

## DIPLOMARBEIT

# Photovoltaik und Begrünung am Nachkriegsbau: eine neue Fassade für den Georg-Emmerling-Hof

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs  
unter der Leitung von

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karin Stieldorf  
E253/4

Institut für Architektur und Entwerfen  
Abteilung Hochbau und Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät Architektur und Raumplanung

von  
Tobias Kohlmaier  
0927350

Wien, am 23.05.2018

# ABSTRACT

The objective of the present paper was to redesign the façade of the Georg-Emmerling-Hof in the second district in Vienna by taking in consideration the use of photovoltaic modules and planting vegetation. In the process the focus was set on sustainable energy production in the context of the continuing climate change.

It was necessary to analyze the existing building in terms of its appearance embedded in the surrounding area, its energy efficiency, the main structural parts and the local conditions - such as shading, summer overheating and noise immission. Based on this, a façade solution was developed that optimally adapts photovoltaic technology to these conditions and furthermore, in a symbiosis with façade greening, has positive effects on the climate within the building as well as on the urban climate.

A major focus of this paper was set on the arrangement of the façade: on the one hand to react to the surrounding buildings and on the other hand to show that creative solutions on an individual level are possible with the latest technologies of photovoltaic modules.

# ABSTRAKT

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, unter dem Einsatz von Photovoltaik-Modulen und Begrünung die Fassade des im zweiten Wiener Bezirk gelegenen Georg-Emmerling-Hofs neu zu gestalten und dabei den Fokus im Kontext anhaltender Klimaveränderungen auf nachhaltige Energieerzeugung zu legen. Es galt, das Bestandsgebäude hinsichtlich seines Erscheinungsbildes eingebettet in der Umgebung, seiner Energieeffizienz, der baulichen Substanz und der örtlichen Voraussetzungen – wie Verschattung, sommerliche Überwärmung und Lärmimmission – zu analysieren. Darauf aufbauend wurde eine Fassadenlösung entwickelt, die die Technik der Photovoltaik optimal an diese Gegebenheiten anpasst und in einer Symbiose mit Fassadenbegrünung positive Auswirkungen auf das Klima innerhalb des Gebäudes sowie auf das Stadtklima hat.

Ein wesentlicher Fokus wurde in der Arbeit auch auf die Gestaltung der Fassade gelegt: Einerseits, um auf die umliegenden Gebäude zu reagieren und andererseits, um aufzuzeigen, dass mit neuesten Technologien der Photovoltaik-Module gestalterisch individuelle Lösungen möglich sind.

# INHALT

<b>1. Wien in der Nachkriegszeit</b>	<b>9</b>		
1.1. Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg	9		
1.2. Stilentwicklung in der Nachkriegszeit	10		
1.3. Grundrisslösungen	11		
<b>2. Georg-Emmerling-Hof</b>	<b>15</b>		
2.1. Historischer Kontext	15		
2.1.1. Marienbrücke	15		
2.1.2. Der Donaukanal nach dem Krieg	17		
2.1.3. Schöllershof	20		
2.2. Fassadengestaltung am Donaukanal	23		
2.2.1. Raiffeisen Klimaschutz-Hochhaus	25		
2.2.2. IBM-Zentrum	25		
2.2.3. Media Tower	27		
2.2.4. PS1	27		
2.2.5. K47	29		
2.3. Bestandsanalyse	31		
2.3.1. Beschreibung der Bauform	31		
2.3.2. Energieeffizienz	43		
2.3.2.1. Gebäudegeometrie	43		
2.3.2.2. Bauteile	43		
2.3.2.3. Solare Gewinne	48		
2.3.2.4. Kennzahlen des Energieausweises	49		
2.3.2.5. Anforderungen an die Energiekennzahlen	50		
2.3.3. Verschattungsanalyse	52		
2.3.4. Solaranalyse	56		
2.3.5. Schallschutz	59		
2.3.5.1. Lärmimmission	59		
2.3.5.2. Schalldämmung der bestehenden Bauteile	61		
2.3.5.3. Anforderungen an die neue Fassade	62		
2.3.6. Sommertauglichkeit	63		
<b>3. Kontext Klimawandel</b>	<b>67</b>		
3.1. Stadtklima	67		
3.2. Hitzeinseln	68		
3.3. Albedo	70		
<b>4. Photovoltaik</b>	<b>73</b>		
4.1. Nachhaltige Energiegewinnung	73		
4.1.1. Stromverbrauch im Privathaushalt	73		
4.1.2. Wirtschaftliche Aspekte natürlicher Energien	74		
4.1.3. Photovoltaik am Gebäude	75		
4.2. Funktionsweise Photovoltaik	76		
4.2.1. Sonnenenergie	76		
4.2.2. Nutzung der Solarenergie	77		
4.2.3. Aufbau einer Solarzelle	77		
4.2.4. Einflussfaktoren auf den Solarertrag	78		
4.2.5. Wirkungsgrad	79		
4.3. Systemtypen	80		
4.3.1. Netzgekoppelte Systeme	80		
4.3.2. Inselanlagen	81		
4.3.3. Georg-Emmerling-Hof	81		
4.4. Wechselrichter	82		
4.4.1. Zentrale Wechselrichter	82		
4.4.2. Strangwechselrichter	82		
4.4.3. Modulintegrierte Wechselrichter	83		

4.5. Zelltypen	84	6.4.2. Pflegemaßnahmen und Wartung	133
4.5.1. Kristalline Zellen	84	6.4.3. Substrat	133
4.5.2. Dünnschichtzellen	86	6.4.4. Bewässerungssystem	134
4.5.3. Georg-Emmerling-Hof	86	6.4.5. Pflanzen bodengebundene Begrünung	136
4.6. Gebäudeintegration	88	6.5. Fassadenbeleuchtung	138
4.7. Gestaltungsmöglichkeiten	90	6.6. Energieeffizienz	142
4.7.1. Farbige Solarzellen	91	6.6.1. Verbesserung der Energieeffizienz	142
4.7.2. Folien	91	6.6.2. Berechnungsergebnis der gewählten Variante	146
4.7.3. Spektral selektiv beschichtetes Glas	92	6.7. Sommerliche Überwärmung	150
4.7.4. Bedruckte Gläser	93	6.7.1. Verschattungsanalyse	150
4.7.5. Grätzel-Zellen	93	6.7.2. Berechnung mit Archiphysik	153
4.7.6. Georg-Emmerling-Hof	93	6.7.3. Berechnung mit Thesim	155
<b>5. Fassadenbegrünung</b>	<b>95</b>	6.7.4. Nachtlüftung	156
5.1. Kategorien der Fassadenbegrünung	100	6.8. Details	160
5.1.1. Bodengebundene Begrünung	100	<b>7. Zusammenfassung und Resümee</b>	<b>164</b>
5.1.2. Fassadengebundene Begrünung	102		
5.1.3. Georg-Emmerling-Hof	105		
<b>6. Entwurf</b>	<b>107</b>		
6.1. Funktionen	107		
6.2. Erscheinungsbild	109		
6.3. Photovoltaik	114		
6.3.1. Entwurf Photovoltaik-Fassade	117		
6.3.2. Analyse der Teilverschattungen	120		
6.3.3. Energieertrag der Photovoltaikanlage	126		
6.3.4. Systemkonzept der Photovoltaikanlage	128		
6.4. Fassadenbegrünung	130		
6.4.1. Pflanzen fassadengebundene Begrünung	130		



# EINLEITUNG

Die Wiener Wohnbaulandschaft wird stark vom sozialen Wohnbau der Nachkriegsjahre geprägt. So ist auch der Georg-Emmerling-Hof im zweiten Wiener Gemeindebezirk, direkt am Donaukanal gegenüber dem Schwedenplatz gelegen, ein sehr präzentes Gebäude. In den 50er Jahren erbaut, gliedert sich die Gestaltung des Gebäudes allerdings kaum noch in die Umgebung ein, die vor allem von Glasfassaden geprägt ist. Dies wird zum Anlass genommen, um die Fassade des Georg-Emmerling-Hofs neu zu gestalten. Ziel dabei ist es, unter dem Einsatz von Photovoltaik und Begrünung das Gebäude nicht nur gestalterisch aufzuwerten und dabei die umgebenden Fassaden zu berücksichtigen, sondern im Kontext anhaltender Klimaveränderungen den Fokus der Arbeit auf nachhaltige Energieerzeugung zu legen.

Zu diesem Zweck wird in einem ersten Schritt das Bestandsgebäude analysiert: Der historische Kontext der Umgebung wird ebenso in Augenschein genommen wie die Fassadengestaltung heute. Die bauliche Substanz des Gebäudes wird untersucht und darauf basierend Analysen zur Energieeffizienz, Verschattung, sommerlichen Überwärmung und Lärmimmissionen angestellt, um in weiterer Folge eine neue Fassade zu entwickeln.

Um den Auswirkungen des Klimawandels und dem Aufkommen von Hitzeinseln in Städten zu begegnen, fokussiert sich der Entwurf auf eine Kombination von Photovoltaik-Modulen und Fassadenbegrünung. Die nachhaltige Energieerzeugung wird so mit den positiven Auswirkungen von Pflanzen auf ihre Umgebung kombiniert. Auf Basis des aktuellen Standes der Technik sowie der Recherche geeigneter Methoden der Fassadenbegrünung wird deshalb eine optimale Zusammensetzung dieser angestrebt. Der Entwurf wird hinsichtlich der Energieeffizienz, Verschattung, sommerlichen Überwärmung und des Schallschutzes optimiert. Dabei spielt auch die gestalterische Komponente der PV-Module eine große Rolle: Es soll aufgezeigt werden, dass deren Einsatz durchaus eine Aufwertung einer Fassade bewirken kann.



# 1. WIEN IN DER NACHKRIEGSZEIT

Der soziale Wohnbau in Wien wurde maßgeblich durch die Nachkriegszeit geprägt. Auch der Georg-Emmerling-Hof ist in diesem Zeitraum erbaut worden. Im folgenden Kapitel wird kurz die Entwicklung des Wiener Wohnbaus in der Nachkriegszeit allgemein sowie des Georg-Emmerling-Hofs im Speziellen erläutert.

## 1.1. WIEDERAUFBAU NACH DEM ZWEITEN WELTKRIEG

Gegen Ende des zweiten Weltkrieges waren rund 13 % der Wohnungen in Wien durch Kampfhandlungen und Luftangriffe zerstört worden. Insgesamt wurden 187.305 Wohnungen in Mitleidenschaft gezogen. Bei einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von zwei bis drei Personen bedeutete dies den Verlust von Wohnraum für 430.000 Einwohner\* (Franz Jonas zit. nach Marchart, 1984: S. 31).

Der Wiederaufbau musste unter äußerst schweren Umständen bewältigt werden. Es herrschte nach Kriegsende ein hoher Mangel an Bau- und Rohstoffen, Werkzeugen, Arbeitskräften und Transportmitteln (Koller, 1965: S. 11). Die Industrie kämpfte mit kriegsbedingten Schäden und einer sehr schleppenden Ersatzteilversorgung, wodurch die baustoffproduzierenden Betriebe erst nach und nach wieder die volle Herstellungskapazität erreichen konnten (Kritsch, 1946: S. 38). Unter den Umständen der Materialknappheit diente Ziegelbruchbeton als gute Alternative zu herkömmlichen Baustoffen. Dieser hatte sich davor schon in westdeutschen Städten bewährt und seine Verwendung stand im Sinne der Schuttbeseitigung (Bruckmayer, 1946: S. 86f).

Der größte Teil des Wiederaufbaus betraf den Wohnbau. Der Wiederaufbau umfasste einerseits die Aufgabe der Wiederherstellung beschädigter Gebäude und andererseits die Errichtung neuer Wohnblöcke. Die Gemeinde Wien war zu dieser Zeit der weitaus größte Bauträger der Stadt. Ihr vorrangiges Ziel war die Linderung der Wohnungsnot hinsichtlich der hohen Anzahl sozial Schwacher in der Nachkriegszeit (Denk, 2008: S. 145).

Die Koordination der Bautätigkeiten erwies sich als problematisch, allein bis April 1947 gingen rund 120.000 Bauansuchen ein, was die Verwirklichung eines Generalbebauungsplans erheblich erschwerte. Zudem waren die Entscheidungen zum Verfahren bei beschädigten Bauten umstritten. Es herrschte gewissermaßen eine Totalerneuerungstendenz, die aus der Kombination aus Zeitgeist und Abbruchspekulationen resultierte. Mit bestehenden, an den alten Mietzins gebundenen Wohnhäusern war das Erwirtschaften von Gewinn kaum möglich. So wurden viele Gebäude, die davor schon Jahrhunderte überdauert hatten, derart vernachlässigt, dass sie bald als baufällig erklärt und durch moderne Wohnhäuser ersetzt wurden.

\*Hinweis: Aufgrund der einfacheren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Formulierung der Sprache verzichtet. Es sei jedoch an dieser Stelle angemerkt, dass mit allen männlichen Bezeichnungen auch die weibliche Person gemeint ist.

Auch das Denkmalschutzgesetz, das für das Abreißen denkmalgeschützter Gebäude eine Höchststrafe von 4.000,- Schilling vorsah, konnte in vielen Fällen den Abbruch nicht verhindern (Klein, 2005: S. 31ff).

