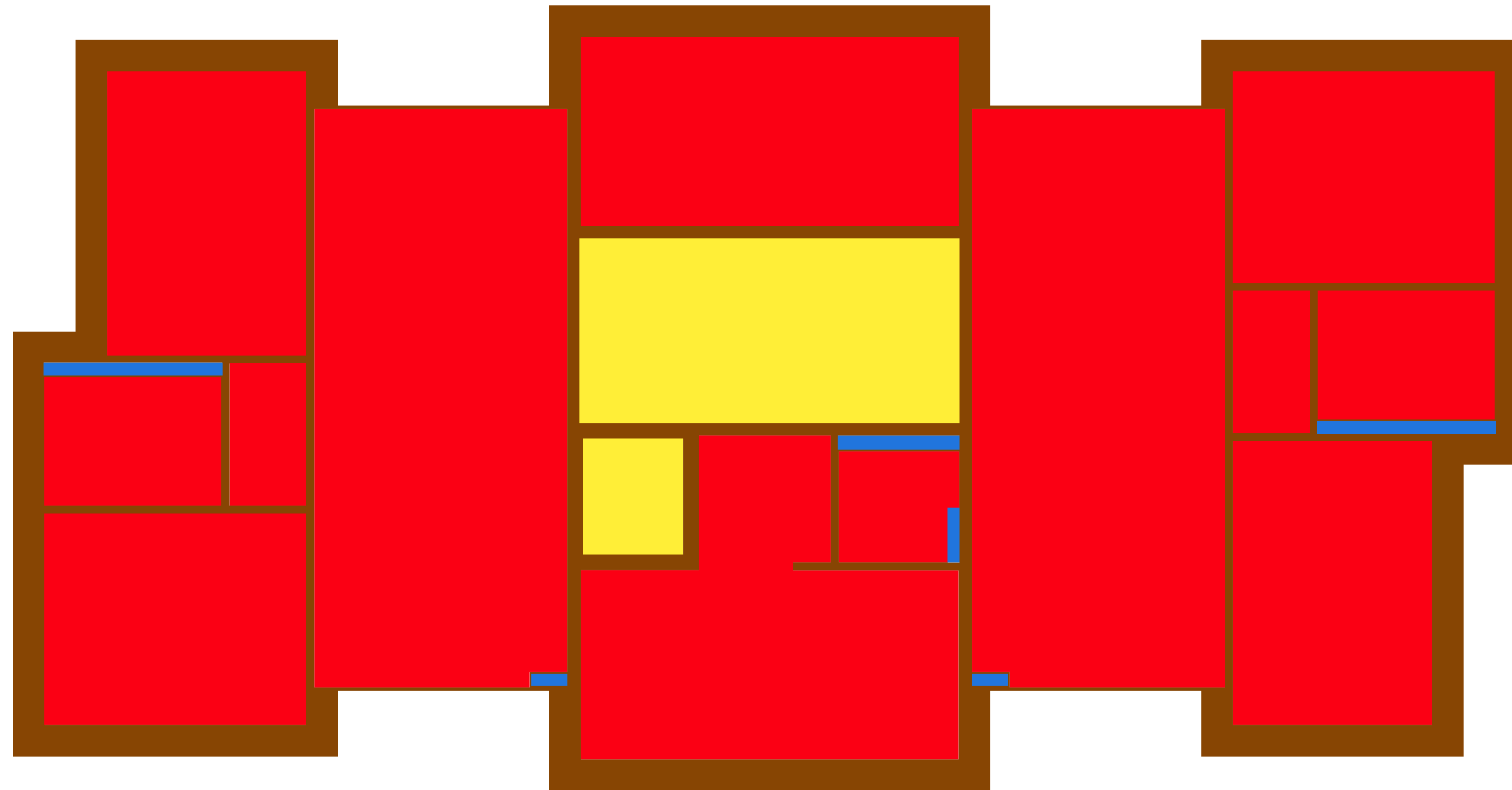


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 1.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

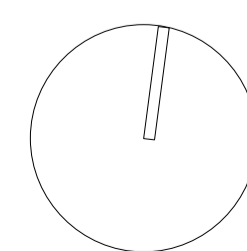
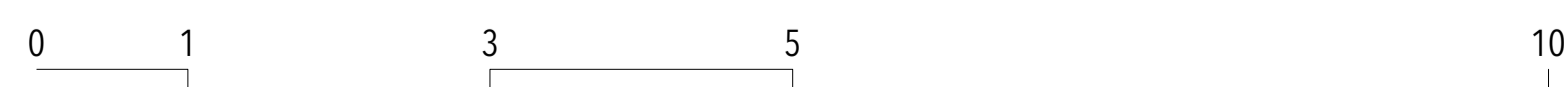


192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
191.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
91.6m <sup>2</sup>	70.2m <sup>2</sup>	40.8m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	250.4m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	75.0m <sup>2</sup>	26.2m <sup>2</sup>	27.6m <sup>2</sup>	43.7m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>746.3m<sup>2</sup></b>	<b>145.2m<sup>2</sup></b>	<b>129.4m<sup>2</sup></b>	<b>35.3m<sup>2</sup></b>	<b>227.0m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.1m<sup>2</sup></b>



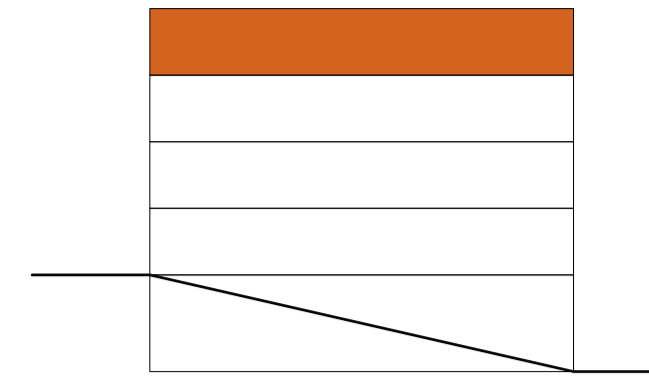
- HNF : 192.3m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.0m<sup>2</sup>
- KF : 45.6m<sup>2</sup>
- GF : 260.6m<sup>2</sup>

# Massivbau

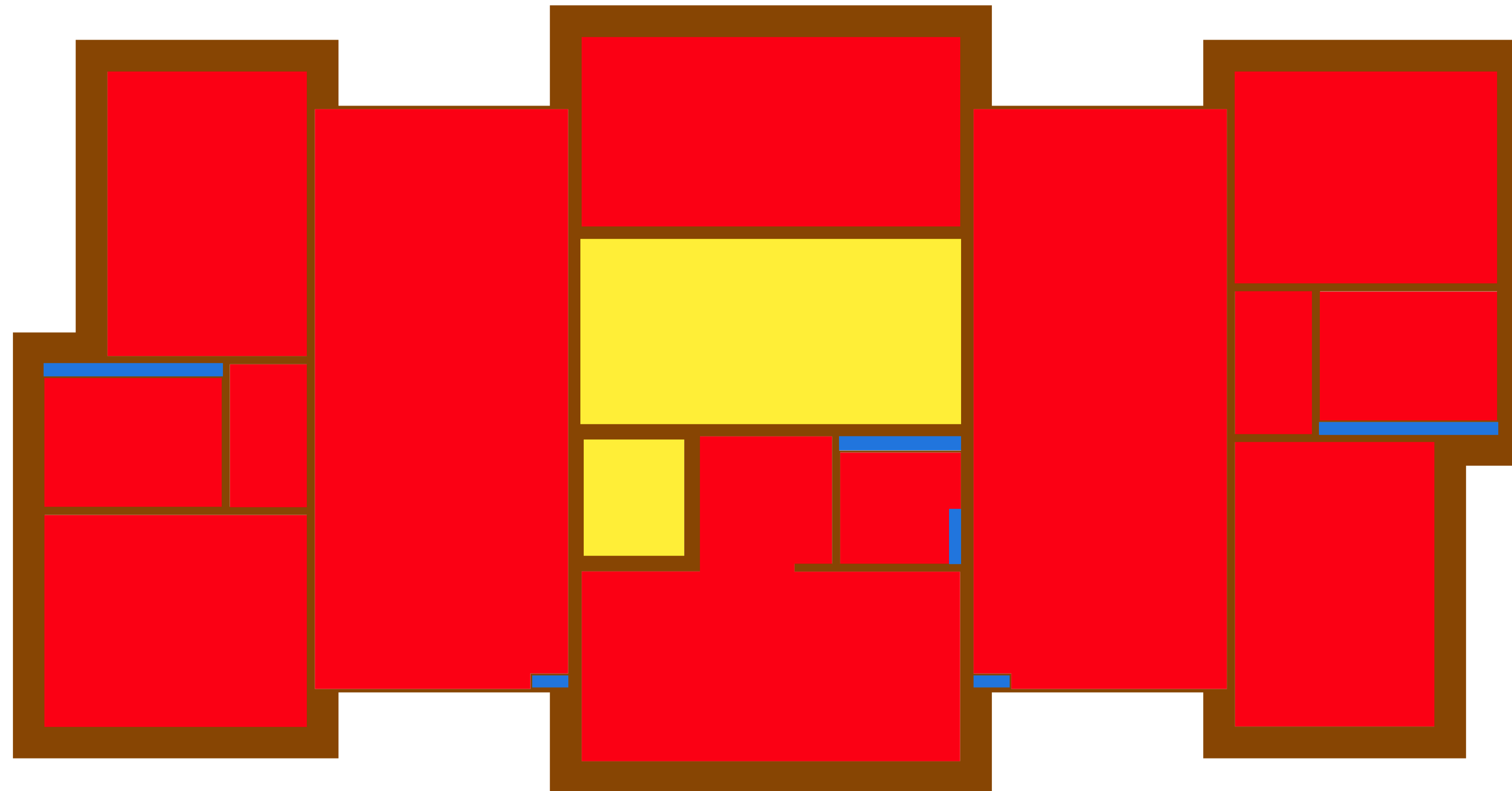


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 2.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

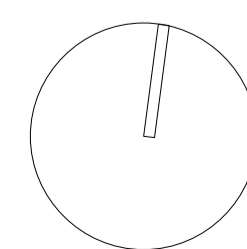
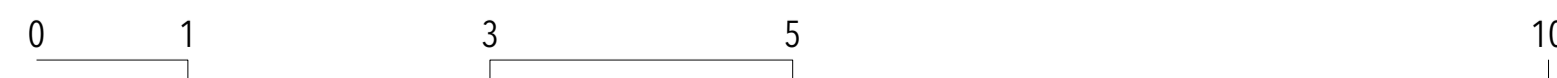


192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
192.3m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	45.6m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
191.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.0m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	260.6m <sup>2</sup>
91.6m <sup>2</sup>	70.2m <sup>2</sup>	40.8m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	46.1m <sup>2</sup>	250.4m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	75.0m <sup>2</sup>	26.2m <sup>2</sup>	27.6m <sup>2</sup>	43.7m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>746.3m<sup>2</sup></b>	<b>145.2m<sup>2</sup></b>	<b>129.4m<sup>2</sup></b>	<b>35.3m<sup>2</sup></b>	<b>227.0m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.1m<sup>2</sup></b>



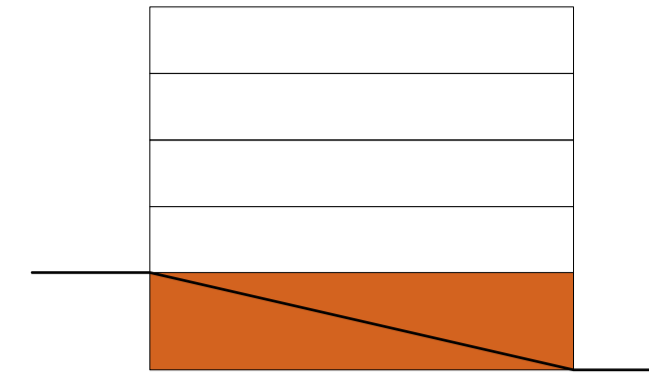
- HNF : 192.3m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.0m<sup>2</sup>
- KF : 45.6m<sup>2</sup>
- GF : 260.6m<sup>2</sup>

# Massivbau

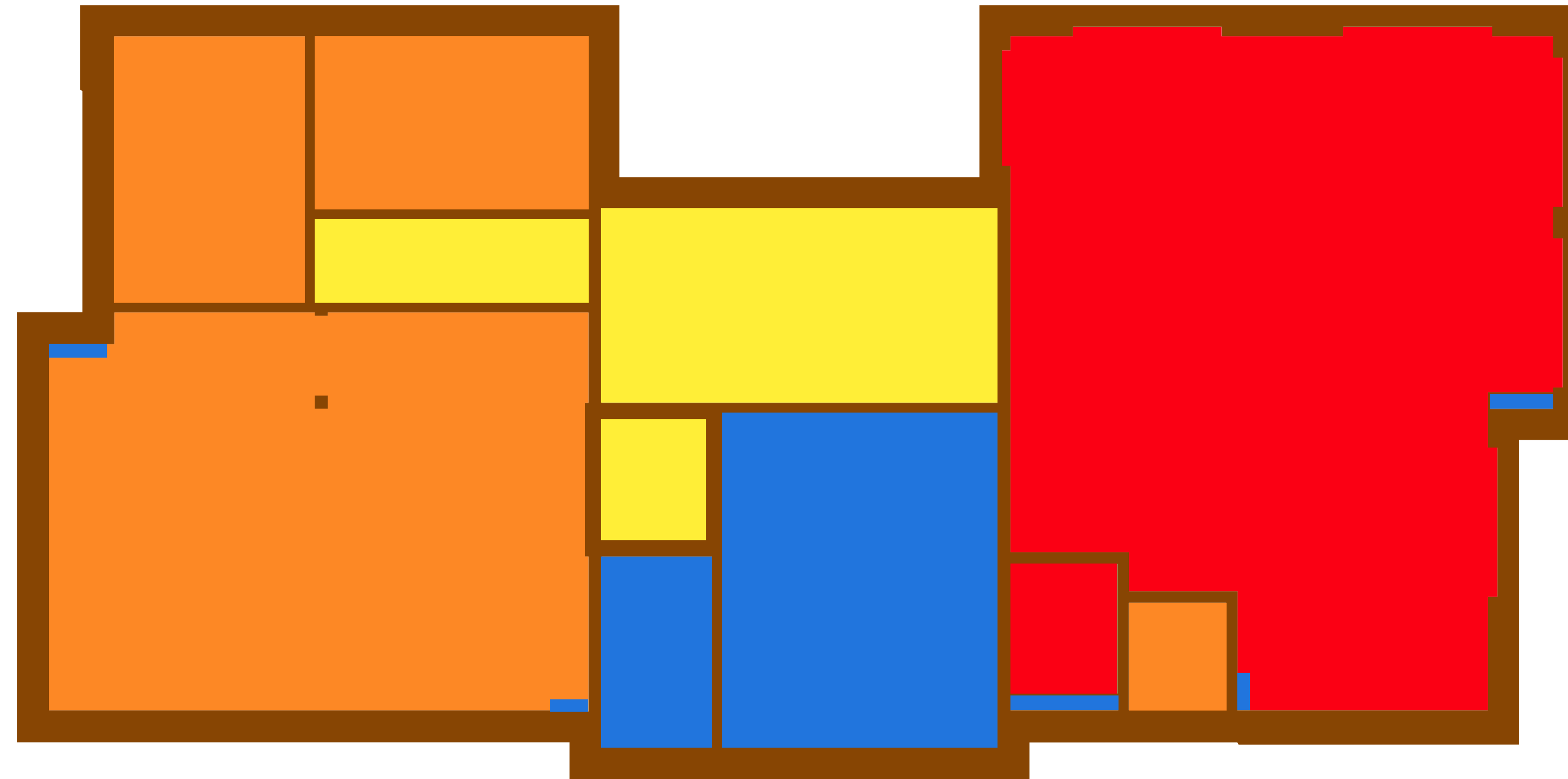


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 3.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