## 1.2. STILENTWICKLUNG IN DER NACHKRIEGSZEIT

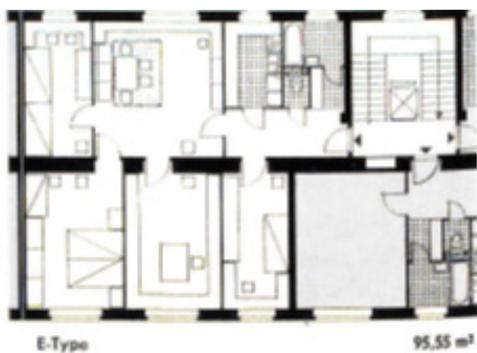
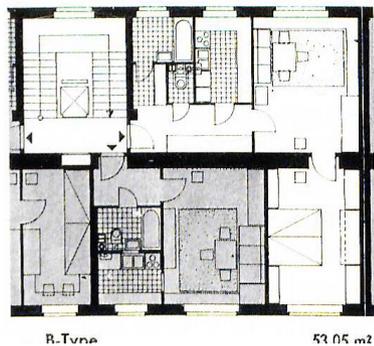
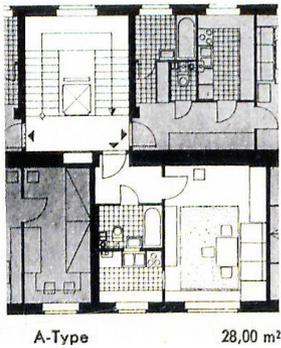
Durch die Nachwirkungen des restriktiven Klimas des Krieges gab es in den ersten Nachkriegsjahren kaum kulturelle Entwicklungen, so auch auf künstlerisch-architektonischer Ebene nicht. Kulturelle Themen konnten erst wieder mit der Normalisierung der Lebensumstände und der staatlichen Souveränität ab 1955 an Boden gewinnen. Langsam wurden internationale Verbindungen wiedergewonnen sowie eine lokale Stilbildung etabliert. Diese Stilbildung entwickelte sich aus einer geistigen Haltung, die von Faktoren wie Freiheit, Sicherheit, Demokratie und sozialer Grundhaltung bestimmt war (Denk, 2008: S. 163ff).

Der Historiker Wolfgang Kos beschrieb den architektonischen Stil der Nachkriegsjahre wie folgt:

„Wenn es einen typischen Stil der Wiederaufbau-Ära und eine architektonische Handschrift des offiziellen Österreich gibt, dann war es also eine moderate und angepasste Moderne – zwar mutlos und halbherzig, aber immerhin redlich und solid. Das Betonen der funktionalistischen und technokratischen Herangehensweise war eine Art ‚curtain wall‘, hinter der vieles diffus bleiben konnte.“ (Kos zit. nach Kos, 1995: S. 8)

Die äußere Erscheinung der Gebäude knüpfte bis ca. 1950 an die Tradition der Superblocks im Stil der Zwanziger- und Dreißiger-Jahre an. Merkmale waren Sattel- oder Walmdächer mit geringem Dachüberstand, eine Fassadengliederung durch Gesimsbänder und Erdgeschosssockel, eine einfache Putzfassade mit sparsamen Details und der meist spärliche Einsatz von gestalterischen Elementen wie Balkonen, Verglasung oder Arkaden. Bis 1960 entwickelte sich eine starke Normierung, die bis zu den konstruktiven und technischen Details reichte. Die Dachneigung wurde zunehmend flacher und immer mehr Flachdächer wurden als Gestaltungselement des neuen Bauens ausgeführt (Bobek/Lichtenberger, 1966: S. 198ff). Ein schwedischer Einfluss ist bei den ersten Wiener Hochhäusern und neuen Konstruktionsformen wie der sogenannten Querwandbauweise erkennbar. Durch diese entstanden stärkere Fassadengliederungen durch Loggien, Stützen und Ansichtsflächen der tragenden Querwände. Oft wurden die Sockelzonen aufgelöst, was Baukörper leichter erscheinen lässt. Auf das Anbringen von Ornamenten wurde generell verzichtet (Marchart, 1984: S. 104).

Das Weglassen von Ornamenten hatte neben stilistischen auch wirtschaftliche Gründe. Die Architektur der 50er-Jahre war noch von den knappen technischen



und materiellen Möglichkeiten geprägt. So wurden gestalterische Aspekte und Wohnkomfort hinten angestellt. Erst in den 60er-Jahren verbesserte sich die finanzielle Lage und somit die Qualität der Wohngebäude. Dies zeigte sich jedoch nur an der Ausstattung der Wohnungen, die Fassaden wurden aus wirtschaftlichen Gründen weiterhin sehr einfach gehalten (Marchart, 1984: S. 43).

Als Vorgaben für die Gestaltung gab es detaillierte Magistrats-interne Richtlinien, deren Ziel das Anstreben der größten Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit der Gebäude war. Diese Aspekte hatten ausdrücklich Vorrang vor der architektonischen Wirkung und Gestaltung. Unter dem Titel „Grundlagen für den Entwurf von Wohnhausbauten“ veröffentlichte die Gemeinde Wien im Jahr 1950 Vorgaben für die Planung des sozialen Wohnbaus. Inhalt waren nicht nur Raumgrößen und deren Anordnung, auch Angaben zur Belichtung und Entlüftung wurden angeführt. Zudem war es erwünscht, möglichst viele genormte Bauteile zu verwenden (Marchart, 1984: S. 67).

### 1.3. GRUNDRISSLÖSUNGEN

Die durchschnittliche Fläche von in den Nachkriegsjahren bis 1951 gebauten Wohnungen lag bei etwa 47 m<sup>2</sup> und war somit deutlich größer als jene der in der Zwischenkriegszeit erbauten (1932-1934 ca. 40 m<sup>2</sup>). Nach der Häuser- und Wohnungszählung im Jahr 1951 änderte sich der Schwerpunkt in der Baupolitik von reiner Quantität zu mehr Qualität, wodurch neu erbaute Wohnungen größer gebaut wurden. Im Jahr 1958 lag die durchschnittliche Wohnungsgröße bei 54 m<sup>2</sup> (Marchart, 1984: S. 83).

Die in der Zwischenkriegszeit erbauten Wohnungen waren meist als Vierspänner in einem rechteckigen Wohnhaus mit einer Mittelmauer angeordnet. Jede Wohneinheit war nur nach einer Seite orientiert, eine Querlüftung war dadurch nicht möglich. Durch die Anordnung der Küche – inklusive Duschmöglichkeit – hinter dem Wohnraum hatte diese kein Außenfenster. In der Nachkriegszeit wurden die Grundrisse weiterentwickelt. Als Beispiel kann die Per-Albin-Hansson-Siedlung angeführt werden; der Erschließungstyp reduzierte sich hier zu einem Dreispänner, wodurch in Bad und Kochnische eine natürliche Belichtung möglich wurde sowie bei zwei der drei Wohnungen eine Querlüftung (Marchart, 1984: S. 85). Erwähnenswert sind auch die 1950 erstmals von Franz Schuster gebauten Duplex-Wohnungen, bei welchen vier kleine Wohnungen mit wenig Aufwand zu zwei Wohnungen zusammengelegt werden konnten, wie in Abbildung 2 ersichtlich. Zu Zeiten der Wohnungsnot war es somit möglich, in kurzer Zeit viele kleine Wohneinheiten zu schaffen, die später zu komfortableren Räumen adaptiert werden konnten (Brunner, Schneider, 2005: S. 48). Des Weiteren entstanden Grundrisslösungen mit größeren Trakttiefen, die eine wirtschaftlichere Bodennutzung ermöglichten. Kritisiert wurde dabei jedoch

Abbildung 1: Wettbewerbsergebnisse über Typen- grundrisse für den sozialen Wohnungsbau 1950

ein großer dunkler Kern, der WC, Vorraum, Bad und Küche beinhaltet.

Der Großteil der Wohnhäuser wurde bis ca. 1958 nach einem fixen Typenprogramm errichtet, siehe Abbildung 1. Der meistgebaute Wohnungstyp war der Typ C und umfasste einen Wohnraum inkl. Kochnische, ein Elternschlafzimmer, ein Kinderschlafzimmer, Bad, WC und Vorraum. (Marchart, 1984: S. 85)

Erst um 1958 war der Großteil des Wiederaufbaus abgeschlossen und die quantitative Wohnungsnot beseitigt (Marchart, 1984: S. 30f).

### Duplex Wohnungen

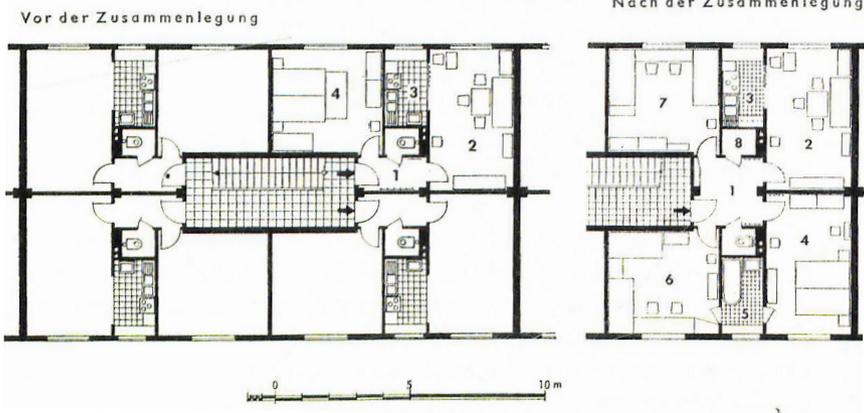


Abbildung 2: Duplex Wohnungen

Wohnungsgrößen und Typen in den ersten Nachkriegsjahren		
Type	Wohnnutzfläche	Raumprogramm
A	25 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Bad, WC, Vorraum
B	48 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Elternschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum
C	56 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Elternschlafzimmer, Kinderschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum
D	57 m <sup>2</sup>	Wohnraum Kochküche, Elternschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum

Abbildung 3: Wohnungsgrößen und -typen in den ersten Nachkriegsjahren

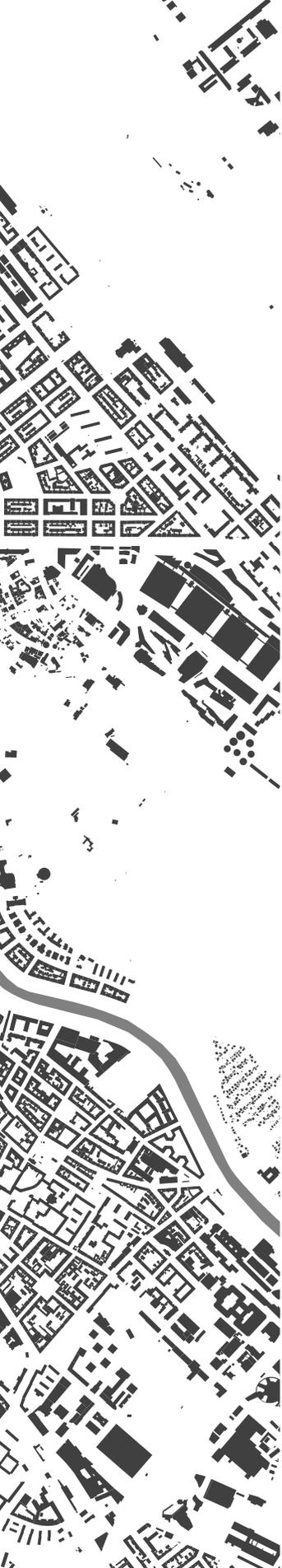
Wohnungsgrößen und Typen 1952		
Type	Wohnnutzfläche	Raumprogramm
A	28 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Bad, WC, Vorraum
B	44 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Schlafzimmer, Bad, WC, Vorraum
C <sub>1</sub>	55 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Elternschlafzimmer, Kinderschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum
C <sub>2</sub>	56 m <sup>2</sup>	Wohnraum mit Kochnische, Elternschlafzimmer, Kinderschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum
D	87 m <sup>2</sup>	Wohnraum Kochküche, Elternschlafzimmer, 2 Kinderschlafzimmer, Bad, WC, Vorraum

Abbildung 4: Wohnungsgrößen und -typen 1952





Abbildung 5: Lageplan Wien



## 2. GEORG-EMMERLING-HOF

Der Georg-Emmerling-Hof befindet sich im zweiten Wiener Gemeindebezirk in der Oberen Donaustraße 97-99 und wurde 1954 bis 1956 nach den Plänen von den Architekten Rudolf Hofbauer, Elisabeth Hofbauer-Lachner und Leo Kammel jun. gebaut. Die Wohnhausanlage umfasst 208 Wohnungen und ist nach Georg Emmerling, dem Vizebürgermeister Wiens von 1919 bis 1934 benannt (Czeike, 1993: Band 2, S. 502).

In den folgenden Kapiteln soll ein Einblick in die architektonische Entwicklung des Georg-Emmerling-Hofs sowie seiner Umgebung gegeben werden. Dieser soll nicht nur in einen historischen Kontext eingebettet werden, sondern vor allem auch markante Neubauten berücksichtigen, deren Gestaltung in weiterer Folge im vorliegenden Entwurf berücksichtigt wird.