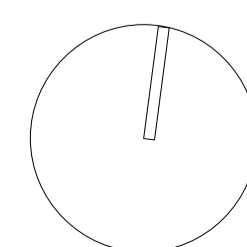
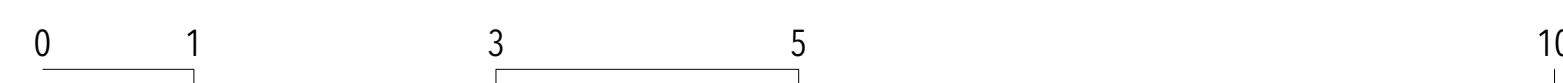


188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
90.5m <sup>2</sup>	69.1m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	48.7m <sup>2</sup>	249.3m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	74.7m <sup>2</sup>	26.4m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>	43.8m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>734.8m<sup>2</sup></b>	<b>143.8m<sup>2</sup></b>	<b>128.0m<sup>2</sup></b>	<b>35.5m<sup>2</sup></b>	<b>240.8m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.2m<sup>2</sup></b>



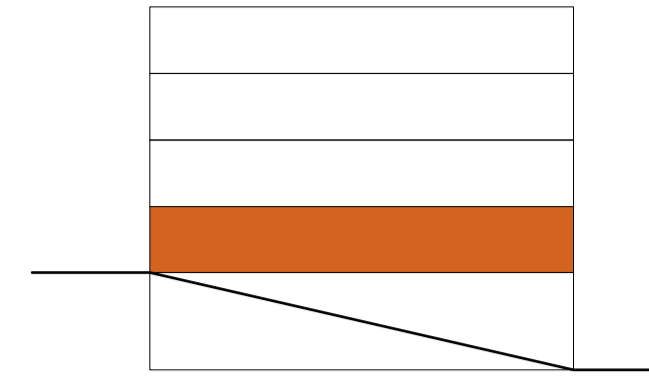
- HNF : 78.4m<sup>2</sup>
- NNF : 74.7m<sup>2</sup>
- VF : 26.4m<sup>2</sup>
- FF : 27.5m<sup>2</sup>
- KF : 43.8m<sup>2</sup>
- GF : 250.8m<sup>2</sup>

# Holzbau

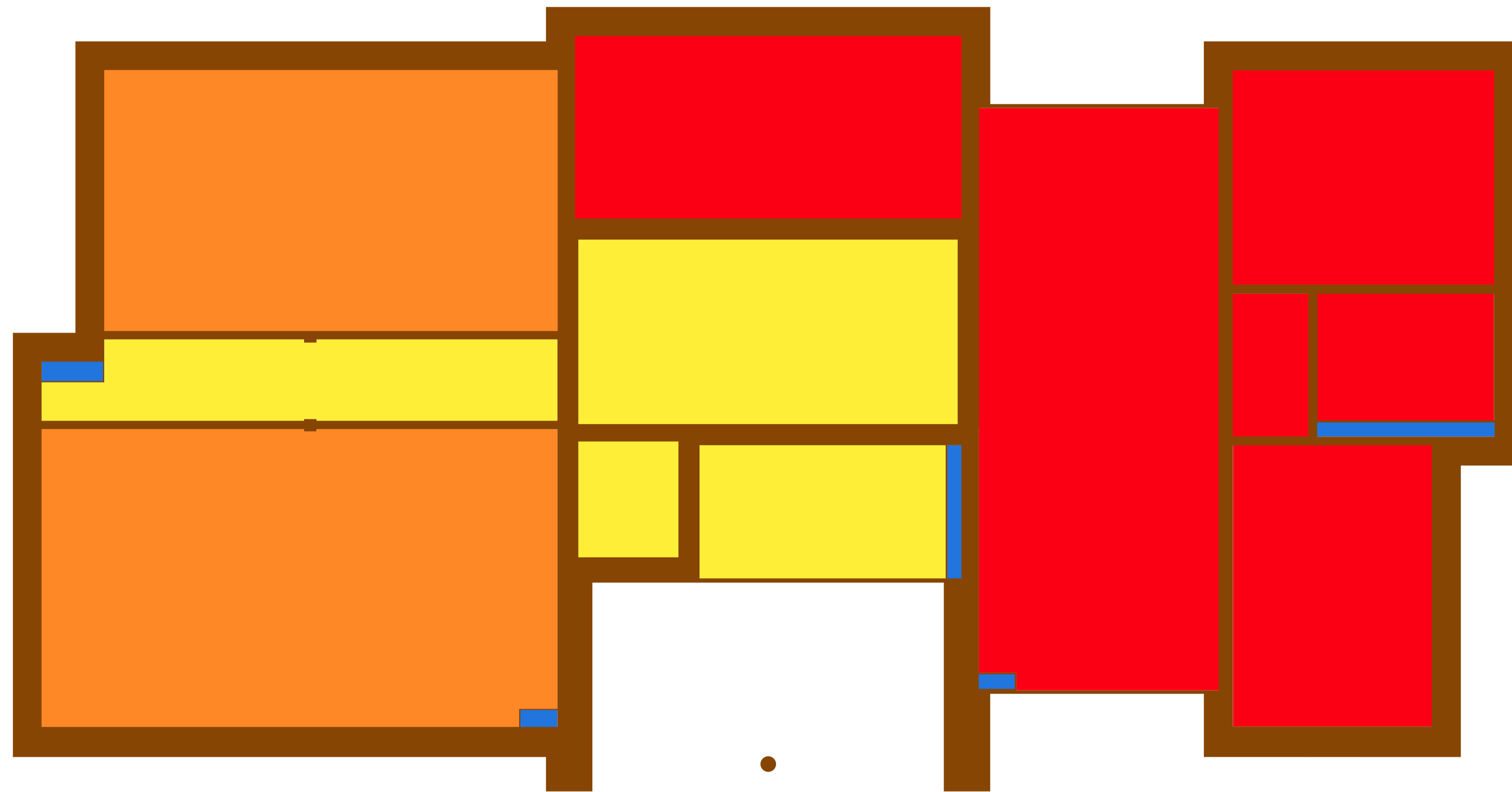


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss UG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

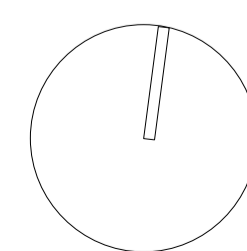
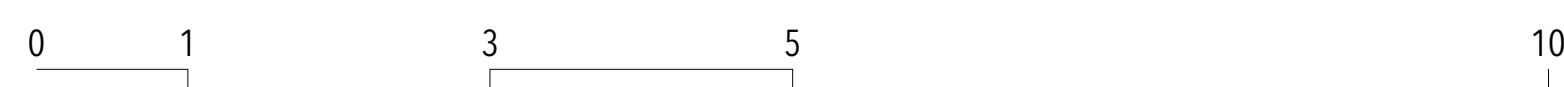


188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
90.5m <sup>2</sup>	69.1m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	48.7m <sup>2</sup>	249.3m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	74.7m <sup>2</sup>	26.4m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>	43.8m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>734.8m<sup>2</sup></b>	<b>143.8m<sup>2</sup></b>	<b>128.0m<sup>2</sup></b>	<b>35.5m<sup>2</sup></b>	<b>240.8m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.2m<sup>2</sup></b>



- HNF : 90.3m<sup>2</sup>
- NNF : 69.1m<sup>2</sup>
- VF : 39.2m<sup>2</sup>
- FF : 1.7m<sup>2</sup>
- KF : 49.0m<sup>2</sup>
- GF : 249.3m<sup>2</sup>

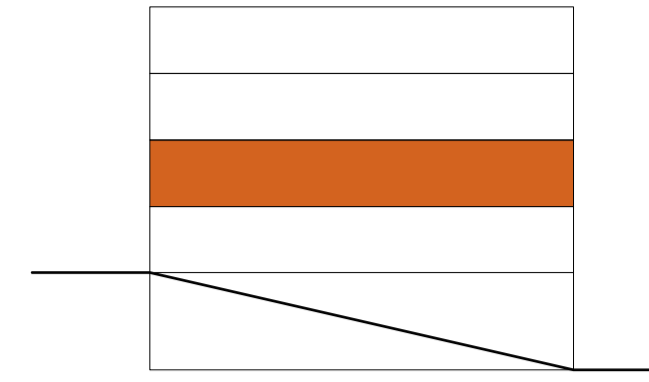
# Holzbau



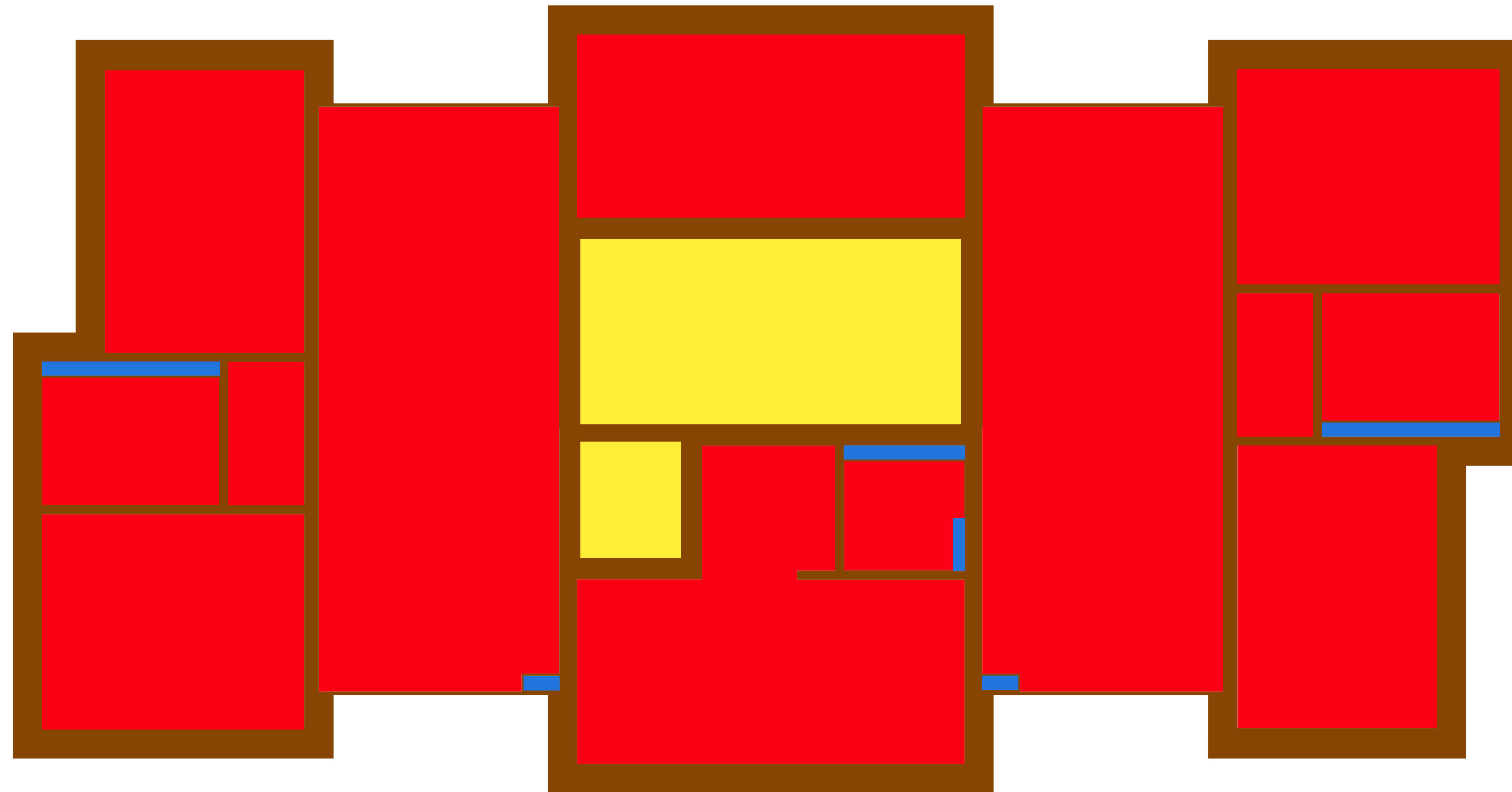
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss EG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022



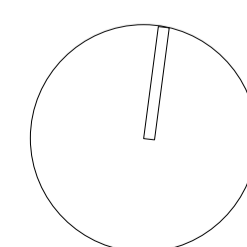
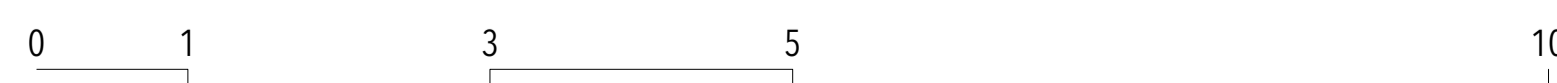


188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
90.5m <sup>2</sup>	69.1m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	48.7m <sup>2</sup>	249.3m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	74.7m <sup>2</sup>	26.4m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>	43.8m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>734.8m<sup>2</sup></b>	<b>143.8m<sup>2</sup></b>	<b>128.0m<sup>2</sup></b>	<b>35.5m<sup>2</sup></b>	<b>240.8m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.2m<sup>2</sup></b>



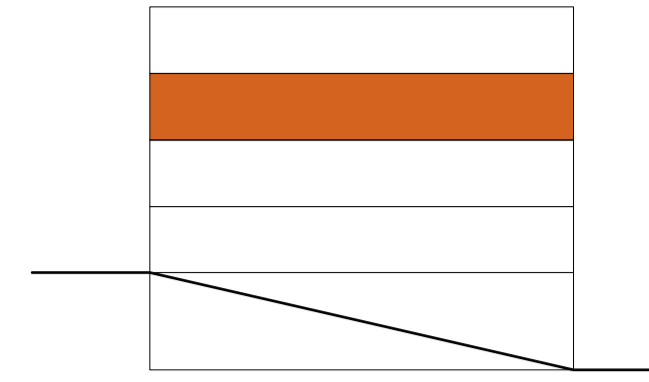
- HNF : 188.7m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.1m<sup>2</sup>
- KF : 49.5m<sup>2</sup>
- GF : 261.0m<sup>2</sup>