### 2.1. HISTORISCHER KONTEXT

Das Grundstück liegt nördlich des Donaukanals in der Leopoldstadt, an der Kreuzung der Lilienbrunnungasse mit der Oberen Donaustraße. Anschließend an die Lilienbrunnungasse stellt die Marienbrücke eine Verbindung zum Franz-Josefs-Kai im ersten Bezirk dar.

#### 2.1.1. MARIENBRÜCKE

Am südlichen Ende der Marienbrücke befand sich das nördliche Haupttor des mittelalterlichen Wiens, das nach dem markanten Rotenturm benannt war. Vor dem Rotenturmtor war das Hafengebiet des Donauarms, der als Transportweg große Bedeutung besaß. Salz, Bausteine, Granit, Holz und Lebensmittel wurden auf dem Wasserweg herangebracht (Czeike, 1993: Band 2, S. 69). Aus strategischen Gründen lag der Hauptübergang über den Donauarm damals etwa 200 m weiter flussabwärts, dadurch konnten Feinde am Weg von der Brücke zum Stadttor unter flankierten Beschuss genommen und so leichter besiegt werden. Erst am Ende des 19. Jahrhunderts, als die Stadtmauern zur Verteidigung an Bedeutung verloren hatten und infolgedessen geschliffen wurden, wurde begonnen, den inzwischen zum Donaukanal ausgebauten Donauarm an dieser Stelle mit der Marienbrücke zu überbrücken (Boeck, 1953: S. 9).

Im Frühjahr 1945 wurde die Brücke im Zuge des 2. Weltkrieges gesprengt und das stählerne Bogentragwerk stürzte in den Donaukanal. Im Jahr 1951 entschloss die Stadt Wien den Neubau der Marienbrücke auszuschreiben, welche bis 1953 in Form einer technisch und wirtschaftlich günstigen Stahlbetonbrücke errichtet wurde (Czeike, 1993: Band 4, S. 18).



Salztorbrücke

Morzinplatz

Marienbrücke

Obere Donaustraße

Schwedenbrücke

Schwedenplatz

Abbildung 6: Lageplan  
Georg-Emmerling-Hof

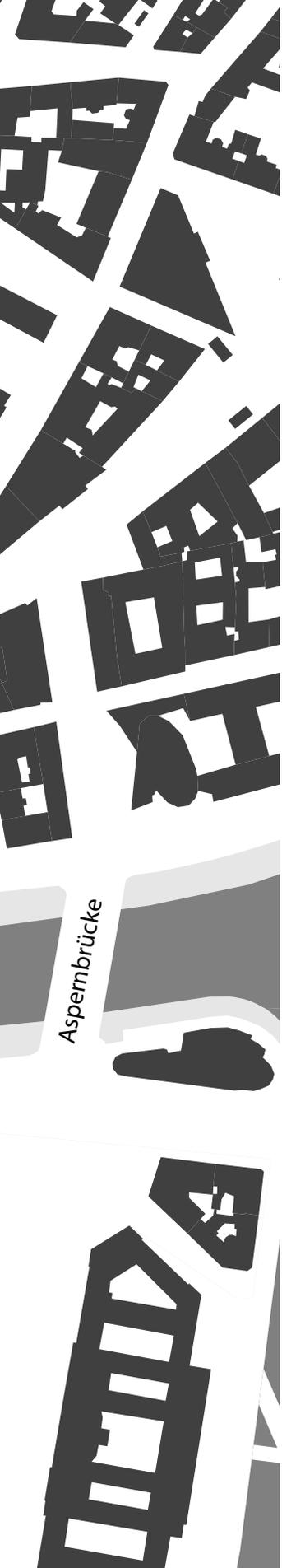


Abbildung 7: Ansicht der Stadt Wien 1490 mit dem Rotenturmstich (Boeck, 1953: S. 5)



Abbildung 8: Marienbrücke um 1913, Blick Richtung Obere Donaustraße

## 2.1.2. DER DONAUKANAL NACH DEM KRIEG

Wien wurde im zweiten Weltkrieg Ziel von 52 Luftangriffen. Besonders in den letzten Kriegstagen gab es im Bereich des Donaukanals schwere Kämpfe zwischen SS-Einheiten und der Roten Armee, wobei die Gebäude auf beiden Seiten des Kanals stark beschädigt wurden. Ganze Häuserzeilen am Franz-Josefs-Kai erlitten einen Totalschaden, unter ihnen waren auch so prächtige Bauten wie der Herminenhof (Abbildung 9) und das Hotel Metropol. Im Bereich zwischen Morzinplatz und Laurenzberg wurde die erste Häuserreihe nicht mehr aufgebaut. Diese Flächen sind heute Teil des Schwedenplatzes (Denk, 2008: S. 173ff).



Abbildung 9: Blick über die Marienbrücke Richtung Franz-Josefs-Kai und Herminenhof 1906

Das Gebiet beiderseits des Donaukanals wurde nach dem Krieg als Neugestaltungszone verstanden. 1946 wurde zu diesem Thema sogar ein Ideenwettbewerb ausgerufen, wobei besonders auf die Verbindung der zwei Ufer und die dazu nötige Infrastruktur geachtet werden sollte. Als Entwürfe im Rahmen des Wettbewerbs wurden unter anderem auch zukunftsweisende Ideen abgegeben. So zum Beispiel von Lois Welzenbacher, der mit seinem städtebaulichen Entwurf versuchte, den Donaukanal als Fluss aufzuwerten und ihn in die Stadt besser miteinzubeziehen. Durch von Freiräumen umgebene Zeilen und Hochhausbauten sollte eine Auflockerung der Stadtlandschaft entstehen. Hochhaustürme hatten dabei eine besondere Bedeutung, sie sollten zur Orientierung und als torartige Sichtbeziehungen über den Donaukanal dienen.

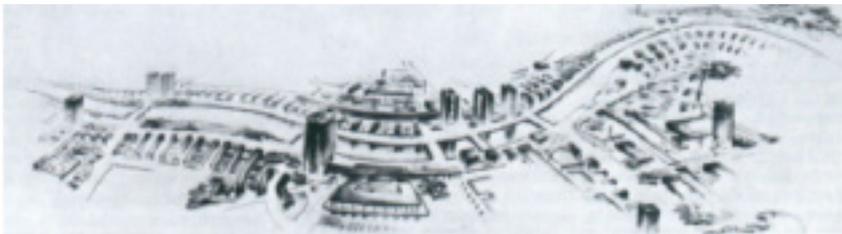


Abbildung 10: Entwurf Lois Wenzelbacher 1946

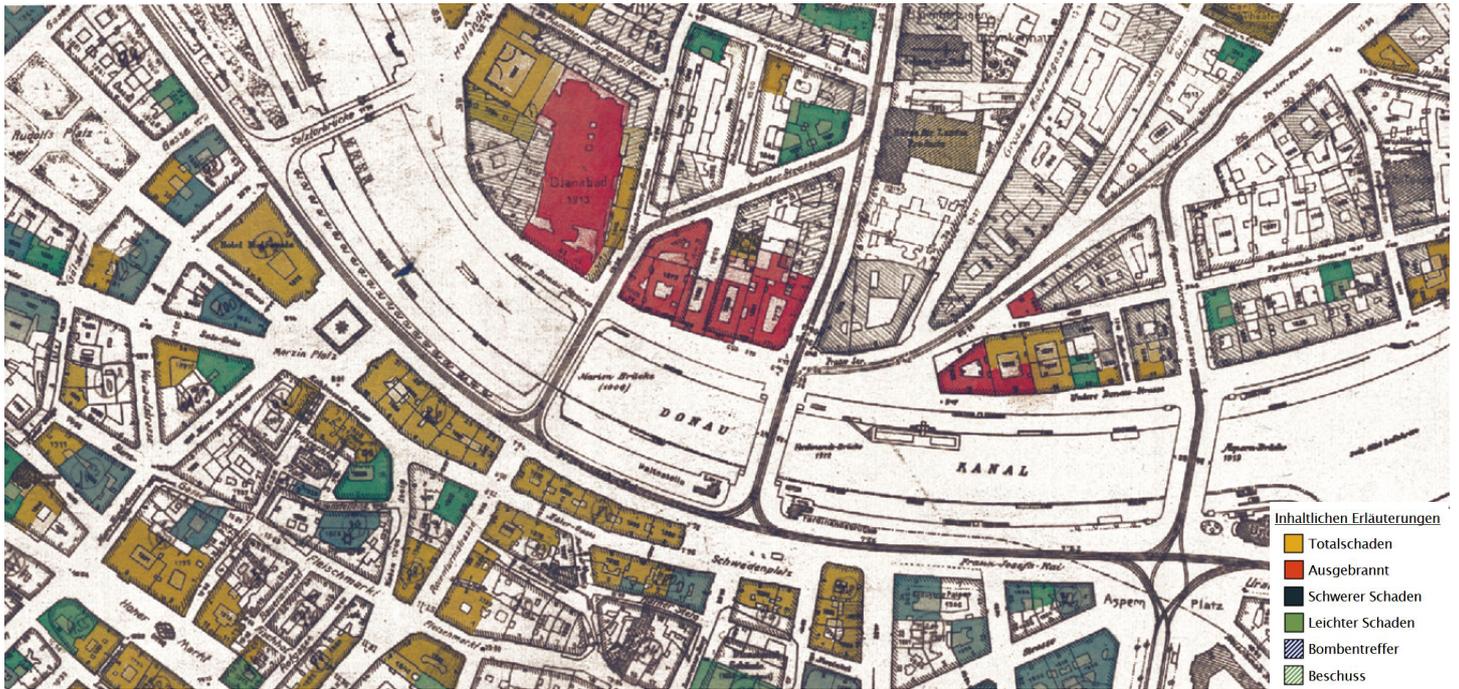


Abbildung 11: Kriegsschäden um 1946



Abbildung 12: Stadtplan 2018

Durch den notgedrungenen Pragmatismus der Nachkriegszeit wurden diese Ideen jedoch nicht verwirklicht. Der Wiederaufbau erfolgte viel mehr sukzessive Gebäude nach Gebäude. Dementsprechend wurde keine einheitliche städtebauliche Gestaltung erreicht, was stark kritisiert wurde.

Einen weiteren Einflussfaktor auf die Entwicklung des Gebietes bildete die steigende Motorisierung: Dem Verkehr wurde immer mehr Platz zugesprochen, wodurch auch der Gestaltung des Schwedenplatzes Grenzen gesetzt wurden. So wurde dieser durch das starke Verkehrsaufkommen vom Donaukanal abgegrenzt, ganz entgegen der Pläne von Lois Welzenbacher. Dies ist bis heute ein städtebaulich viel diskutiertes Thema.

(Denk, 2008: S. 173f)

### 2.1.3. SCHÖLLERHOF

Auf einem Teil des Areals, auf dem heute der Georg-Emmerling-Hof steht, befand sich im 19. Jahrhundert der 1828 erbaute Schölllerhof, an den heute noch die naheliegende Schölllerhofgasse erinnert. Er wurde von der Industriellenfamilie Schölller erbaut, welche durch ihre Zuckerraffinerien und Eisenindustrie bekannt war. Teil des Schölllerhofes war der damals sehr bekannte Kettenbrückensaal, der seinen Namen von dem ebenfalls 1828 erbauten Carl-Ketten-Steg erhielt und in dem Johann Strauß (Vater) erstmals seinen Kettenbrückenwalzer erklingen ließ. Mit dem Bau der Gredlerstraße ab 1897 mussten Teile des Hofes der neuen Straße weichen. Auf andern Parzellen des Hofes entstanden Anfang des 20. Jahrhunderts im Zuge der Neugestaltung des Stadtviertels neue Gebäude. Im zweiten Weltkrieg wurden die Gebäude auf dem Grundstück des heutigen Georg-Emmerling-Hofes zerstört. 1951 erwarb die Stadt Wien dieses Grundstück und von 1954 bis 1956 wurde der Georg-Emmerling-Hof errichtet (Czeike, 1993: Band 2, S. 502).



Abbildung 13: Kettenbrückensaal. Radierung von Johann Wenzel Zinke nach einer Zeichnung von Johann Christian Schoeller, 1827



Abbildung 14: Umgebung des Georg-Emmerling-Hofs



Abbildung 15: Lageplan Fassadengestaltung am Donaukanal

## 2.2. FASSADENGESTALTUNG AM DONAUKANAL

Der Donaukanal hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Noch Anfang der 90er Jahre war er ein kaum beachtetes Gebiet. Heute bietet der innerstädtische Bereich eine Vielfalt an Qualitäten: Natur, Gastronomie, Freizeitkultur und Wirtschaftsleben prägen mittlerweile das Bild des Kanals. Nachdem bereits zahlreiche Flächen durch Gastronomiebetriebe genutzt werden, wird mittlerweile über den Erhalt der öffentlichen Bereiche diskutiert. Der Donaukanal ist zu einer beliebten Verdichtungszone des öffentlichen Lebens in Wien geworden.

Auf der Leopoldstädter Seite des Donaukanals ist in den vergangenen Jahren durch einige Hochhausprojekte eine Skyline entstanden. Die hier vorherrschende Architektur ist von Glasfassaden, Stahl- und Betonkonstruktionen geprägt. Diese Projekte sind alle mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Nutzung erbaut worden. In direkter Nachbarschaft des Georg-Emmerling-Hofs flussabwärts befindet sich nun der Media Tower von Hans Hollein sowie das Hochhaus PS1 von Jean Nouvel, flussaufwärts wurden das IBM-Zentrum von Georg Lippert und die Raiffeisen Zentrale samt 78 m hohen Zubau von HD Architekten erbaut.



Abbildung 16: Raiffeisen-Klimaschutz-Haus zwischen den Gebäuden von Georg Lippert



Abbildung 17: Dianabad und Marienbrücke vor dem 2. WK



Abbildung 18: IBM-Zentrale und Marienbrücke 2018

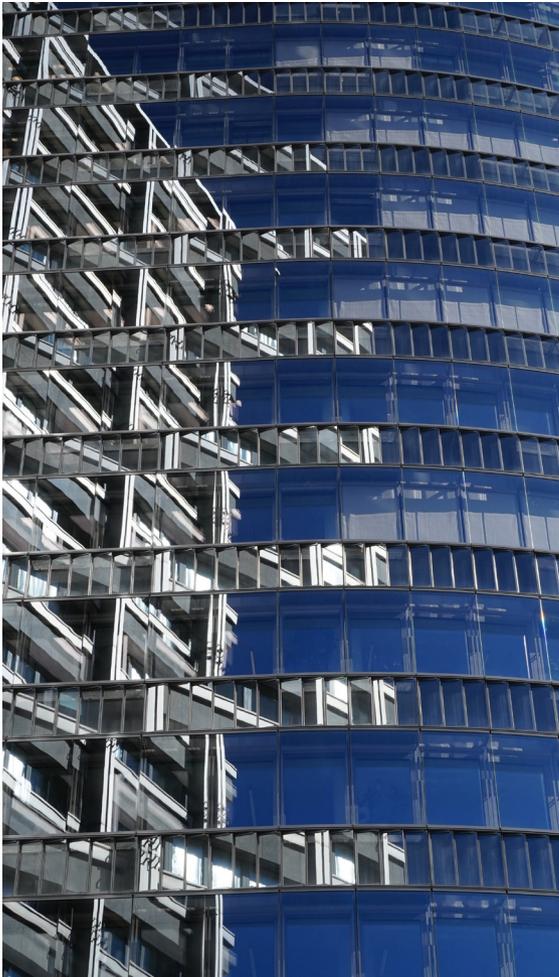


Abbildung 19: Glasfassade Raiffeisen Hochhaus

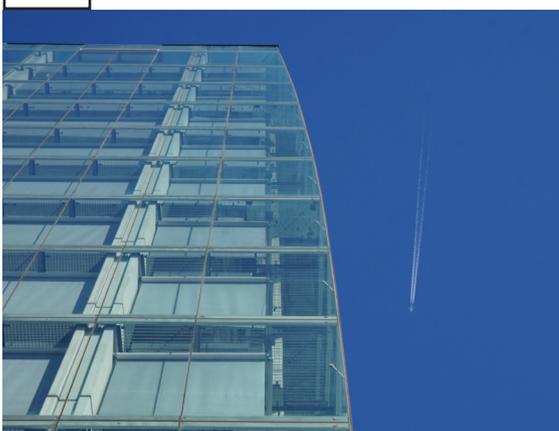


Abbildung 20: Glasfassade IBM-Zentrale

## 2.2.1. RAIFFEISEN KLIMASCHUTZ-HOCHHAUS

Das IBM-Zentrum bildet zusammen mit dem etwas höheren Raiffeisenhaus ein Hochhausensemble der 1960er Jahre, von Georg Lippert. 2013 erhielt das Raiffeisenhaus einen Zubau in Gestalt eines Büroturmes. Der Zubau wurde mit Zielen hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit, des Klimaschutzes und der Energieeffizienz geplant. Seine Form entstand darüber hinaus in Rücksicht auf die Gebäude in der Umgebung und deren Belichtung. Zur Energiegewinnung trägt ein Mix aus mehreren Quellen bei: Das Wasser des Donaukanals wird zur Kühlung und Erwärmung des Gebäudes genutzt, der größte Teil der Energie wird mit einer Kraftwärme-Kälte Kopplungsanlage, die mit Biogas befeuert wird, erzeugt. Eine Photovoltaikanlage am Dach des Gebäudes leistet einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung. Das von HD Architekten geplante, rund 80 Meter hohe, Gebäude gilt als das erste Passiv-Bürohochhaus der Welt (Bauer, 2011: S. 128ff).

## 2.2.2. IBM-ZENTRUM

Direkt neben dem Georg-Emmerling-Hof befindet sich im Nord-Westen das IBM-Zentrum von Georg Lippert. Bis zum Ersten Weltkrieg befand sich hier der Hoteltrakt des Dianabades, welches kurz vor dem ersten Weltkrieg im Jugendstil nach den Plänen von Paul Brang gebaut wurde (Kupf, 2008: S. 129).

Das IBM-Zentrum wurde von 1967 bis 1969 erbaut und stellt mit einer Höhe von 48 m und einer Länge von 22 m sowie einer strengen Fassadenteilung ein sehr markantes Gebäude am Donaukanal dar. Nicht nur die funktionalistische Fassade, sondern auch die Positionierung des Gebäudes ohne Berücksichtigung des städtebaulichen Kontextes sorgte immer wieder für Kritik.

Im Rahmen einer Sanierung sollte auch eine architektonische Verbesserung erreicht werden. Rudolf Prohazka gewann den dafür ausgelobten Wettbewerb und von 1999 bis 2001 wurde das IBM-Zentrum saniert. Der Entwurf sah eine konvexe Glashaut als zusätzliche Hülle an drei Seiten vor. Diese zweite Haut erfüllt mehrere Funktionen: So verbessert sie den Schallschutz, ein Sonnenschutz kann windgeschützt und effizient hinter der Glasfassade angebracht werden und auch der Wärmebedarf wird gesenkt. Mit der leichten Bombierung der Fassade entsteht zudem eine subtile städtebauliche Interpretation der Flussbiegung. Trotz der nur leicht reflektierenden Glaselemente wirkt das noch gut erkennbare Betonraster viel leichter, und auch das denkmalpflegerische Interesse konnte durch das Übereinander von Alt und Neu berücksichtigt werden (Zschokke, 2002: S. 55ff).



Abbildung 21: links der Brücke der Mediatower, rechts das PS1



Abbildung 22: PS1 Dachgeschoss



Abbildung 23: PS1 Beleuchtung

### 2.2.3. MEDIA TOWER

Keine hundert Meter flussabwärts vom Georg-Emmerling-Hof markieren am Ende der Schwedenbrücke zwei Türme der Uniqa ein Tor zum zweiten Bezirk: der Media Tower von Hans Hollein und der Hochhausturm PS1 vom Pariser Atelier Jean Nouvel.

Dass sich Hans Hollein als Bildhauer im Großen verstand, sieht man auch an seinem 2001 gebauten Hochhaus am Donaukanal. Es könnte wie eine dreidimensionale Collage verstanden werden, die auf ihre Umgebung mit unterschiedlichen Versatzstücken reagiert. So nahm er die Traufhöhe der gründerzeitlichen Bebauung in der Taborstraße in einem Block mit einer steinernen Lochfassade auf. Auf der Seite zur Oberen Donaustraße orientierte sich der Architekt an der Fassadenteilung des in den 60ern gebauten IBM-Zentrums von Georg Lippert. Der höchste Teil des Bauwerkes ist ein Turm mit einer leichten Neigung zur Taborstrasse hin. Ausgeglichen wird diese Neigung durch eine gegenläufige Schräge im unteren Teil in Richtung Schwedenplatz. Auch auf die Formen des IBM-Zentrums – genauer genommen auf die leicht konkave Dachlinie – reagiert das mehrfach gewölbte Dach des Veranstaltungsraumes im obersten Stock des vorderen Bauteiles (Kühn, 2001).

### 2.2.4. PS1

Der Bau von Jean Nouvel setzt sich aus zwei Hauptkörpern zusammen, die zwar einfache Geometrien aufweisen, aber durch eine leichte Unregelmäßigkeit eine interessante Dynamik erzeugen. Aus diesem kompakten, grau vertäfelten Volumen werden in Form einer Vollverglasung zwei Volumina geschnitten. Diese Ausschnitte, einer im Dachgeschoss und ein schräger Ausschnitt im unteren Teil, prägen kombiniert mit je einer bunten Lichtdecke die markante Erscheinung des Gebäudes. Die Nutzer des Turms sind das Hotel Sofitel Vienna Stephansdom und das Designkaufhaus Stilwerk. Als Highlight kann das Restaurant „le Loft“ im Dachgeschoss gesehen werden, von dem das Deckenkunstwerk durch die spiegelnde Glasfassade bis weit in die Stadt zu scheinen scheint (Kuzmany, 2011)



Abbildung 24: K47

### 2.2.5. K47

Auf der rechten Donaukanalseite, somit im ersten Wiener Bezirk, sticht vor allem das K47 von Henke Schreieck Architekten zwischen den Gründerzeit- und Nachkriegsbauten heraus. Den Namen hat das von 2001 bis 2003 gebaute Haus von seiner Adresse am Franz-Josefs-Kai 47. An dieser Stelle stand zuvor der Kaipalast, ein denkmalwürdiges Stahlbeton-Gebäude von Ignaz Reiser, das jedoch als abbruchreif erklärt wurde.

Der Neubau ist ein siebenstöckiger, opaker, transparenter Glaskörper mit aufgesetzter Skybox. Aus dem Kubus wurden drei Volumina herausgeschnitten: zwei an der Fassade ablesbare Außenhöfe und ein imposantes glasgedecktes Atrium als Zentrum. An der Fassade befinden sich geschosshohe, schwenkbare Sonnenschutzlamellen aus Weißglas, die den Lichteinfall steuern und die Hülle des Gebäudes in glatte und plastische Oberflächen gliedern. Über dem Gebäude schwebt eine völlig transparente Skybox die sich von der umgebenden Dachlandschaft deutlich abhebt (Kaiser, 2003).



Abbildung 25: Orientierungsplan  
Georg-Emmerling Hof



## 2.3. BESTANDSANALYSE

In den folgenden Kapitel wird der Georg-Emmerling-Hof genauer beschrieben und als Ausgangslage für eine neue Fassade auf seine Energieeffizienz, Verschattungen, den Schallschutz und die Sommertauglichkeit hin untersucht.

### 2.3.1. BESCHREIBUNG DER BAUFORM

Das Gebäude besteht aus mehreren rechtwinkligen Trakten, die einen begrünten Hof umschließen. Zum Donaukanal hin befindet sich ein nur zweigeschossiger, breiter Trakt mit einem Flachdach, der den Blick auf die dahinterliegenden höheren Trakte freigibt, wodurch diese auch besser belichtet werden. Die restlichen Bauteile sind sechs bis sieben Stockwerke hoch.

An den Ecken des Hofes sitzen nach außen verlängerte Trakte. Zwei Trakte auf der Ostseite bei Stiege Fünf und Sieben bilden zusammen mit den Nachbarhäusern zwei kleinere Höfe (Hof 1 und Hof 2). Auf der nördlichen Seite ragen zwei Trakte in den Verkehrsraum der Lilienbrunnngasse, sie werden durch Kolonnaden durchbrochen und nehmen den Gehsteig der Lilienbrunnngasse auf.

Der vordere dieser zwei Bauteile (Stiege 1) ist mit acht Geschossen der höchste Trakt und ist durch eine zweigeschossige Sockelzone gekennzeichnet. Über den Kolonnaden befinden sich zwei Natursteinreliefs als Supraporten, welche die Fassade symmetrisch gliedern. Die Reliefs wurden von 1954 bis 1956 geschaffen und tragen den Titel „Fischer und Schiffer“ und „Handel und Gewerbe“ (Abbildung 34, 35) (Czeike, 1993: Band 2, S. 502). Am Eck zum mittleren Trakt sind die Sockelzone und ein Teil des Natursteinreliefs mit wildem Wein bewachsen. Die Fassade oberhalb der Sockelzone ist durch Fenster im Hochformat charakterisiert. Die Fenster haben eine Abmessung von 110 cm auf 150 cm. Über der Sockelzone und im obersten Stock befindet sich neben dem Dachgesims ein ausladendes Fenstergesims, das die Horizontale betont. Die Gesimse und die Fenster im Hochformat sind auch Merkmale der restlichen Baukörper. Rund um das oberste Stockwerk befinden sich ebenfalls Kolonnaden mit schmalen rechteckigen Stahlbetonstützen und breiten, verputzten Eckpfeilern. Dahinter befinden sich schmale Terrassen. Dieser am Ende der Marienbrücke positionierte Trakt – sozusagen am Eingang zum zweiten Bezirk – springt auch auf der Seite zur Oberen Donaustraße etwas nach vorne und hebt sich so vom restlichen Gebäude ab.