# Holzbau

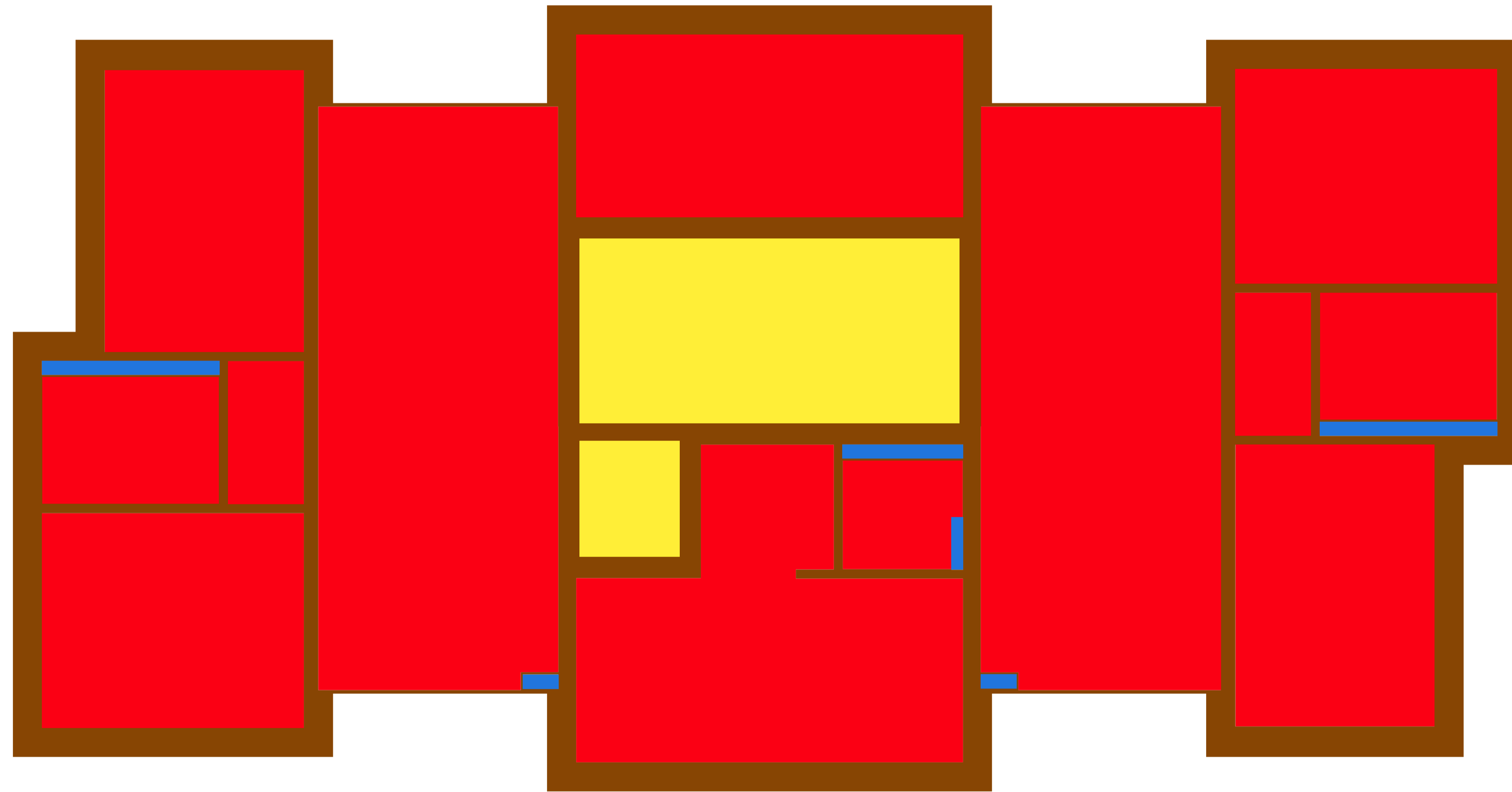


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 1.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

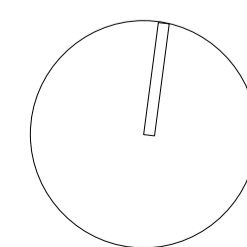
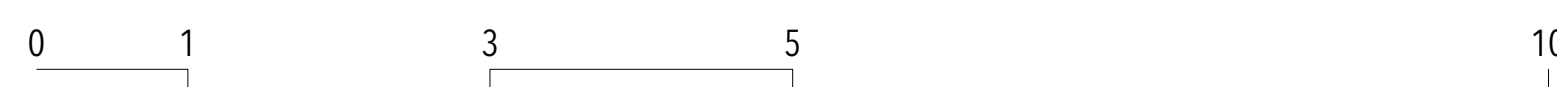


188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
90.5m <sup>2</sup>	69.1m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	48.7m <sup>2</sup>	249.3m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	74.7m <sup>2</sup>	26.4m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>	43.8m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>734.8m<sup>2</sup></b>	<b>143.8m<sup>2</sup></b>	<b>128.0m<sup>2</sup></b>	<b>35.5m<sup>2</sup></b>	<b>240.8m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.2m<sup>2</sup></b>



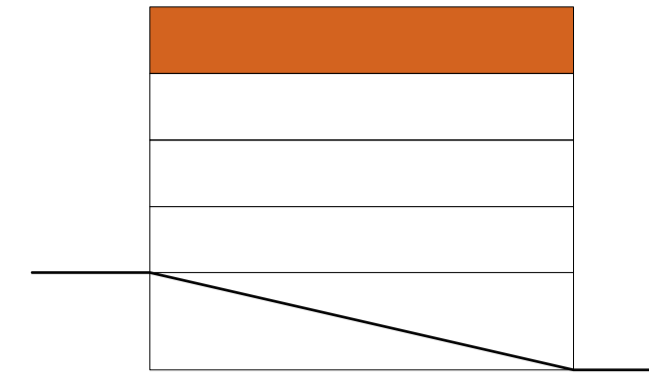
- HNF : 188.7m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.1m<sup>2</sup>
- KF : 49.5m<sup>2</sup>
- GF : 261.0m<sup>2</sup>

# Holzbau

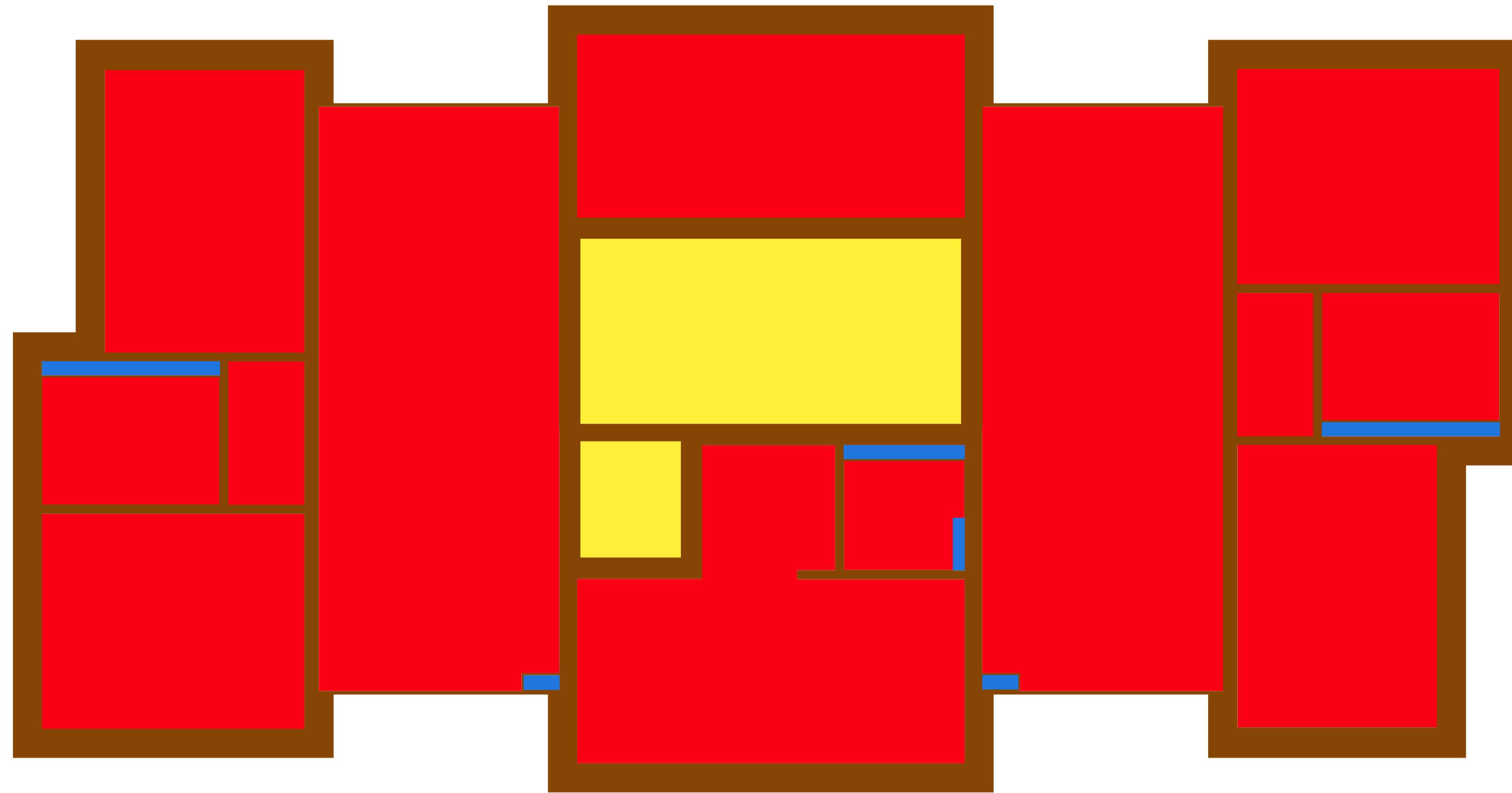


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 2.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

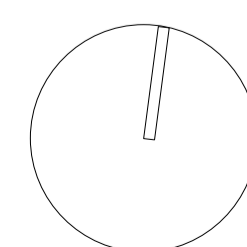
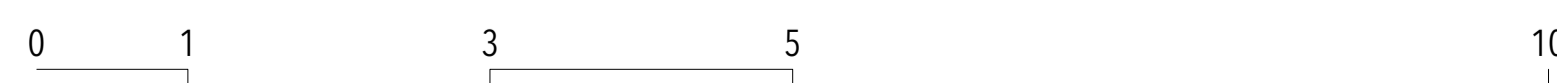


188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
188.7m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	20.8m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup>	49.5m <sup>2</sup>	261.0m <sup>2</sup>
90.5m <sup>2</sup>	69.1m <sup>2</sup>	39.2m <sup>2</sup>	1.7m <sup>2</sup>	48.7m <sup>2</sup>	249.3m <sup>2</sup>
78.4m <sup>2</sup>	74.7m <sup>2</sup>	26.4m <sup>2</sup>	27.5m <sup>2</sup>	43.8m <sup>2</sup>	250.8m <sup>2</sup>
<b>734.8m<sup>2</sup></b>	<b>143.8m<sup>2</sup></b>	<b>128.0m<sup>2</sup></b>	<b>35.5m<sup>2</sup></b>	<b>240.8m<sup>2</sup></b>	<b>1'283.2m<sup>2</sup></b>



- HNF : 188.7m<sup>2</sup>
- NNF : 0m<sup>2</sup>
- VF : 20.8m<sup>2</sup>
- FF : 2.1m<sup>2</sup>
- KF : 49.5m<sup>2</sup>
- GF : 261.0m<sup>2</sup>

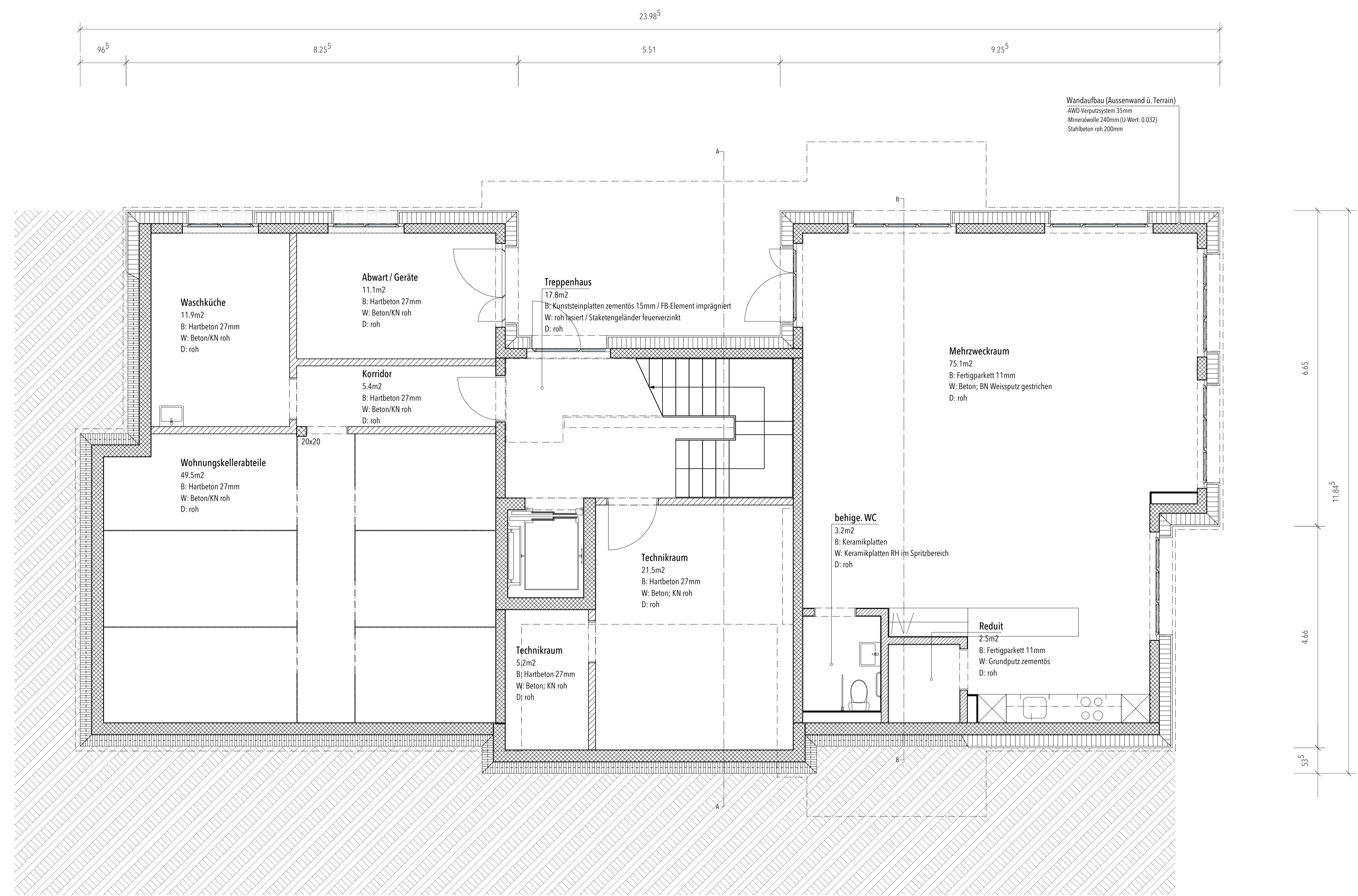
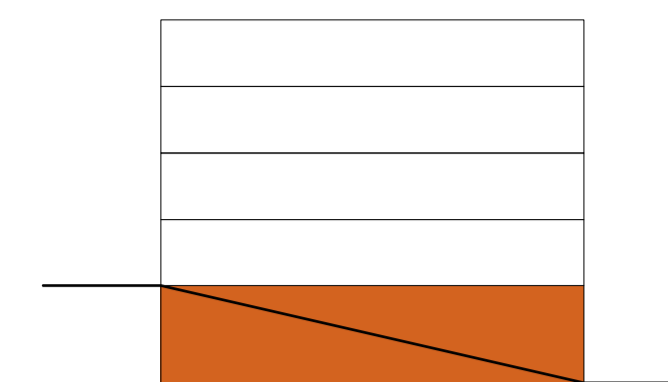
# Holzbau