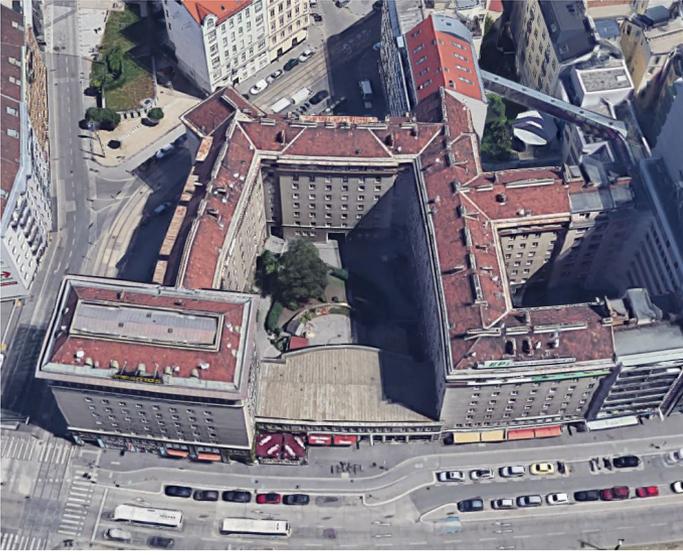


Abbildung 26: Georg-Emmerling-Hof, Google Earth



Abbildung 27: Ansicht von der Schwedenbrücke



Abbildung 28: Ansicht von der Marienbrücke

Auf der Straßenseite des mittleren Traktes befinden sich in der Erdgeschossfassade große Auslagenfenster mit profilierten Steinrahmen. Dadurch, dass der anschließende Trakt ca. fünf Meter weiter vorne sitzt, ist der Gehsteig vor dem mittleren Trakt etwas breiter. Dieser Platz wird von einem Restaurant als Terrasse genutzt. Ein Radweg und eine Parkplatzspur trennen diesen Freiraum von der dreispurigen Oberen Donaustraße. Im zweiten Geschoss befindet sich ein Fensterband aus horizontalen Fenstern. Durch die Unterbrechung des Fensterbandes, in Form von genuteter Putzfelder, entsteht eine symmetrische Gliederung. Die Trauflinie des mittleren Traktes läuft mit dem erhöhten Sockel des Ecktraktes zusammen.

Der Hof ist vor allem durch die gewölbte Fassade des niedrigen Bauteiles und einen Mittelrisalit des gegenüberliegenden Bauteiles gekennzeichnet. Die Fassaden im Hof besitzen auch eine erhöhte Sockelzone mit darüberliegendem Gesimse und einem Gesimse im letzten Stock.

Das Dach ist ein einfaches Satteldach mit einer Neigung von ca. 30 Grad. Hier hebt sich wieder der Eckbauteil auf Stiege 1 ab, dieser hat ein Walmdach. Der zweigeschossige Mitteltrakt hat ein Flachdach mit Blechdeckung. Die Steildächer besitzen eine Pressfalzziegeldeckung. Am Trakt parallel zur Lilienbrunnengasse und zur Gredlerstrasse befinden sich auf der Straßenseite der Dächer über einen Großteil der Traktlänge Gaupen.

Die Wohnhausanlage hat 8 Stiegen, die über einen Hof erschlossen werden. Der Zugang zu den Stiegen 1 bis 4 und 8 erfolgt über den großen Hof 3. Stiege 5, 6 und 7 sind über den kleineren Hof 1 erreichbar.

Die einzelnen Baukörper weisen eine Trakttiefe von ca. elf Metern auf und besitzen tragende Außenwände sowie eine tragende Mittelmauer. Das Stiegenhaus, ein Drei- bis Fünfspänner, liegt an der Außenwand, wodurch es natürlich belichtet wird. Nur Stiege 1 weist zwei tragende Mittelmauern und eine Trakttiefe von ca. 17 Metern auf. Über das Stiegenhaus sind bei dieser Stiege pro Stockwerk bis zu acht Wohnungen erreichbar, wobei über diese Stiege auch der Zugang zu zwei Wohnungen vom angrenzenden Trakt erfolgt. In diesem Trakt ist durch die größere Tiefe in keiner Wohnung eine Querlüftung möglich. Bei den Stiegen 2 und 6 befindet sich gegenüber der Stiege eine kleinere, einseitig orientierte Wohnung und links und rechts der Stiege eine beidseitig orientierte Wohnung. Bei den restlichen Stiegen ist die Wohnungsaufteilung durch die Ecksituationen des Hofes etwas abgeändert (Abbildung 39, 40).





Abbildung 32: Hofansicht Stiege 8



Abbildung 33: Hof 3

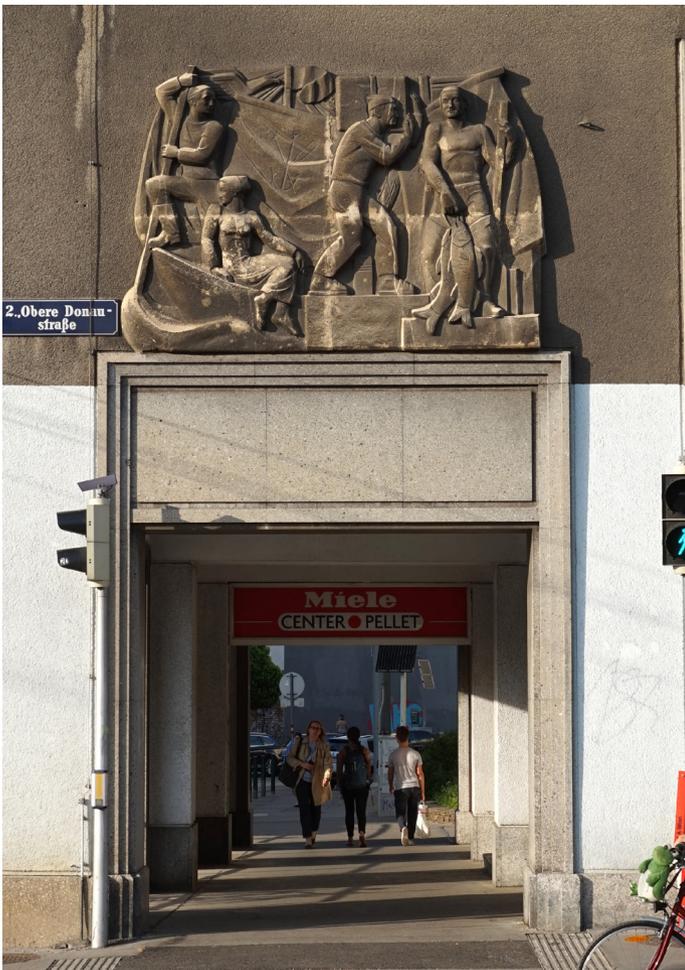


Abbildung 34: Natursteinrelief „Fischer und Schiffer“

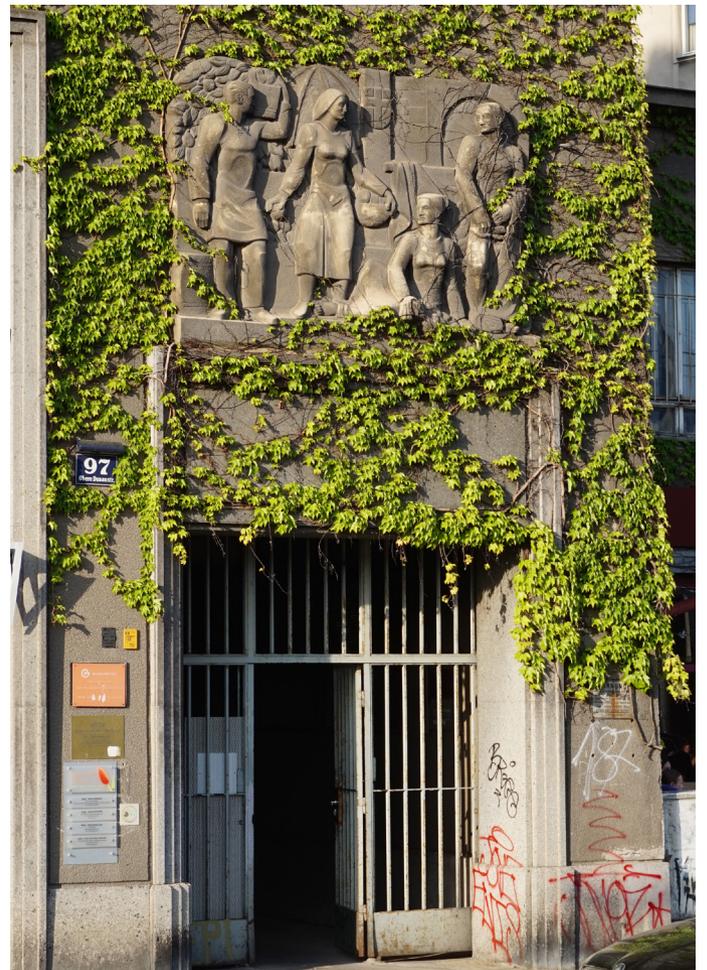


Abbildung 35: Natursteinrelief „Handel und Gewerbe“

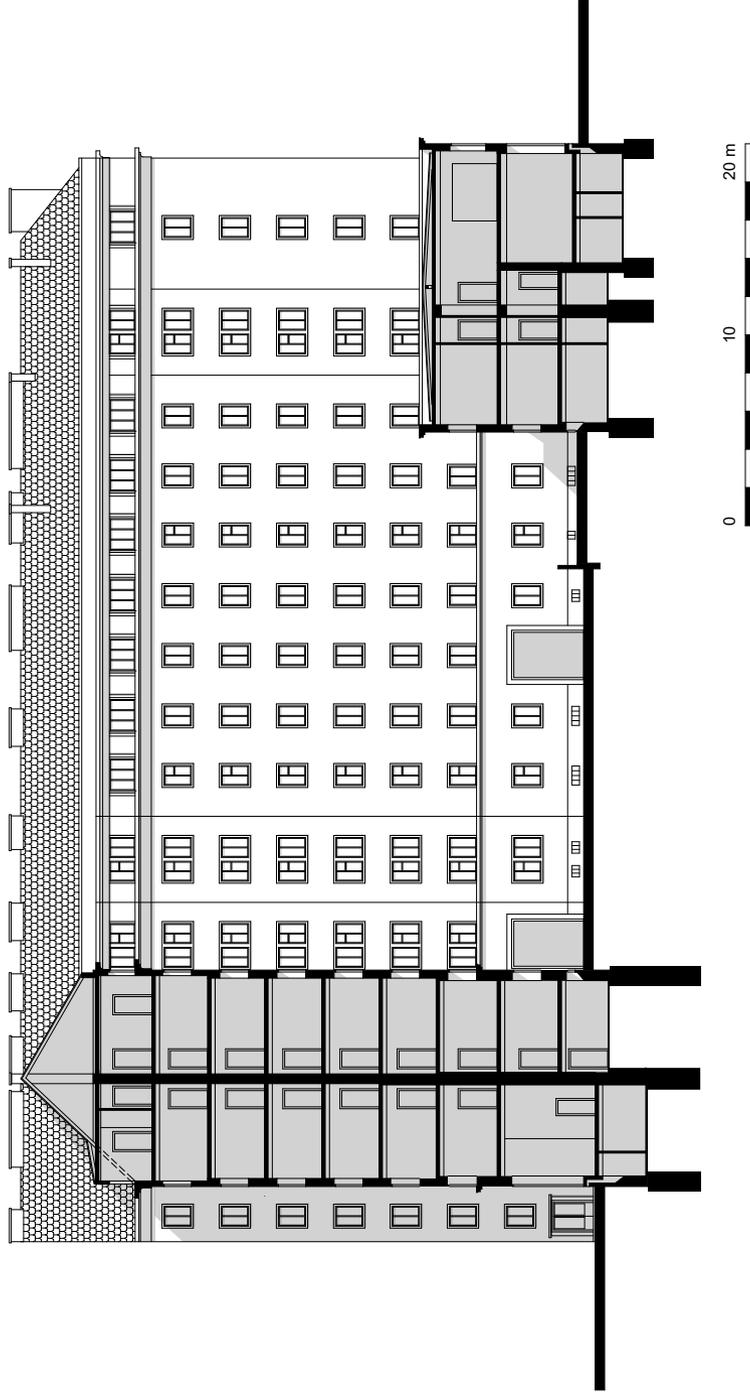


Abbildung 36: Schnitt Hof

Die Wohnungen wurden nach dem Wiener Typenprogramm und entsprechenden Grundrisstypen A, B, C1 und C2 geplant, wobei der größte Anteil davon Kategorie B Wohnungen sind. Es wurden 44 Kategorie A, 77 Kategorie B, 48 Kategorie C1 und 33 Kategorie C2 Wohnungen geplant.

Typ	Anzahl	Räume
A	44	Wohnzimmer, Kochnische, Bad, WC
B	77	Wohnzimmer, Kochnische, Schlafzimmer, Bad, WC
C1	48	Wohnzimmer, Kochnische, 2 x Schlafzimmer, Bad, WC
C2	33	Wohnzimmer, Küche, 2 x Schlafzimmer, Bad, WC
S	6	Wohnzimmer, Küche, Schlafzimmer, Bad, WC

Summe 208

Die Raumfolge gestaltet sich meist folgendermaßen: Die Nassräume sind jeweils zu einer Einheit gruppiert, das WC ist vom Vorraum aus betretbar, die Kochnische wird über das Wohnzimmer erschlossen und das Bad ist nur über die Kochnische erreichbar. Auch das Schlafzimmer hat seinen Zugang im Wohnzimmer. Nur bei den Typen C2 und S besitzt die Küche einen eigenen Zugang über den Vorraum, das Bad ist wieder über die Küche erreichbar. Das Bad und die Küche liegen an der Außenwand, jedoch besitzt nur die Küche ein Fenster.

## NUTZUNGSMIX

Das Erdgeschoss wird hauptsächlich für Geschäfts- und Gastronomieflächen genutzt. Im Mitteltrakt (Stiege 8) befindet sich auf der Hofseite und im gesamten ersten Stockwerk ein Kindergarten, von den Kindern wird auch der Großteil des Hofes als Spielplatz genutzt (Abbildung 39). In den oberen Geschossen befinden sich neben einigen Ordinationen und Büros hauptsächlich Mietwohnungen. Im letzten und im ersten Stock der Stiege 1 befinden sich ausschließlich Büroräume.

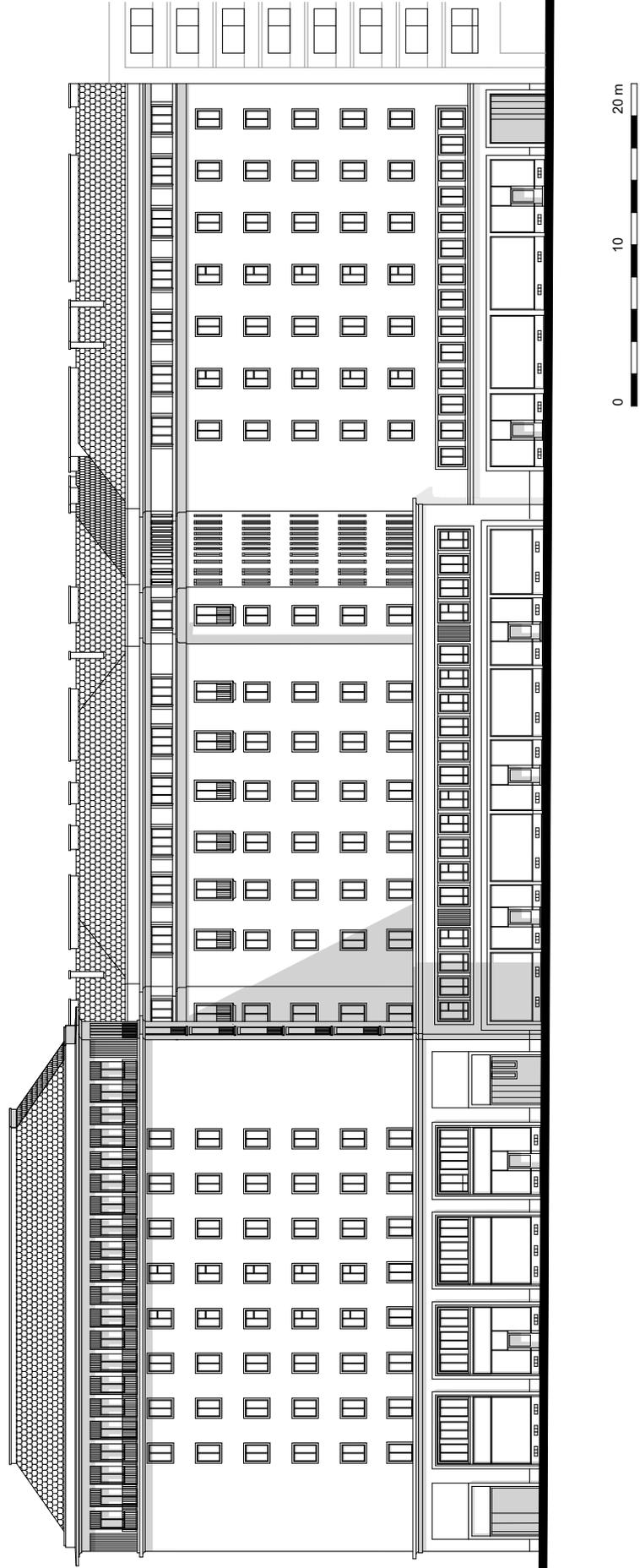


Abbildung 37: Ansicht Obere Donaustrasse

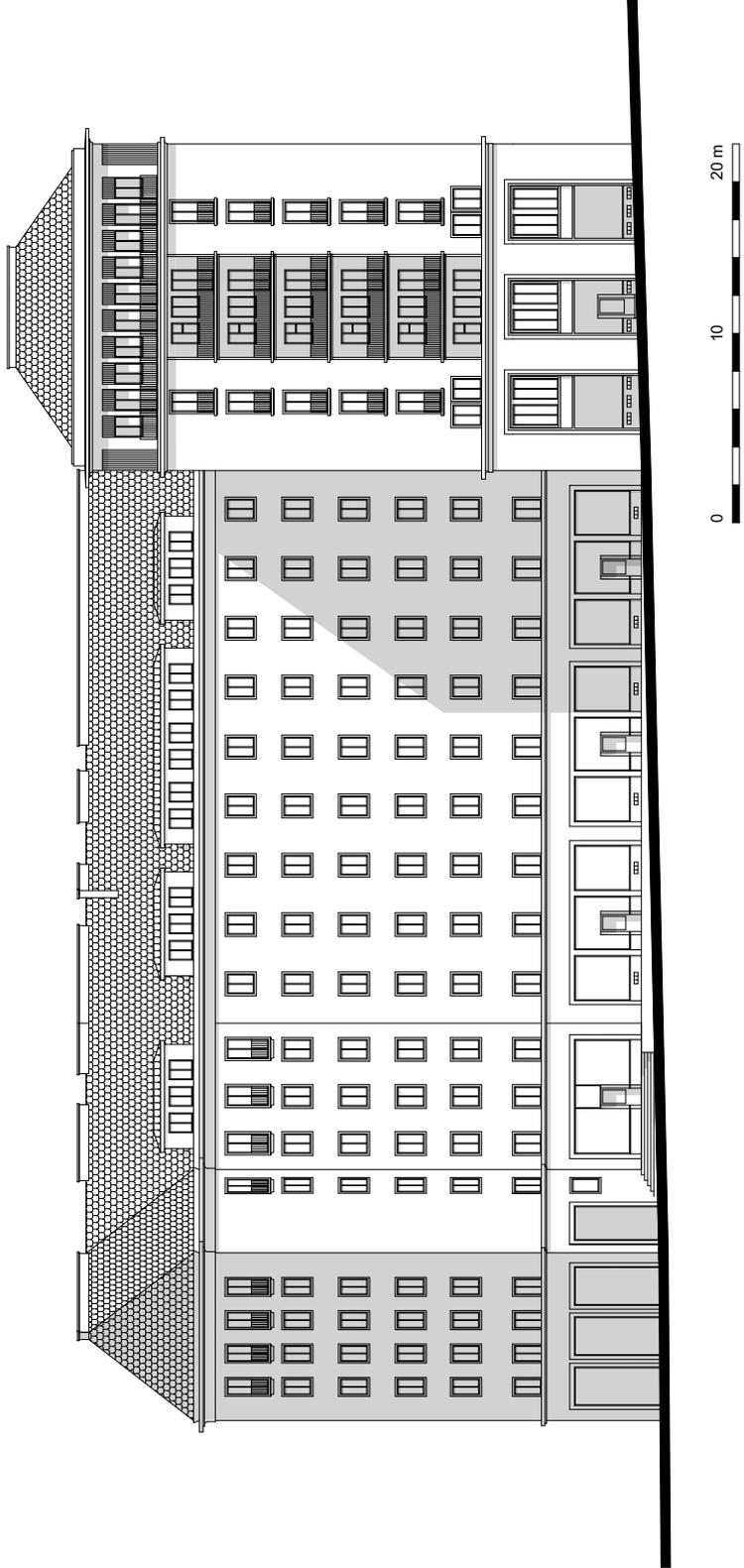


Abbildung 38: Ansicht Lilienbrunnengasse



Abbildung 39: Grundriss Erdgeschoss



Abbildung 40: Regelgrundriss



## 2.3.2. ENERGIEEFFIZIENZ

Um das Gebäude in Hinsicht auf seine Energieeffizienz bewerten zu können, wird ein Energieausweis zum Bestandsgebäude erstellt. Damit dieser später mit den Werten des sanierten Gebäudes verglichen werden kann, werden verschiedene Kennzahlen berechnet.

Der Energieausweis wurde auf Basis der am Magistrat aufliegenden Bestandspläne vom 21.12.1956 erstellt. Mit den Bestandsplänen konnten die Daten der Hüllflächen berechnet, die Geometrie erfasst sowie Abschätzungen der Bauteilaufbauten getroffen werden. Weitere wichtige Informationen konnten durch eine Begehung des Bestandsgebäudes und Recherchen zu den Bauteilen gewonnen werden.

Für die Erstellung des Energieausweises wurde das Gebäude zuerst in dem Programm Archicad 19 als 3D Model gezeichnet und anschließend in das Programm Archiphysik 15.0 importiert, mit dem die Energiekennzahlen berechnet wurden.

### 2.3.2.1. GEBÄUDEGEOMETRIE

Insgesamt 208 Wohneinheiten und Geschäftslokale beherbergt der Georg-Emmerling-Hof auf 19.434 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche. Mit einem beheizten Volumen von 62.554 m<sup>3</sup> und einer thermischen Hüllfläche von 16.684 m<sup>2</sup> errechnet sich eine charakteristische Länge (IC) von 3,75 m, die die Kompaktheit des Gebäudes beschreibt. Ausschlaggebend für dieses Ergebnis sind die Gebäudehöhe (über 28 m), die Trakttiefe und die Anordnung der Baukörper. Zum Vergleich: Ein zweigeschossiges, freistehendes Einfamilienhaus mit einer Brutto-Grundfläche von 150 m<sup>2</sup> hat im Durchschnitt einen IC-Wert von 1,2. Das dem Georg-Emmerling-Hof benachbarte IBM-Bürogebäude besitzt mit einer sehr kompakten Form und einer wesentlich höheren Gebäudehöhe und -tiefe eine charakteristische Länge von ca. 6,9 m. In Abbildung 41 sieht man einen Vergleich möglicher Gebäudeformen mit der gleichen Brutto-Grundfläche wie der des Georg-Emmerling-Hofs.

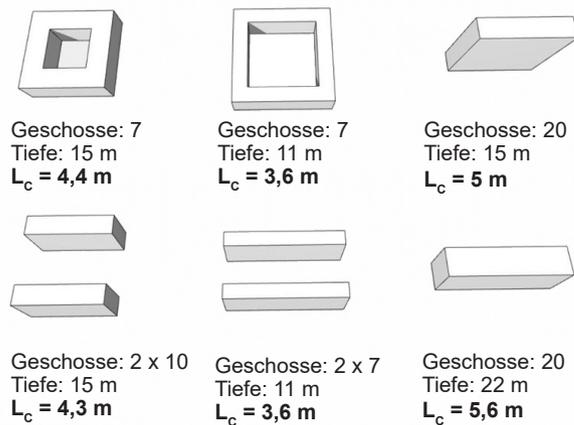


Abbildung 41: Vergleich der Kompaktheit verschiedener Baukörper mit der Brutto-Grundfläche des Georg-Emmerling-Hofs

### 2.3.2.2. BAUTEILE

Für die Berechnung der U-Werte der bestehenden Bauteile wurden die Aufbauten analysiert, um anschließend mit Archiphysik weiterzurechnen.

Die Außenwände des Georg-Emmerling-Hofs haben eine Stärke zwischen 64 - 25 cm. In den unteren vier Geschossen bestehen alle Außenwände laut Bestandsplan aus Vollziegelmauerwerk. Ab dem fünften Geschoss sind ein Großteil der Außenwände mit sogenanntem Vibro-Mauerwerk ausgeführt – ein Material, welches in den Nachkriegsjahren vermehrt aus altem Bauschutt gewonnen wurde.

## RIPPENDECKE

Die Decken werden im Bestandsplan als Massivdecken angegeben. Hierbei handelt es sich um Stahlbeton-Rippendecken, die in der Nachkriegszeit oft unter dem Namen Ast-Mollin-Decke auf den Markt gebracht wurden. Mit diesem bis in die 1960er Jahre angewandten System war es möglich, den Materialverbrauch sowie die Schalungs- und Personalkosten zu minimieren. Möglich war das durch vorgefertigte, U-förmige Sahlchalungselemente, die mit einem Trägersystem kombiniert wurden.

(Amann, 2007: S. 65)

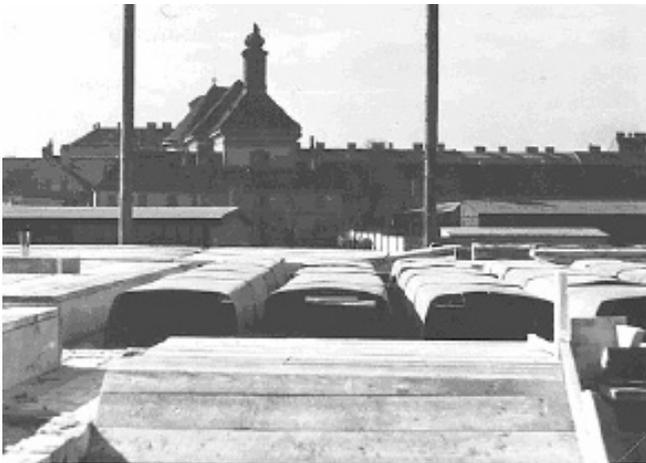


Abbildung 42: Schalungselemente für Stahlbeton-Rippendecken

Der Bodenbelag wird in den Aufenthaltsräumen als Lärchenriemenboden und in den Nebenräumen als Terrazzoboden beschrieben. An der obersten Geschossdecke zum Dachraum befindet sich auf der kalten Bauteilsseite ein Estrich ohne Belag und auf der Innenseite eine 5 cm dicke Dämmung aus Heraklith. Die Kellerdecke hat im Gegensatz zur obersten Geschossdecke keine Wärmedämmung. An den Decken über den Durchfahrten wurde auf der Außenseite eine 10 cm dicke Schicht Heraklith angebracht, wodurch der Wärmedurchgangskoeffizient dieses Bauteiles deutlich besser ist als jener der restlichen Decken. Durch die geringe Fläche hat dies jedoch kaum Einfluss auf das Gesamtergebnis.