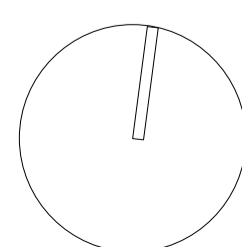
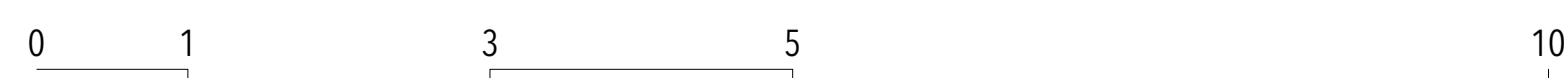
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **SIA 416: Grundriss 3.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; rev. 21.08.2022/ski

**Anhang 4: Architekturpläne der Vergleichsobjekte**

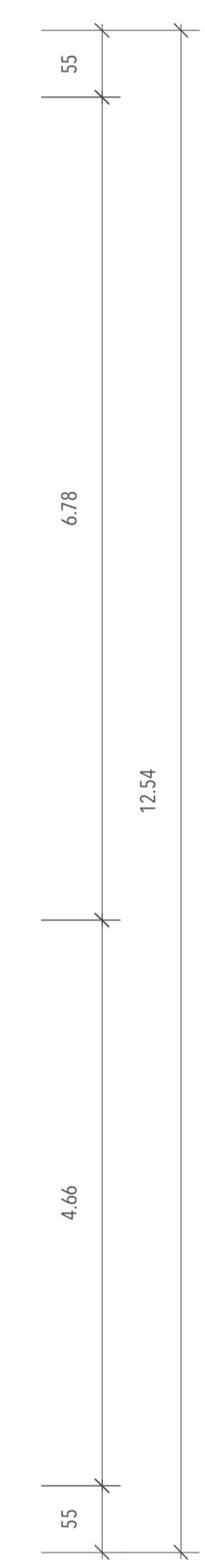
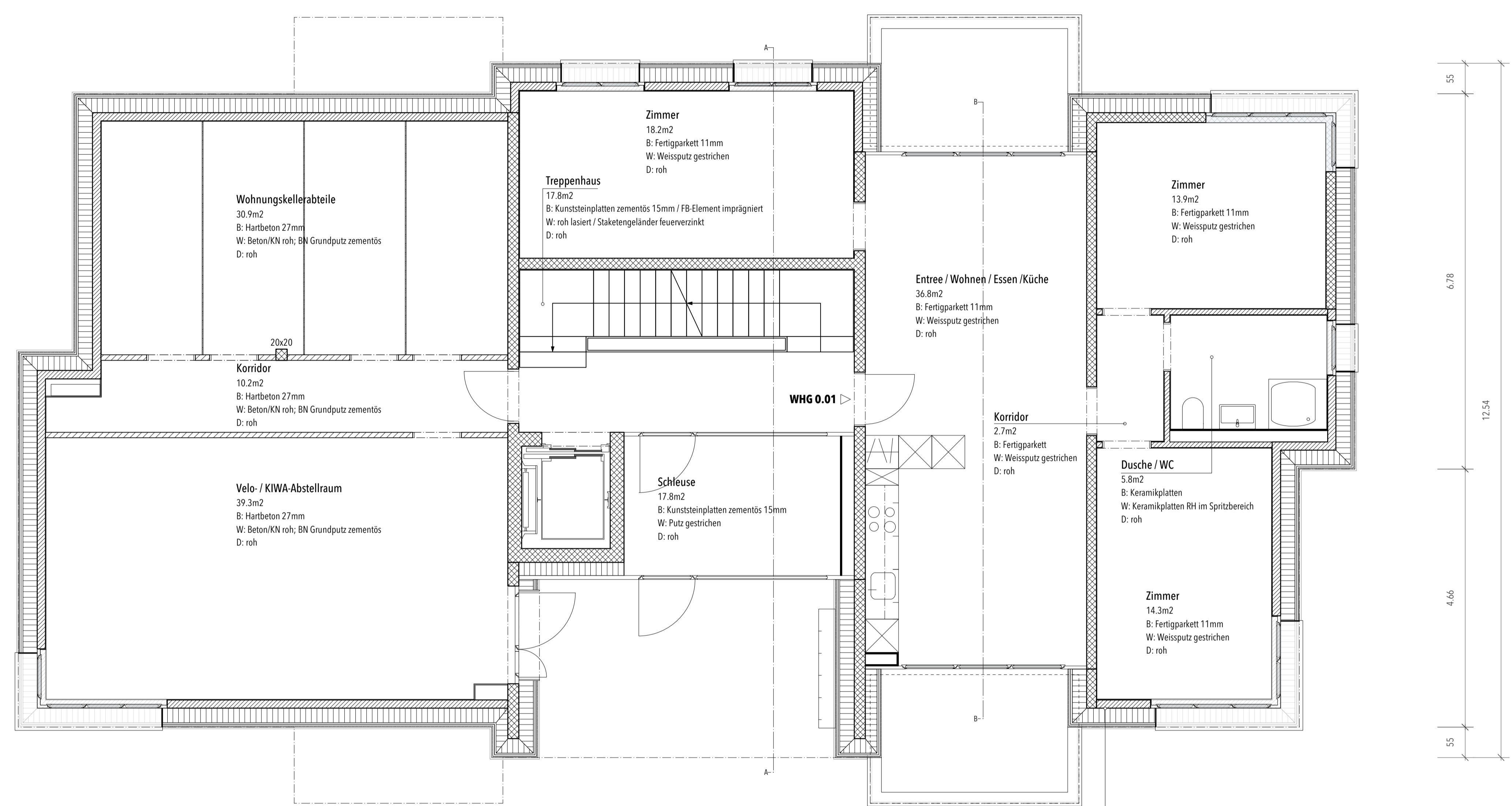
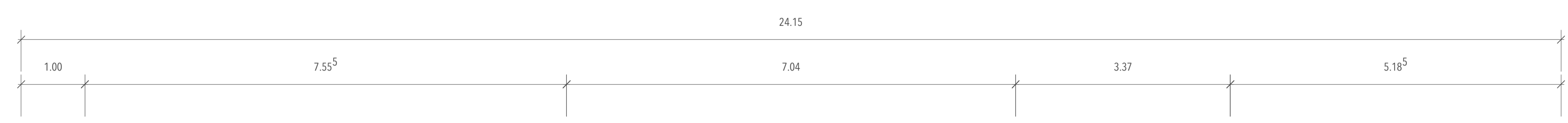
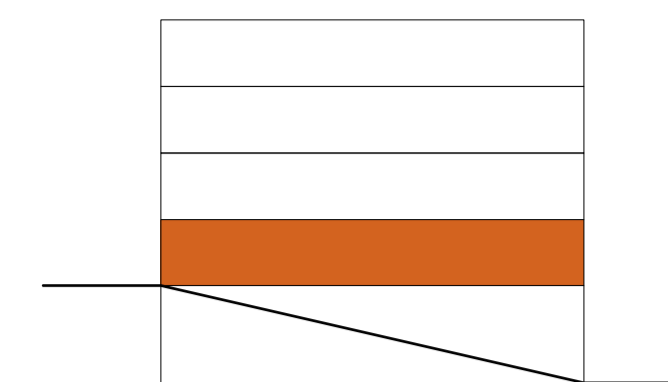


# Massivbauweise



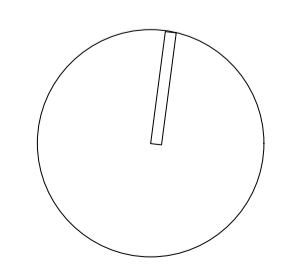
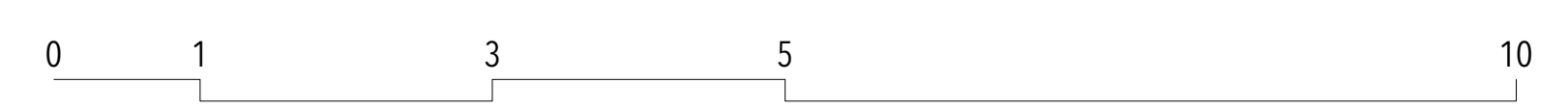
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Grundriss UG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



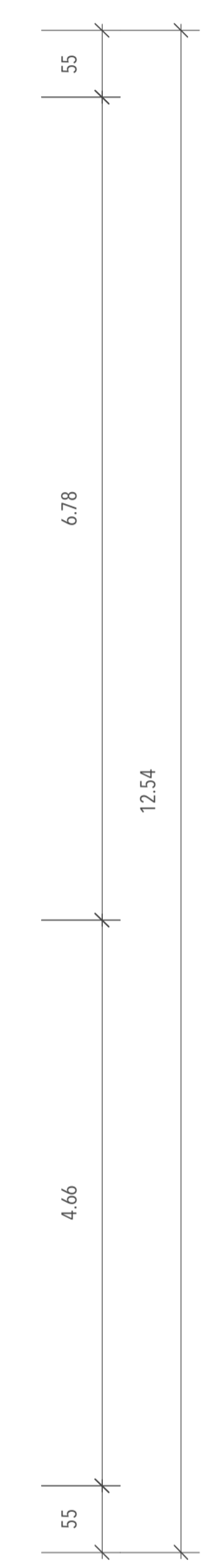
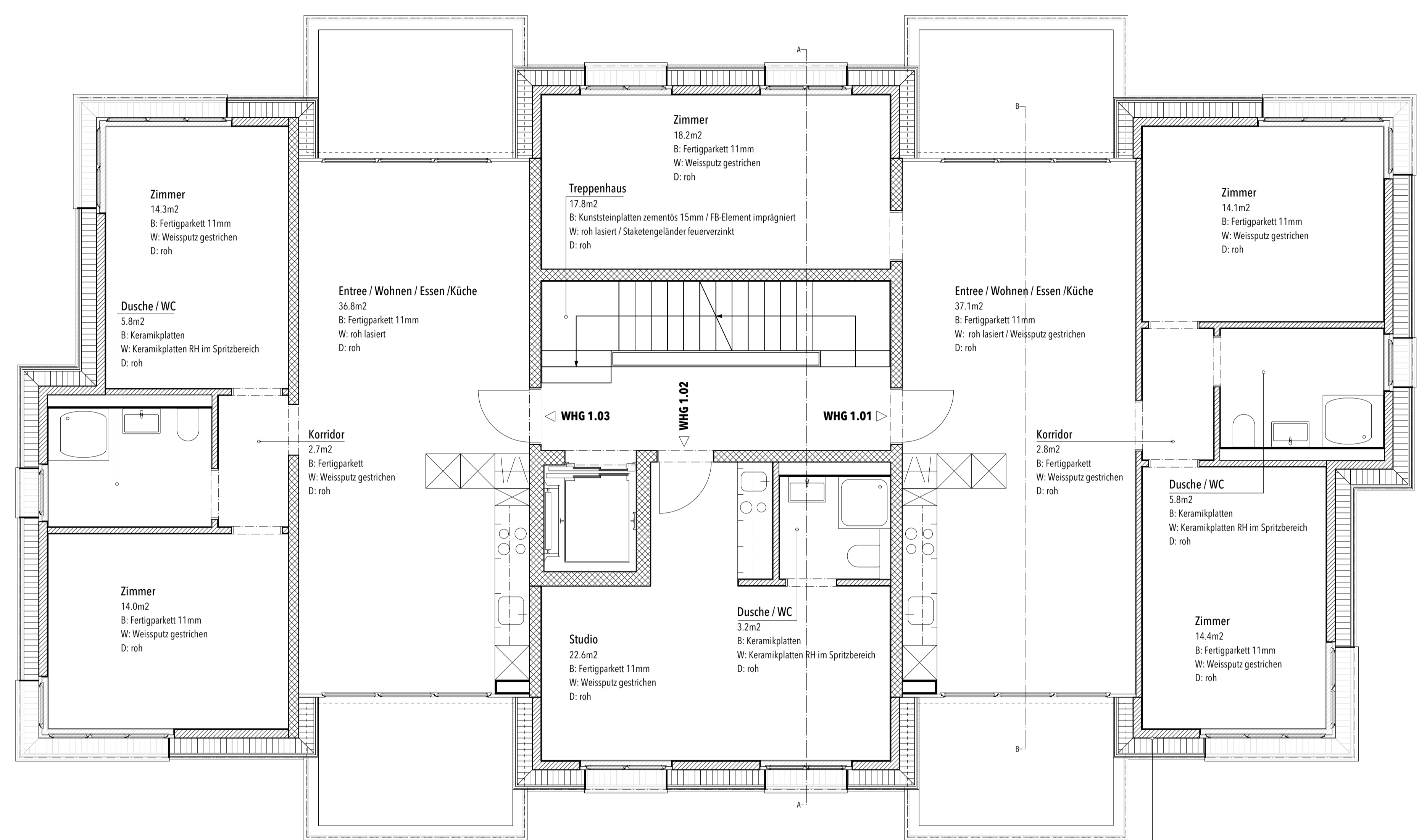
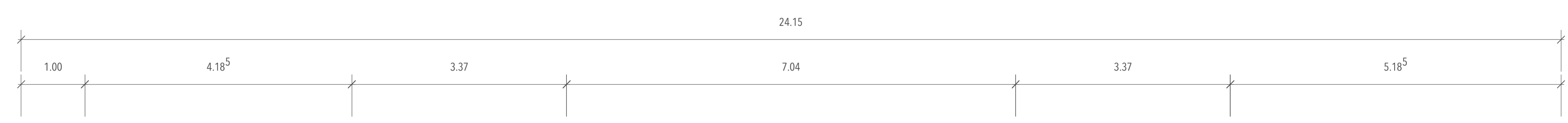
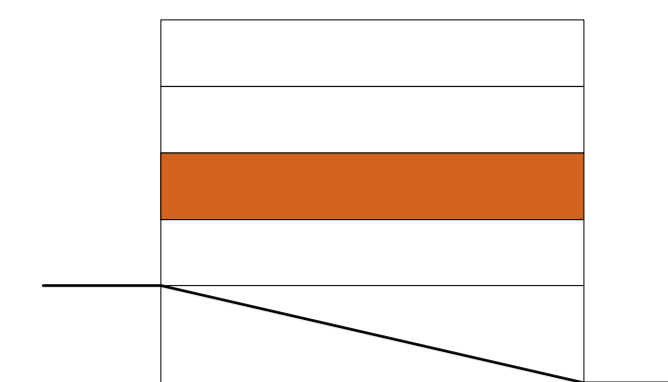
Wandaufbau (Aussenwand ü. Terrain)  
 Lärchenholzwerkkleidung vertikal 21mm  
 Lattung Fichte 30x30mm  
 Kerterlatung Fichte 30x30mm  
 Mineralwolle 260mm (U-Wert: 0.032)  
 Backstein Swissmodul 150mm  
 Grundputz 10mm  
 Gipsputz 5mm

# Massivbauweise



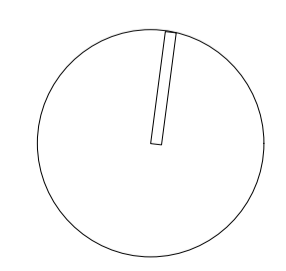
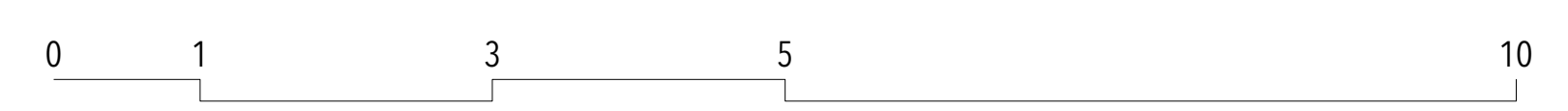
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Grundriss EG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