## VIBRO MAUERWERK

Vibro-Mauerwerk wurde erstmals 1947 in Wien mit schwedischen Vibro-Anlagen zur Beschleunigung des Wiederaufbaues verwendet. Die von den eigens für Wien konstruierten Maschinen erzeugten Steine nennt man Vibro-Steine, weil das Material durch Vibration verfestigt wurde. Der Hohlblock-Betonstein im Großformat wurde aus einem Gemisch aus Schutt, Ziegelschrott und Zement erzeugt. Vorteile waren nicht nur die sparsame Verwendung von Zement und Kohle, auch die bauphysikalischen Werte waren für diese Zeit sehr gut. Laut einem Artikel von Dr. Bruckmeyer besitzt das Vibro-Mauerwerk im Vergleich zu einem Vollziegel eine dreimal bessere Wärmeisolierung (Wiener Rathauskorrespondenz, 1947).

Daraus würde sich eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,22 \text{ W/mK}$  errechnen. Bei Versuchen in Berlin und Lübeck im Jahre 1944 wurden jedoch Werte zwischen 0,256 bis 0,66 W/mK festgestellt (Ziegelmuseum Wien).

Nach den Empfehlungen des Bauphysiklabors der MA 39 in Wien entspricht der Baustoff „Beton mit Ziegelsplitt-Zuschlag“ aus dem Katalog ON-V 42 dem Vibro-Stein. Dieser hat eine Dichte  $\rho$  von  $1200 \text{ kg/m}^3$  und eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,390 \text{ W/mK}$  (Pöhn, 2009).

Mit diesen Werten erreichten die Außenwände aus Vibro-Mauerwerk einen deutlich besseren U-Wert als jene aus Vollziegelmauerwerk. So besitzt eine 38 cm dicke Wand aus Vibro-Mauerwerk einen U-Wert von  $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$  und eine Mauer mit der gleichen Stärke aus Vollziegeln einen U-Wert von  $1,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



Abbildung 43: Vibro-Ziegel, Foto aus dem Ziegelmuseum Wien



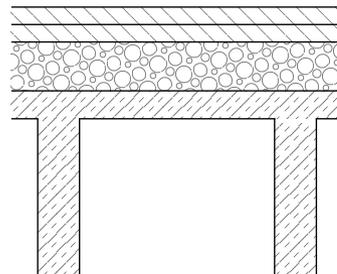
Abbildung 44: Vibro-Anlage in Wien

Anschließend sind die Aufbauten der wichtigsten Bauteile mit den ermittelten U-Werten zu sehen:

## DE | Betondecke Keller Rippen

U-O

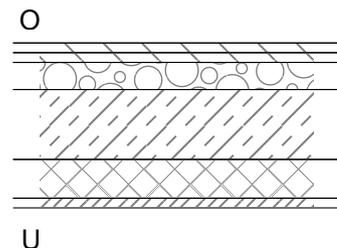
		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1.0	Stahlbeton-Decke Breite: 0,06 m Achsenabstand: 0,34 m	0,2300	2,300	0,100
1.1	Luftsch. waagr. u>015 cm	0,2300	0,937	0,245
2	Stahlbeton-Decke	0,0400	2,300	0,017
3	Hochofenschlacke	0,0700	0,200	0,350
4	Blindboden	0,0250	0,150	0,167
5	Parkettboden	0,0250	0,200	0,125
Wärmeübergangswiderstände				0,340
RT=1,216 m <sup>2</sup> K/W; RTu=1,194 m <sup>2</sup> K/W;		<b>0,3900</b>	RT =	1,205
				<b>U = 0,830</b>



## DE | Betondecke Durchfahrt

U-O

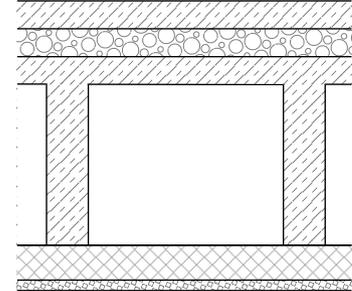
		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0250	1,050	0,024
2	Heraklith-M	0,1000	0,090	1,111
3	Stahlbeton-Decke	0,1800	2,300	0,078
4	Hochofenschlacke	0,0700	0,200	0,350
5	Blindboden	0,0250	0,150	0,167
6	Parkettboden	0,0250	0,200	0,125
Wärmeübergangswiderstände				0,210
		<b>0,4250</b>	RT =	2,065
				<b>U = 0,484</b>



## DE | Betondecke Dachboden Rippen

O-U

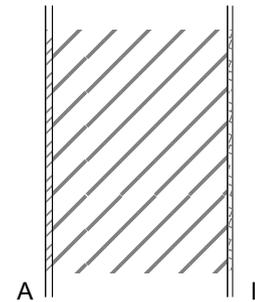
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 Estrich (Zement-)	0,0400	1,400	0,029
2 Kesselschlacke	0,0400	0,330	0,121
3 Stahlbeton-Decke	0,0400	2,300	0,017
4.0 Stahlbeton-Decke Breite: 0,06 m Achsenabstand: 0,34 m	0,2300	2,300	0,100
4.1 Luftsch. waagr. o>u15 cm	0,2300	0,750	0,307
5 Heraklith EPV (5,0 cm)	0,0500	0,100	0,500
6 Gipsputz (R = 1200)	0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände			0,200
		<b>RT =</b>	<b>1,132</b>
		<b>U =</b>	<b>0,883</b>



## WA | Vollziegel

A-I

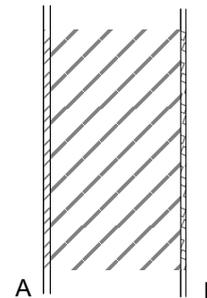
	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0200	1,050	0,019
2 Vollziegel (R = 1500)	0,5100	0,620	0,823
3 Gipsputz (R = 1200)	0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände			0,170
		<b>RT =</b>	<b>1,033</b>
		<b>U =</b>	<b>0,968</b>



## WA | Vibro-Stein 38

A-I

	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0200	1,050	0,019
2 Ziegelsplittbeton (R=1200)	0,3800	0,390	0,974
3 Gipsputz (R = 1200)	0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände			0,170
		<b>RT =</b>	<b>1,184</b>
		<b>U =</b>	<b>0,845</b>



## U-WERT

Der mittlere U-Wert der Bauteile liegt bei 1,36 W/m<sup>2</sup>K. Bei Neubauten oder neuen Gebäudeteilen dürfen bei konditionierten Räumen laut OIB-Richtlinie 6 (März 2015) folgende Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) nicht überschritten werden:

### Bauteil Anforderungen für Neubauten laut OIB

Wände gegen Außenluft/gegen Dachräume	0,35 W/m <sup>2</sup> K
Fenster in Wohngebäuden	1,40 W/m <sup>2</sup> K
Decken/Dachschrägen gegen Außenluft	0,20 W/m <sup>2</sup> K
Decken gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40 W/m <sup>2</sup> K
Böden erdberührend	0,40 W/m <sup>2</sup> K

## 2.3.2.3. SOLARE GEWINNE

Die solaren Gewinne werden von der Größe, Ausrichtung, Verschattung, dem Energiedurchlassgrad der Glasflächen und dem Standort des Gebäudes beeinflusst. Die Fensterfläche des Georg-Emmerling-Hofs macht mit 2048 m<sup>2</sup> 12,28 % der thermischen Oberfläche aus. In der folgenden Grafik werden die solaren Gewinne der Fenster nach Ausrichtung nach den verschiedenen Himmelsrichtungen dargestellt. Es ist zu sehen, dass die nach Süden orientierten Fenster bei weitem die höchsten solaren Gewinne erzielen. Die nach Westen orientierten Fenster erzielen bei einer halb so großen Glasfläche weniger als ein Drittel dieser Gewinne. Die solaren Gewinne tragen in den Wintermonaten dazu bei, den Heizwärmebedarf zu reduzieren. In den Sommermonaten kann dies jedoch – wie in Kapitel 2.3.6. "Sommertauglichkeit" zu sehen ist – zu hohen Temperaturen in den Räumen führen.

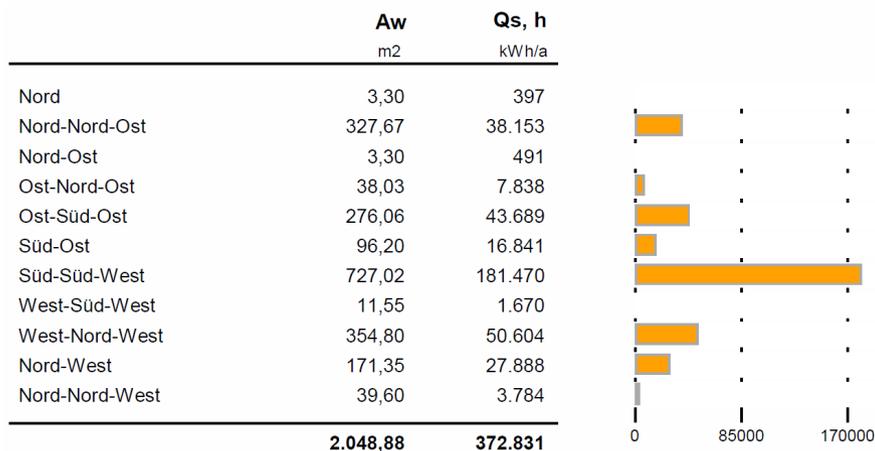


Abbildung 45: Solare Gewinne des Bestandgebäudes

## 2.3.2.4. KENNZAHLEN DES ENERGIEAUSWEISES

Im Rahmen des Energieausweises werden verschiedene Kennzahlen berechnet, die wichtigsten sind der Heizwärmebedarf, der Gesamtenergieeffizienz-Faktor, der Primärenergiebedarf und die Kohlendioxidemissionen.

### Heizwärmebedarf

Die Qualität der thermischen Gebäudehülle wird unter Berücksichtigung von nutzbaren solaren Wärmege winnen und Lüftungswärmeverlusten durch den Heizwärmebedarf beschrieben. Der Georg-Emmerling-Hof hat im Bestand einen Heizwärmebedarf von 98,31 kWh/m<sup>2</sup>a.

### Gesamtenergieeffizienz-Faktor

Die gesamte Energieeffizienz des Gebäudes wird mit dem Gesamtenergieeffizienz-Faktor ( $f_{GEE}$ ) beschrieben. Er ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Energiebedarf. Der Endenergiebedarf berücksichtigt den Heizenergiebedarf, den Haushaltstrombedarf, die Endenergieerträge und den dafür notwendigen Hilfsenergiebedarf.

### Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf beinhaltet den Endenergiebedarf zuzüglich Energiemengen für vorgelagerte Prozesse der Endenergieträger wie z.B. Gewinnung, Umwandlung, Transport und Übergabe. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB<sub>ern.</sub>) und einen nicht erneuerbaren (PEBN<sub>ern.</sub>) Anteil auf.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beschreiben die gesamten dem Endenergiebedarf zuzurechnenden Kohlendioxidemissionen, einschließlich jener für vorgelagerte Prozesse.

## BERECHNUNGSERGEBNISSE:

Die Berechnung der Energieeffizienz des Georg-Emmerling-Hofs zeigt folgende Ergebnisse:

Der Heizwärmebedarf  $HWB_{Ref,RK}$  beträgt 98,31 kWh/m<sup>2</sup>a, der Gesamtenergieeffizienz-Faktor  $f_{GEE}$  ergibt 1,50, der Primärenergiebedarf  $f_{PEB,SK}$  beträgt 271,72 kWh/m<sup>2</sup>a und die Kohlendioxidemissionen  $CO_{2,SK}$  betragen 50,39 kg/m<sup>2</sup>a.