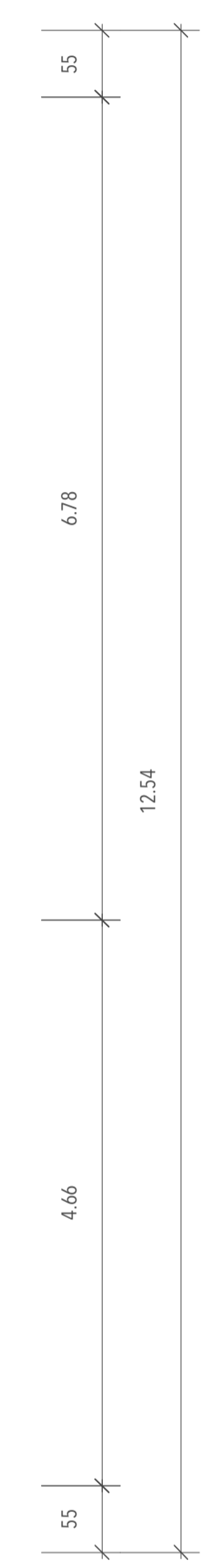
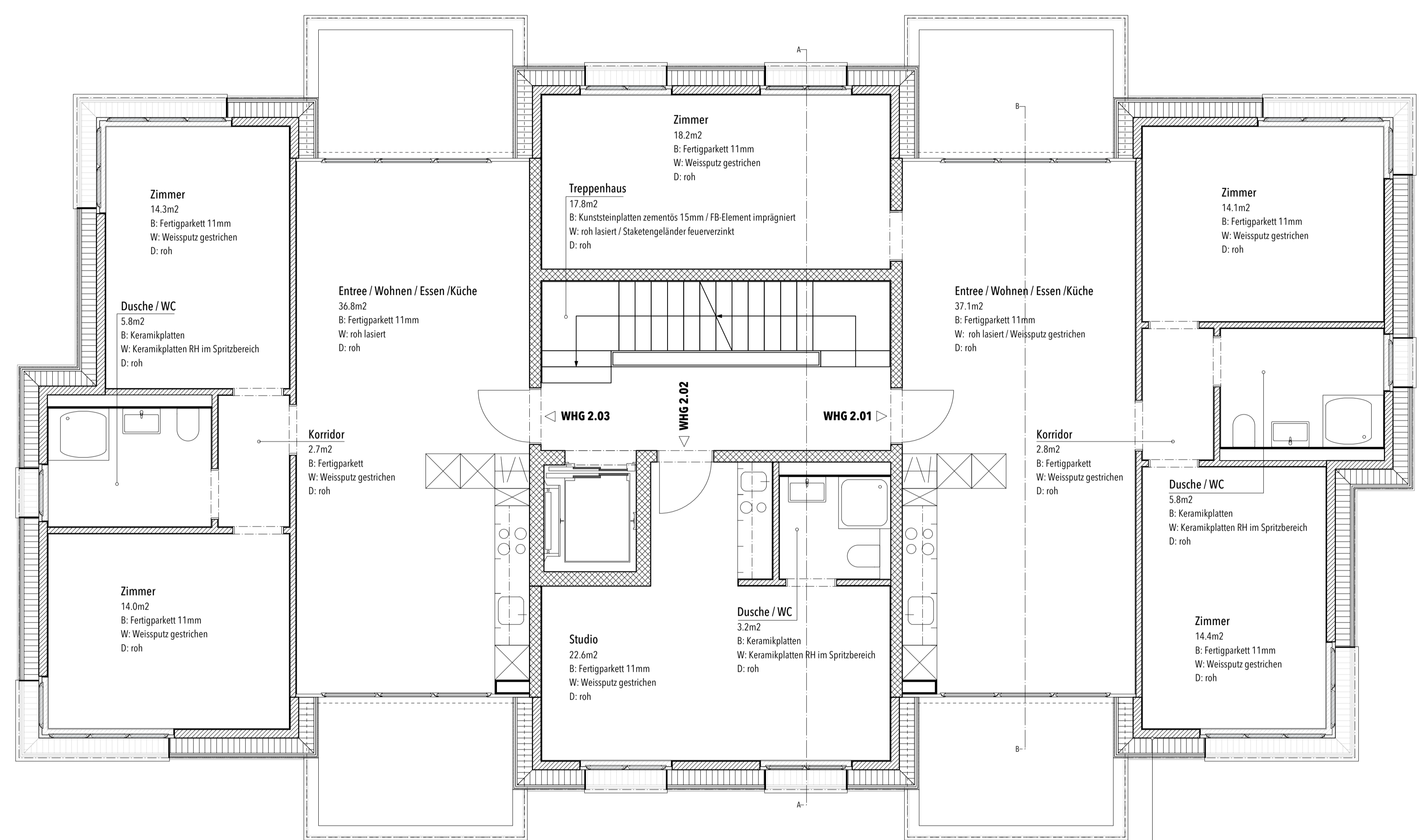
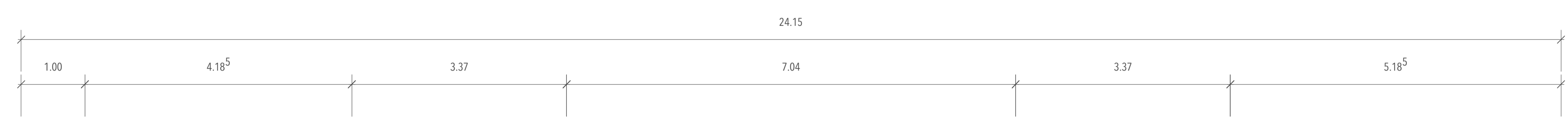
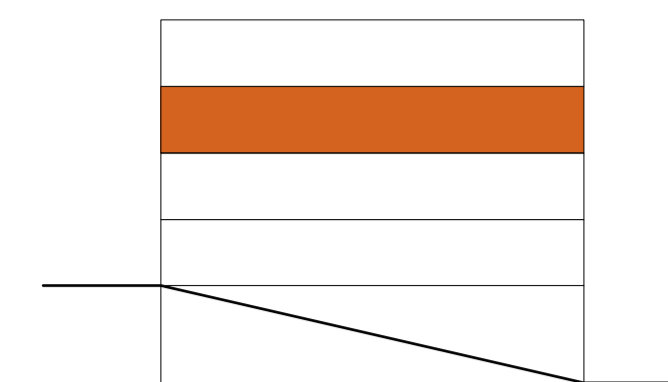
Wandaufbau (Aussenwand ü. Terrain)  
 - Lärchenholzerkleidung vertikal 21mm  
 - Lattung Fichte 30x30mm  
 - Kornerlattung Fichte 30x30mm  
 - Mineralwolle 260mm (U-Wert: 0.032)  
 - Backstein Swissmodul 150mm  
 - Grundputz 10mm  
 - Gipsputz 5mm

# Massivbauweise



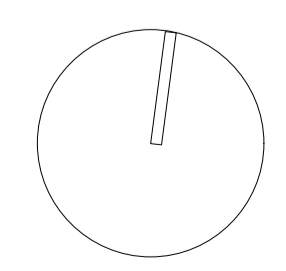
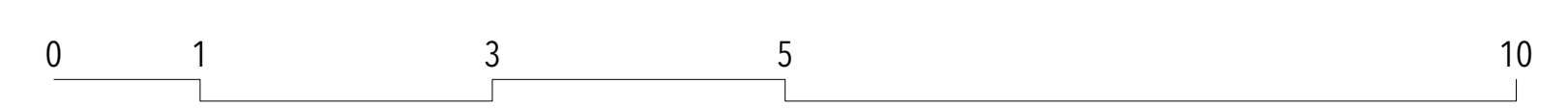
Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan	<b>Grundriss 1.0G</b>
Massstab	1:50
Planformat	A2
Datum	18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



Wandaufbau (Aussenwand ü. Terrain)  
 Lärchenholzerkleidung vertikal 21mm  
 Lattung Fichte 30x30mm  
 Kornerlattung Fichte 30x30mm  
 Mineralwolle 260mm (U-Wert: 0.032)  
 Backstein Swissmodul 150mm  
 Grundputz 10mm  
 Gipsputz 5mm

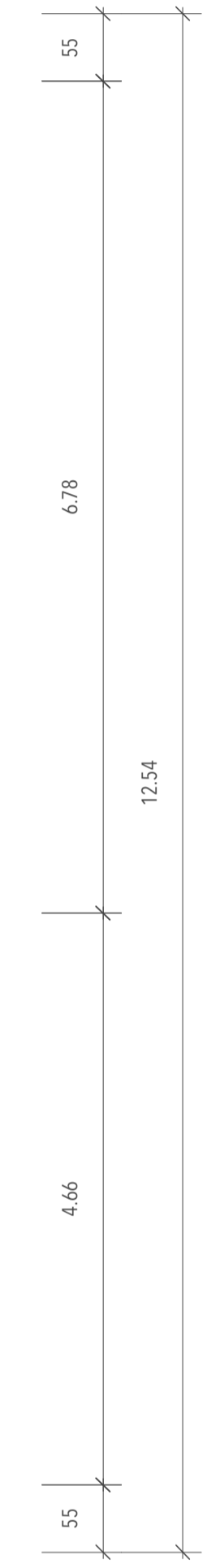
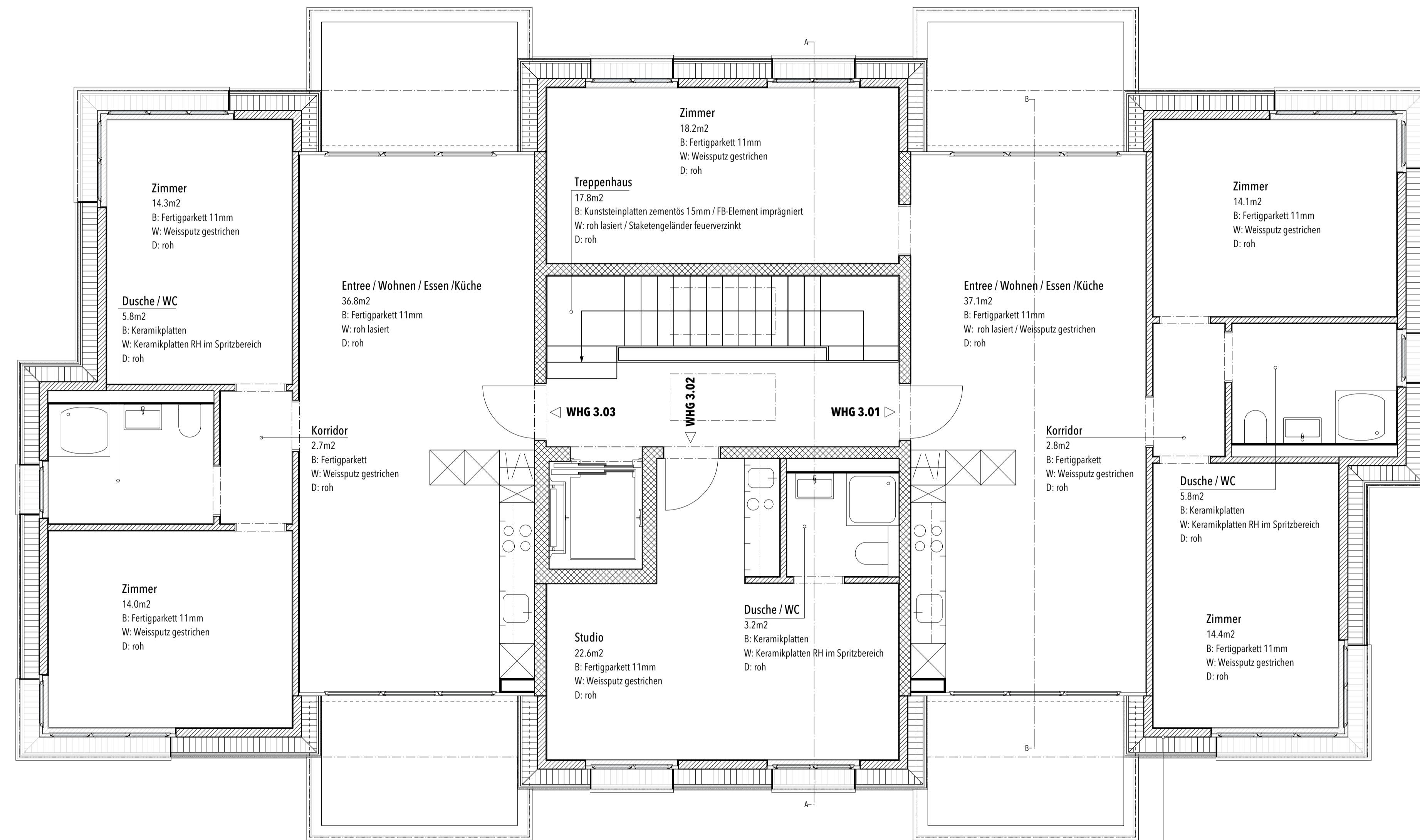
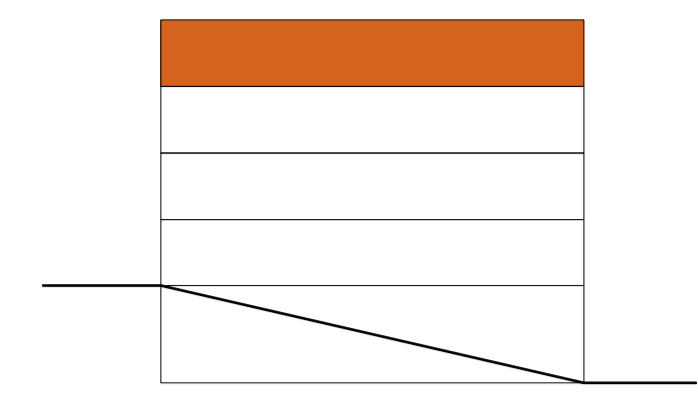
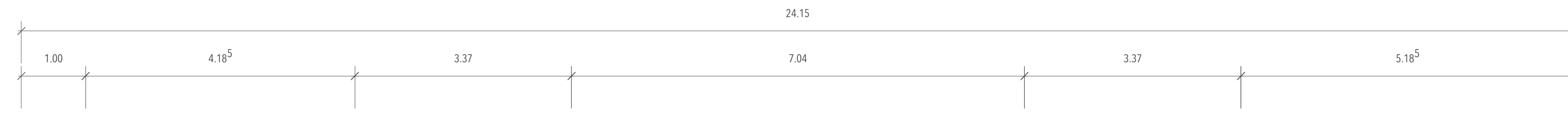
# Massivbauweise



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

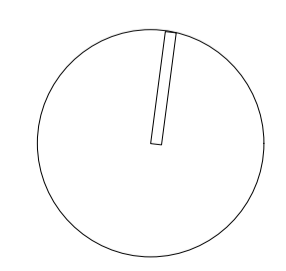
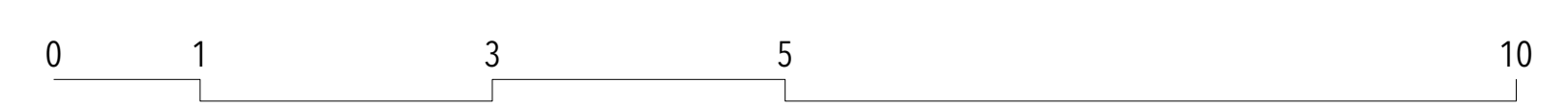
Plan **Grundriss 2.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski





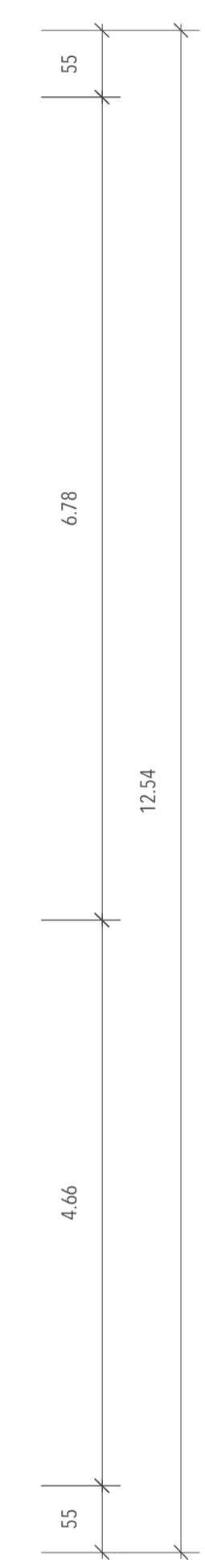
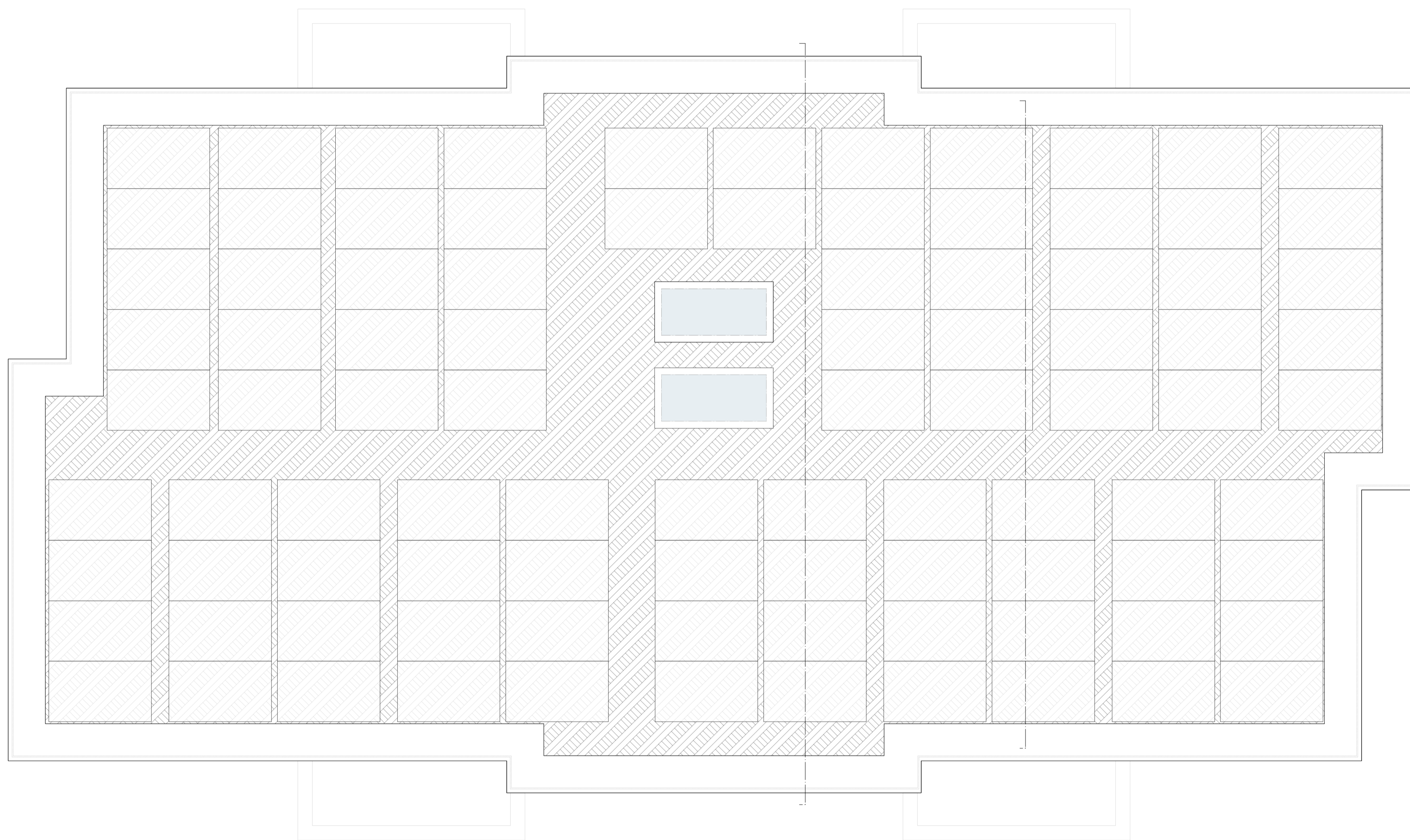
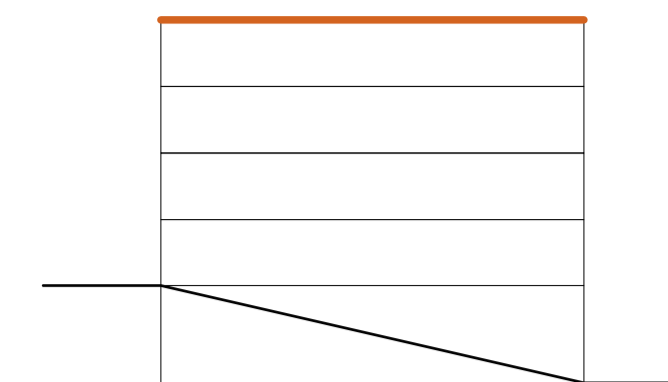
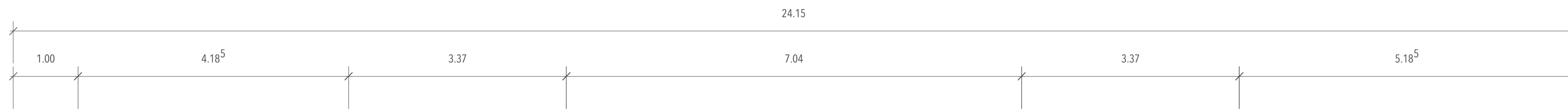
Wandaufbau (Aussenwand ü. Terrain)  
 - Lärchenholzerkleidung vertikal 21mm  
 - Lattung Fichte 30x30mm  
 - Kornerlattung Fichte 30x30mm  
 - Mineralwolle 260mm (U-Wert: 0.032)  
 - Backstein Swissmodul 150mm  
 - Grundputz 10mm  
 - Gipsputz 5mm

**Massivbauweise**

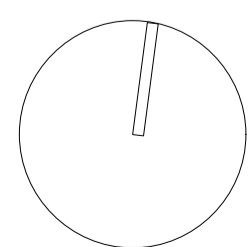
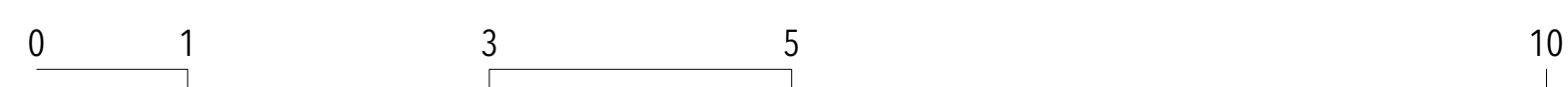


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Grundriss 3.OG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski

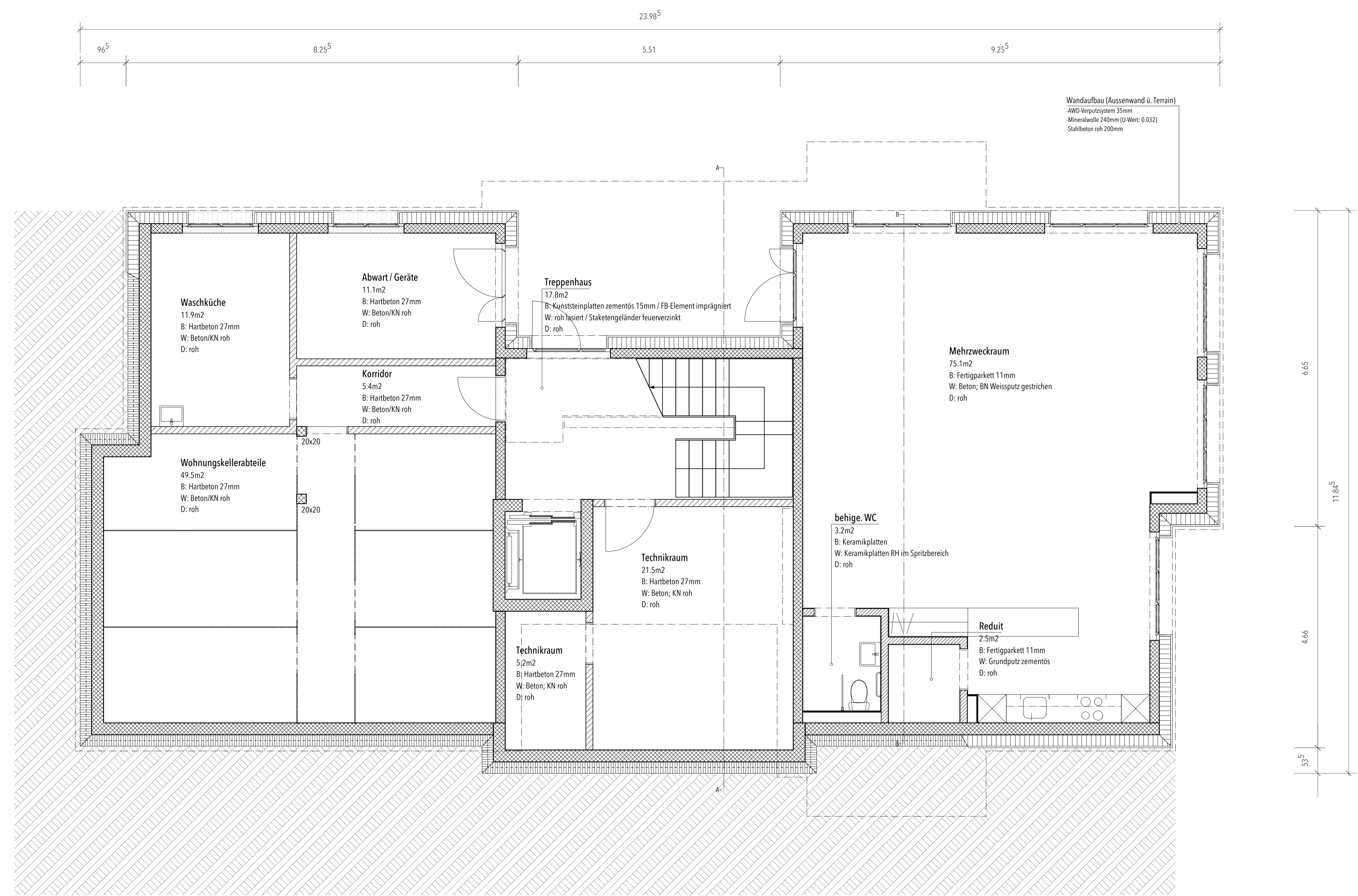
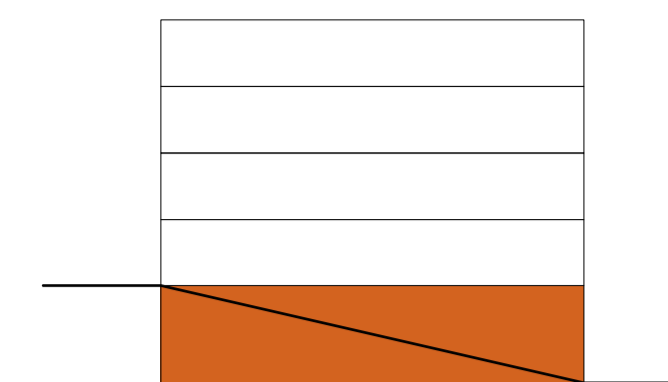


**Massivbauweise**

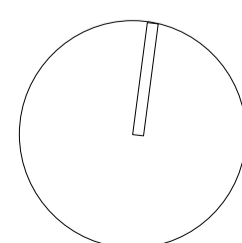
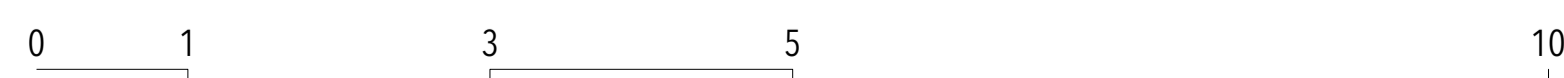


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM)

Plan **Grundriss Dachaufsicht**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski

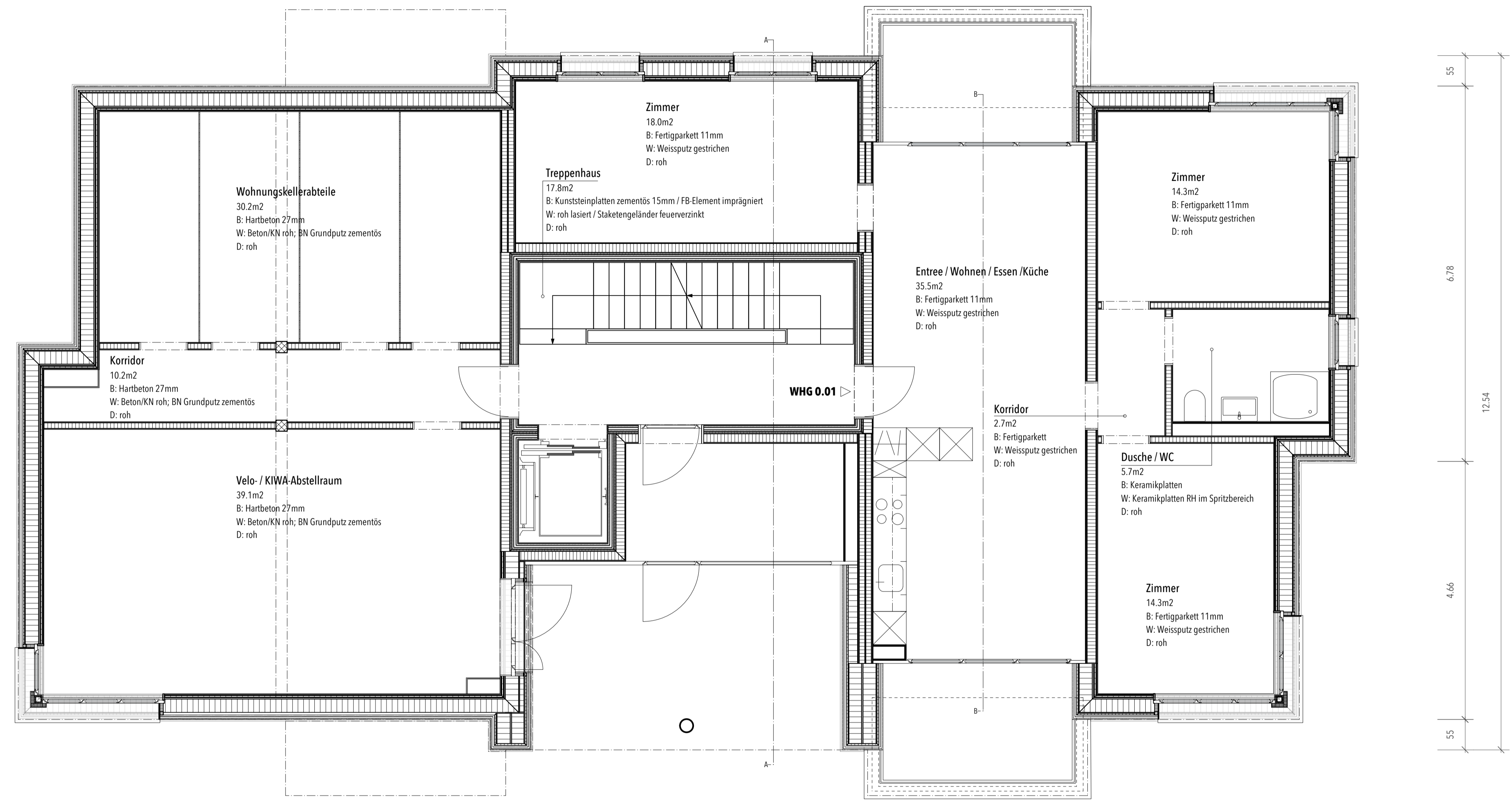
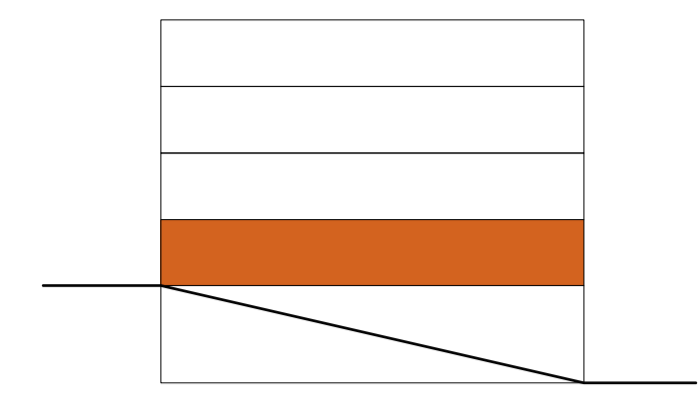
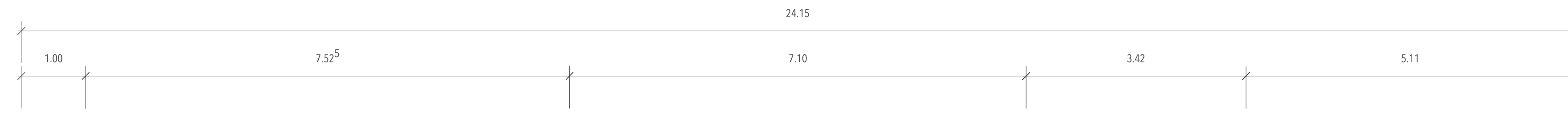


# Holzbauweise

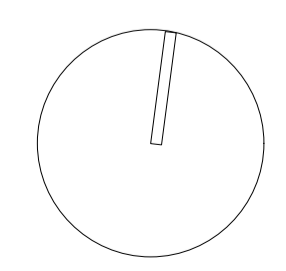
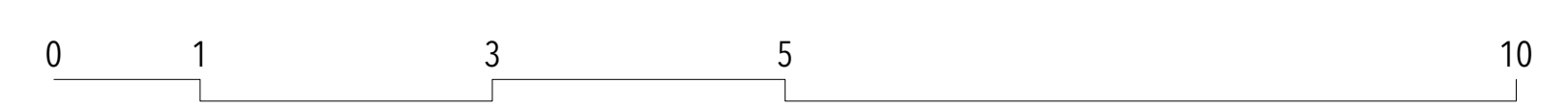


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

Plan **Grundriss UG**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski

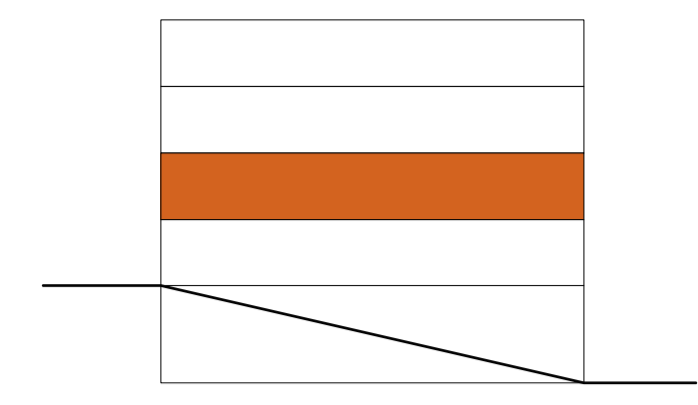


**Holzbauweise**

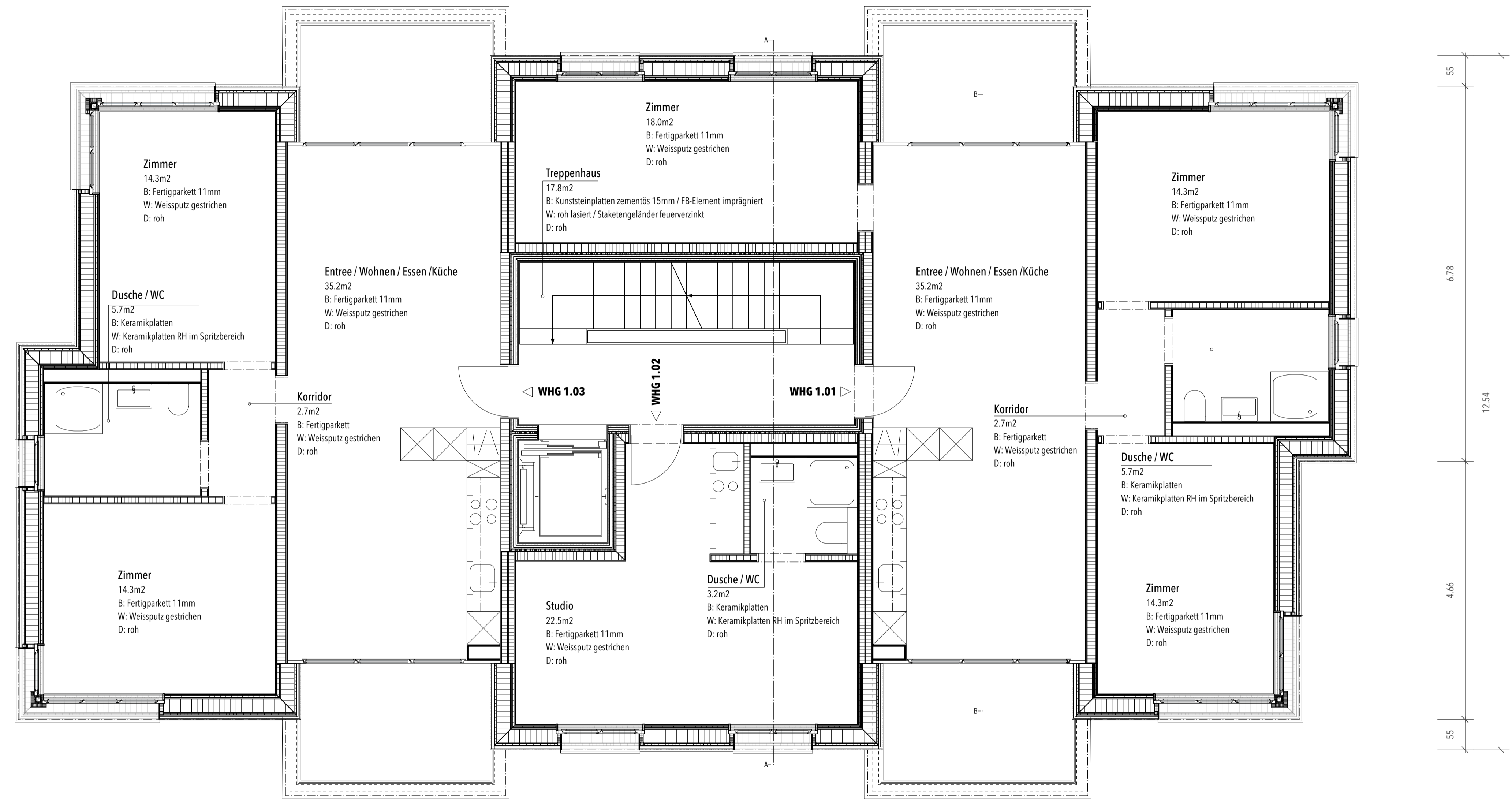


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

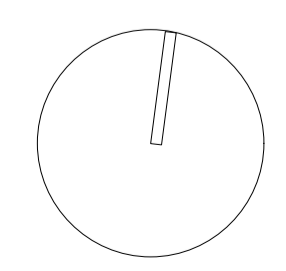
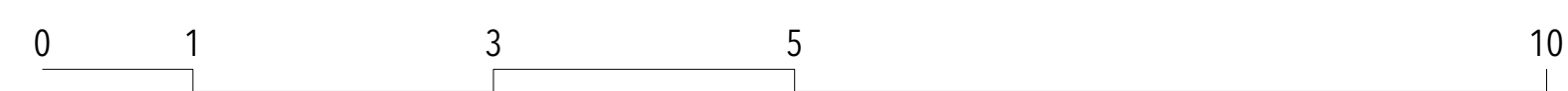
Plan	<b>Grundriss EG</b>
Massstab	1:50
Planformat	A2
Datum	18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



**TRAGWERK**

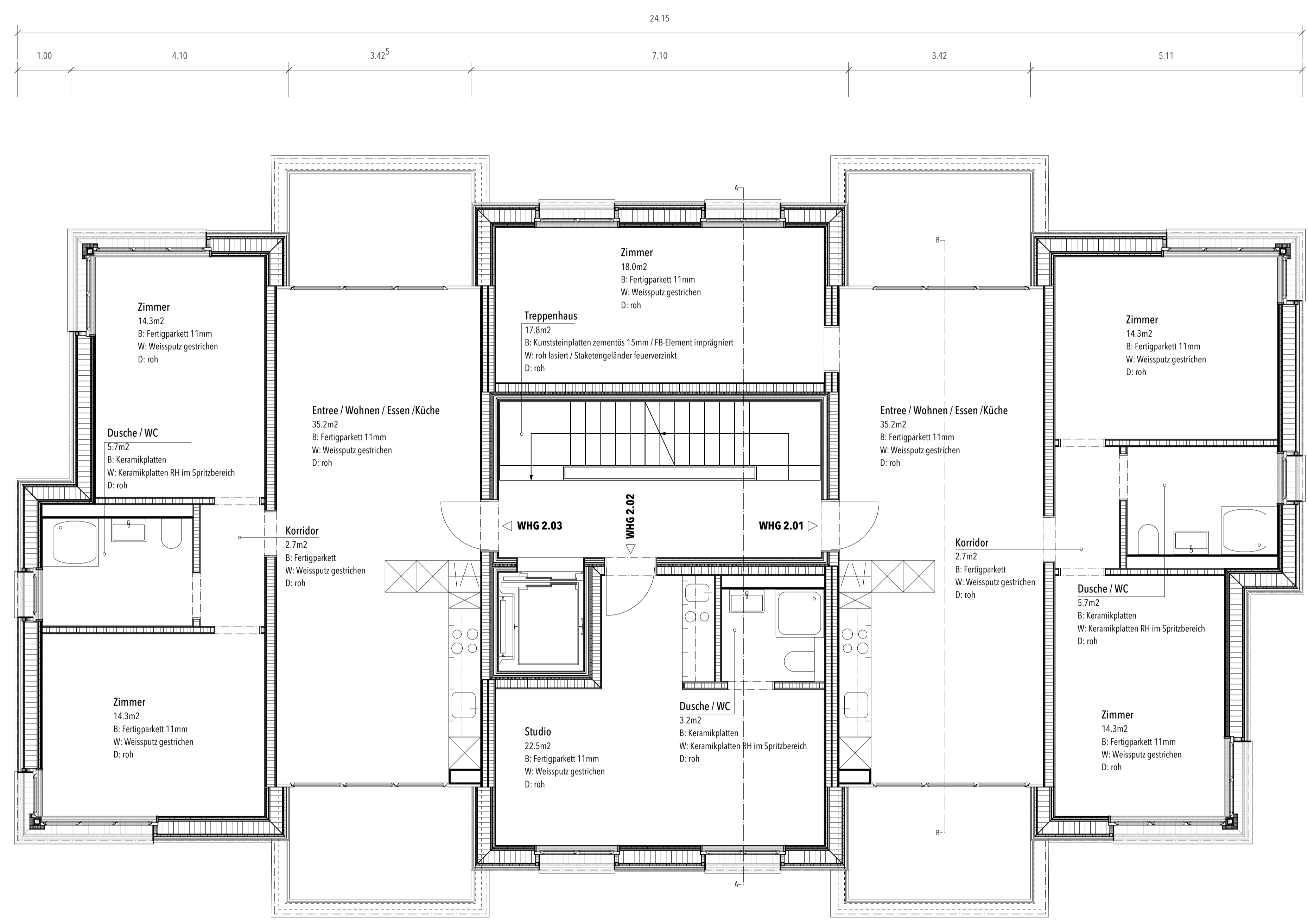
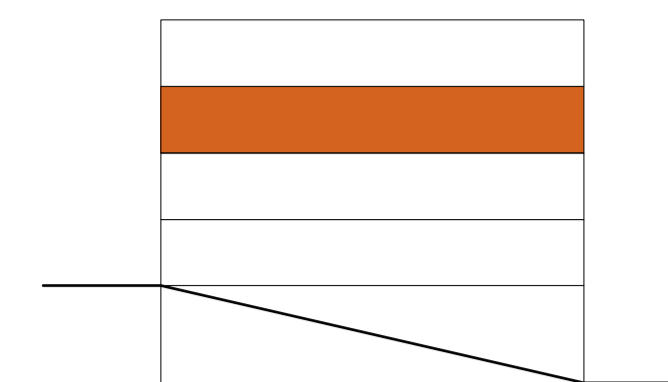


**Holzbauweise**

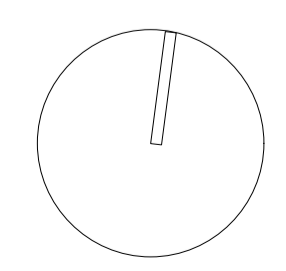
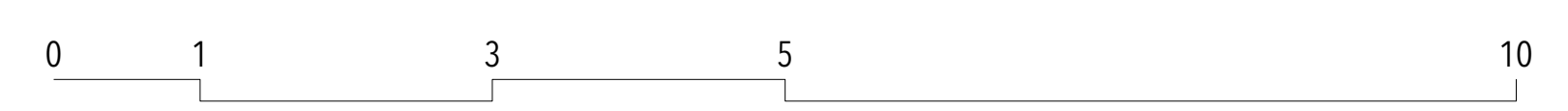


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

Plan	<b>Grundriss 1.0G</b>
Massstab	1:50
Planformat	A2
Datum	18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski

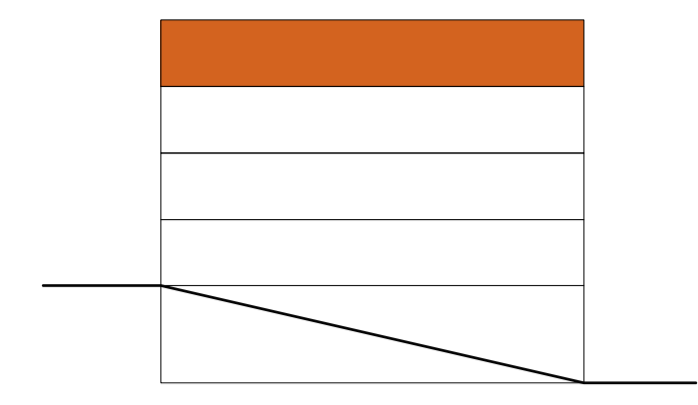


**Holzbaweise**

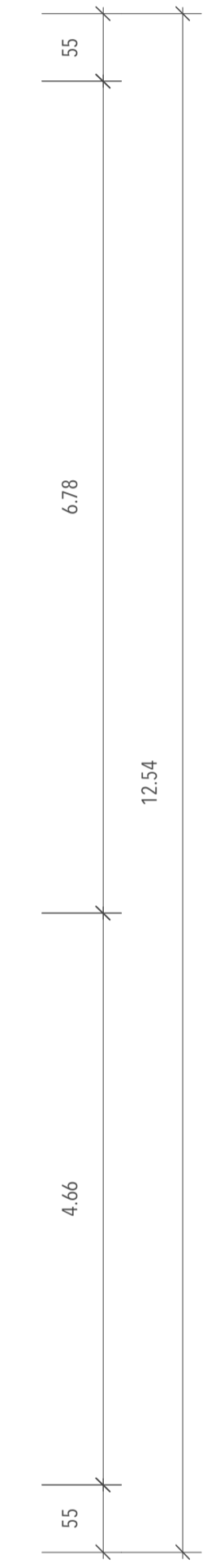
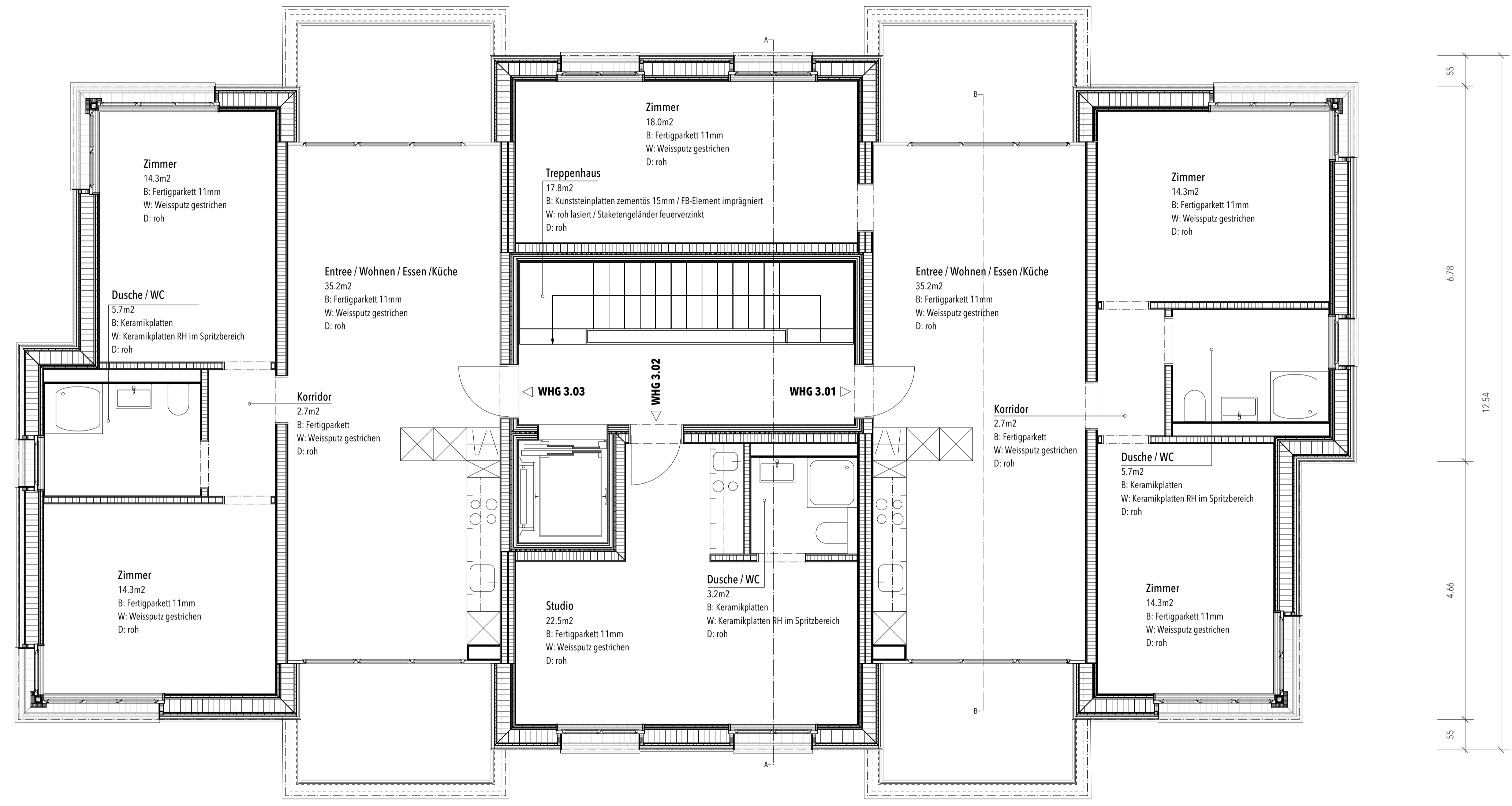


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

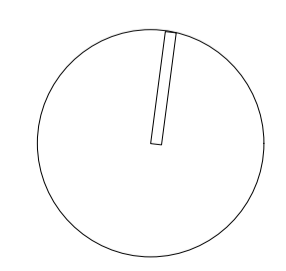
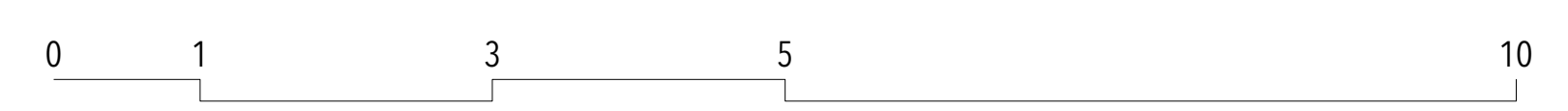
Plan	<b>Grundriss 2.OG</b>
Massstab	1:50
Planformat	A2
Datum	18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



**TRAGWERK**

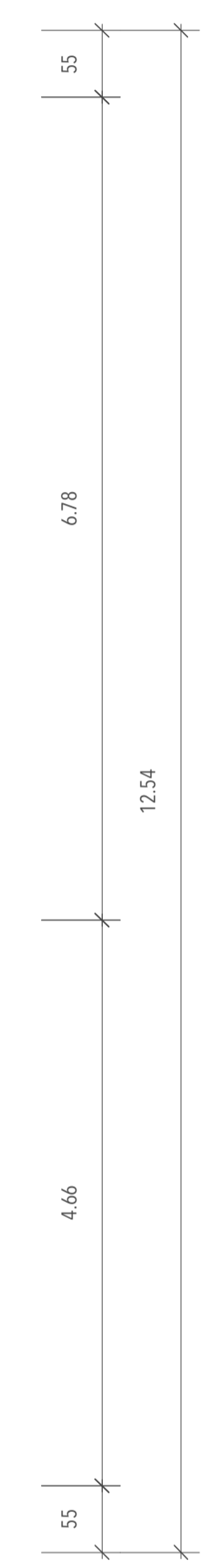
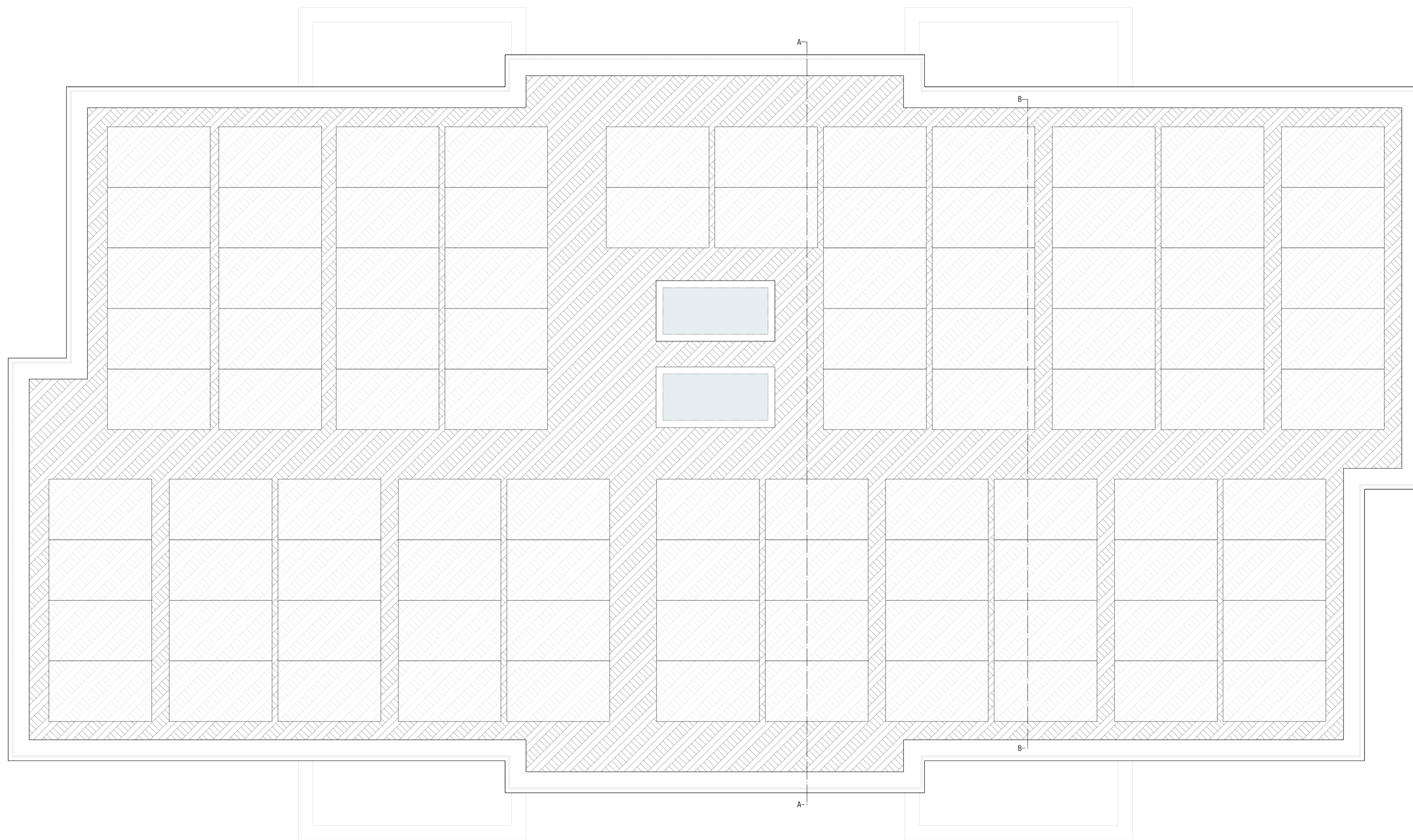
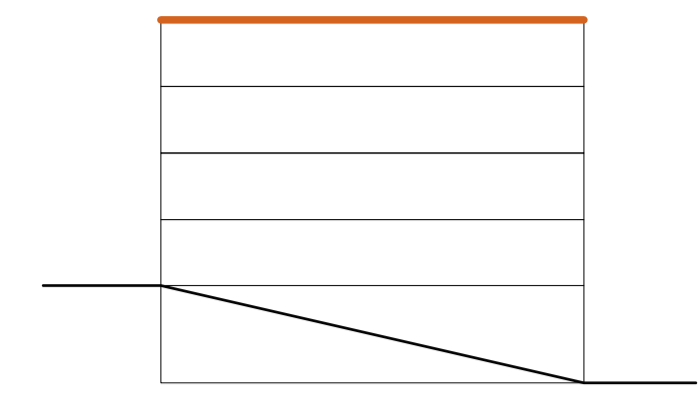
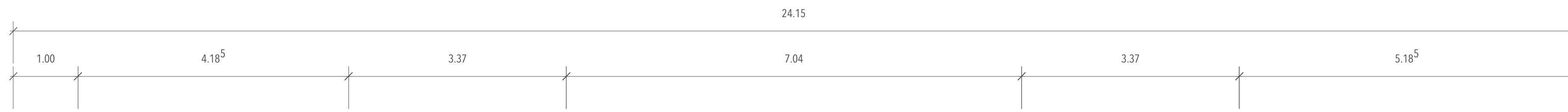


**Holzbauweise**

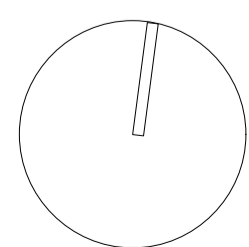
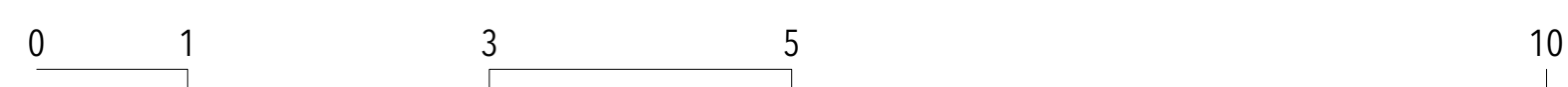


Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

Plan	<b>Grundriss 3.OG</b>
Massstab	1:50
Planformat	A2
Datum	18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



**Holzbauweise**



Masterthesis MAS Real Estate UZH (CUREM), Stefan Kiener 2021/22

Plan **Grundriss Dachaufsicht**  
 Massstab 1:50  
 Planformat A2  
 Datum 18.07.2022; Rev. 21.08.2022/ski



## **Danksagung:**

Die vorliegende Masterarbeit enthält Informationen, die bei der Entwicklung der Vergleichsobjekte mit den Spezialisten aus Tragwerksplanung, Bauphysik und Holzbau in die Planung eingeflossen sind. Sie beruht ausserdem auf Planungsunterlagen, die für vorliegenden Zweck zur Verfügung gestellt worden sind.

Mein Dank für die freundliche Überlassung der Unterlagen für das Referenzobjekt gebührt der:

- allgemeinen Baugenossenschaft (abl), Luzern, insbesondere Frau Sandra Meier und
- GKS Architekten Generalplaner AG, Luzern, insbesondere Herr Martin Jutz

Für die tatkräftige Unterstützung in der Planung danke ich ganz herzlich:

- Helen Ami, BWS-Bauphysik AG, Winterthur
- Rolf Liechti, Mange + Müller AG, Bern (Massivbau)
- Martin Rösti, Martin Rösti Ingenieure, Frutigen (Holzbau)
- Patrick Schwalm, Implenia Schweiz AG – Holzbau, Rümlang
- Daniel Raidt, Kalt+Halbeisen Ingenieurbüro AG, Zürich

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

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

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

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

Winterthur, den 05.09.2022



---

Stefan Kiener