## 2.3.2.5. ANFORDERUNGEN AN DIE ENERGIEKENNZAHLEN

Um den Energiebedarf und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken sowie die Energieimporte zu reduzieren, wurde vom Europäischen Parlament im Mai 2010 eine EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verabschiedet. Zur Erfüllung der EU-Gebäuderichtlinie werden In der OIB-Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) Energiekennzahlen vorgegeben. Für größere Renovierungen von Wohngebäuden sind ab 2017 folgende Anforderungen definiert:

Wird der Nachweis über den Heizenergiebedarf geführt, gelten folgende Höchstwerte:

	<b>Anforderung</b>	<b>Anforderung Georg-Emmerling-Hof</b>	<b>Bestand Georg-Emmerling-Hof</b>
HWB <sub>Ref, RK</sub> [kWh/m <sup>2</sup> a]	$21 \times (1 + 2,5 / I_c)$	35,00	98,31

Wird der Nachweis über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor geführt, gelten folgende Höchstwerte:

	<b>Anforderung</b>	<b>Anforderung Georg-Emmerling-Hof</b>	<b>Bestand Georg-Emmerling-Hof</b>
HWB <sub>Ref, RK</sub> [kWh/m <sup>2</sup> a]	$25 \times (1 + 2,5 / I_c)$	41,66	98,31
fGEE	1,05	1,05	1,54

Der Zeitplan der EU-Gebäuderichtlinie sieht für die nächsten Jahre einen stetigen Anstieg der Energieeffizienz von Gebäuden vor. Schon im Jahr 2020 sollen alle Neubauten sog. „nearly zero energie“ Gebäude sein. „Nach dem 31. Dezember 2018 müssen neue Gebäude, die von Behörden als Eigentümer genutzt werden, und nach dem 31. Dezember 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude im Sinne des Artikels 2, Ziffer 2 der Richtlinie 2010/31/EU sein.“ (OIB-Dokument „Nationaler Plan“: 2014).

Laut dieser Richtlinie sollen größere Renovierungen im Wohnbau 2020 folgende Werte erfüllen:

<b>HWB<sub>MAX</sub></b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>f<sub>GEE, MAX</sub></b>	<b>PEB<sub>MAX</sub></b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>CO<sub>2</sub> MAX</b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>
17 x (1 + 2,5 / I <sub>c</sub> )		200	32
oder			
25 x (1 + 2,5 / I <sub>c</sub> )	0,95		

Ein HWB von 17 x (1 + 2,5 / I<sub>c</sub>) würde für den Georg-Emmerling-Hof eine Maximalwert von 28,3 kWh/m<sup>2</sup>a bedeuten. Bei einem Nachweis mittels f<sub>GEE</sub> darf ein HWB von 17 x (1 + 2,5 / I<sub>c</sub>) = 41,67 kWh/m<sup>2</sup>a nicht überschritten werden.

Für Neubauten im Wohnbau gelten 2020 folgende Werte:

<b>HWB<sub>MAX</sub></b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>f<sub>GEE, MAX</sub></b>	<b>PEB<sub>MAX</sub></b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>CO<sub>2</sub> MAX</b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>
10 x (1 + 3 / I <sub>c</sub> )		160	24
oder			
16 x (1 + 3 / I <sub>c</sub> )	0,75		

Um die Anforderung von 10 x (1 + 3 / I<sub>c</sub>) zu erreichen, bräuchte ein Gebäude mit dem I<sub>c</sub> Wert des Georg-Emmerling-Hofs eine Maximalwert von 18 kWh/m<sup>2</sup>a. Dieser Heizwärmebedarf ist schon nahe an der ursprünglichen Definition eines Passivhauses mit 15 kWh/m<sup>2</sup>a des Passivhaus-Institutes Darmstadt (Passivhaus Institut: 2018). Bei einem Nachweis mittels f<sub>GEE</sub> darf ein HWB von 16 x (1 + 3 / I<sub>c</sub>) = 28,8 kWh/m<sup>2</sup>a nicht überschritten werden.

(OIB-Richtlinie 6: 2015)

Wie im Vergleich der Anforderungen für Neubauten und größere Renovierungen mit den Kennzahlen des Bestandsgebäudes zu sehen ist, birgt der Georg-Emmerling-Hof mit seiner kompakten Bauform und der nahezu ungedämmten Gebäudehülle ein großes Potential, die Energieeffizienz zu verbessern. Welche Maßnahmen dafür notwendig sind, wird im Kapitel 6.6. "Energieeffizienz" beschrieben.

### 2.3.3. VERSCHATTUNGSANALYSE

Um herauszufinden, welche Fassaden des Georg-Emmerling-Hofs sich für eine PV-Anlage eignen, wird zunächst der Schattenverlauf am Gebäude mit dem Programm Sketchup 2017 simuliert. Hierfür wurde von dem Gebäude und den benachbarten Bebauungen ein 3D Modell erstellt. Der genaue Standort des Gebäudes sowie alle Nachbargebäude, die einen Schatten auf dieses werfen könnten, wurden berücksichtigt.

Als Betrachtungszeitraum wird jeweils ein Tag herangezogen. Da die größten Unterschiede zur Wintersonnenwende am 21. Dezember und zur Sommersonnenwende am 21. Juni zu sehen sind, werden diese zwei Tage ausgewählt. Die Simulation wird durch eine stündliche Dokumentation von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang dargestellt.

Wie man in der Bildfolge zur Wintersonnenwende in Abbildung 47 sehen kann, sind die nach Südsüdwesten orientierten Fassaden zur Oberen Donaustraße beinahe unverschattet. Die ebenfalls südsüdwestlich orientierte Fassade im Hof 3 wird von den seitlichen Trakten verschattet und ist nur auf zwei Aufnahmen ohne Schatten. Ähnlich sieht es an der zum Hof 3 orientierten ostsüdöstlichen Fassade des Seitentraktes aus: Auch hier ist die Fassade nur auf zwei Aufnahmen nicht stark verschattet. Die Fassaden in den kleinen Höfen (Hof 1 und Hof 2) werden durch die geringen Abmessungen der Höfe kaum belichtet. Diese Höfe erhalten durch die flach stehende Sonne zur Wintersonnenwende fast keine direkte Belichtung.

Zur Sommersonnenwende ist die Fassade zur Oberen Donaustraße in den ersten Morgenstunden verschattet, da die Sonne weiter im Osten aufgeht. Ab der Aufnahme um 10:56 Uhr ist die Fassade auf Stiege 1 jedoch ohne Schatten. Die angrenzende Fassade der Stiege 8 kommt ab 14:56 Uhr nach und nach in den Schatten und jene der Stiege 7 wird ab 19:56 Uhr verschattet. Durch den steileren Sonnenstand werfen die Nachbarbebauungen zur Sommersonnenwende einen kürzeren Schatten, wodurch die Dächer weniger verschattet sind als im Winter. Die dem Hof 3 zugewandten Fassaden Richtung Südsüdwesten und Ostsüdosten erhalten dadurch auch wesentlich mehr Sonne. Sie sind beide auf fünf Aufnahmen sehr wenig verschattet. Der große Hof 3 selbst ist im Vergleich zur Wintersonnenwende viel weniger verschattet und erhält zwischen den Aufnahme um 9:56 Uhr und 16:56 Uhr direktes Sonnenlicht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von den Fassaden wie erwartet die südsüdwestlichen Fassaden zur Oberen Donaustraße am wenigsten verschattet werden. Bei den Dachflächen weisen die nach Süden orientierten Flächen die geringste Verschattung auf. Im Vergleich zwischen Sommersonnenwende und Wintersonnenwende ist ersichtlich, dass die Dächer zur Sommersonnenwende von der steil stehenden Sonne profitieren. Die Fassade hingegen hat zur Wintersonnenwende mehr Sonnenstunden als die Dächer.

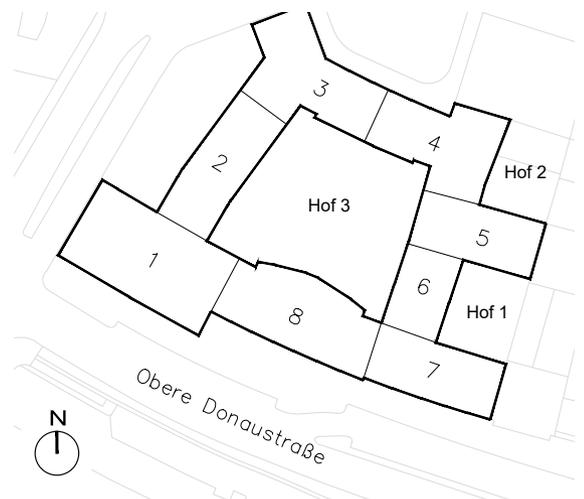
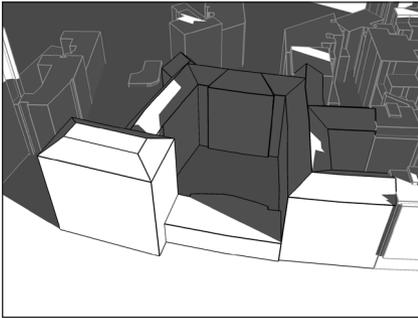


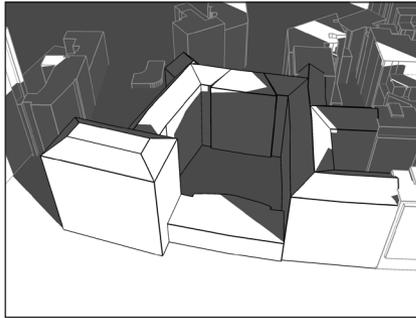
Abbildung 46: Lageplan

## WINTERSONNENWENDE

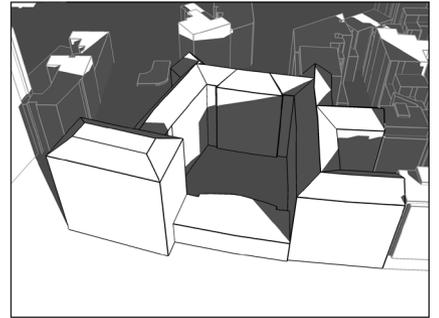
09:45



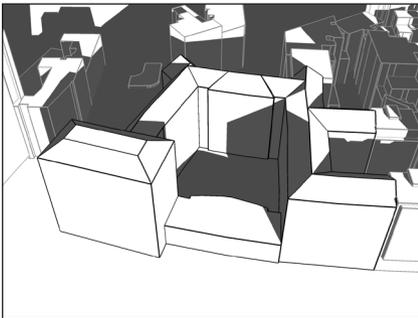
10:45



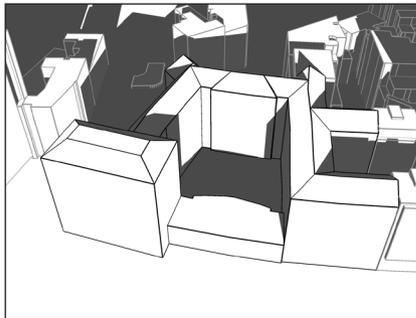
11:45



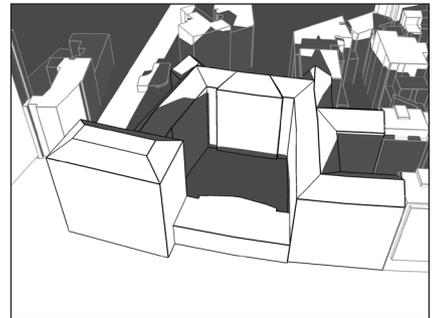
12:45



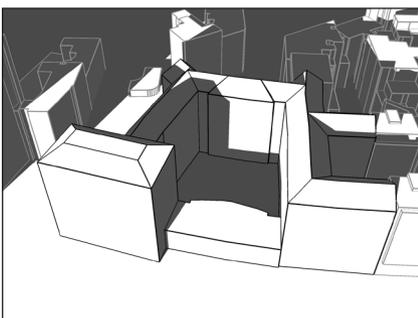
13:45



14:45



15:45



16:45

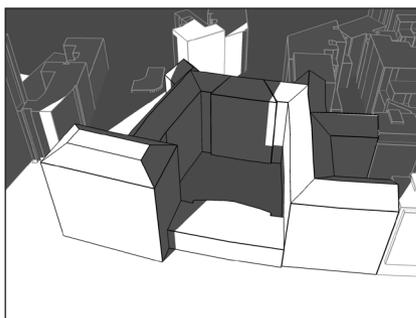
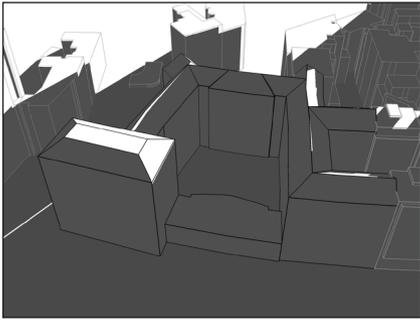


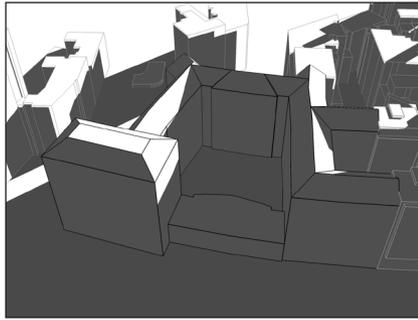
Abbildung 47: Verschattungsanalyse Wintersonnenwende

# SOMMERSONNENWENDE

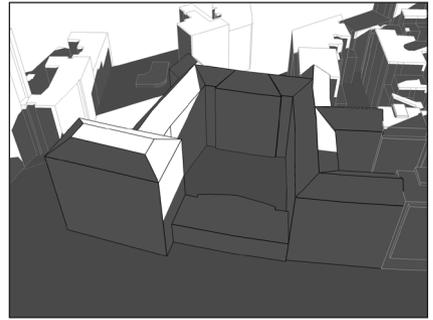
04:56



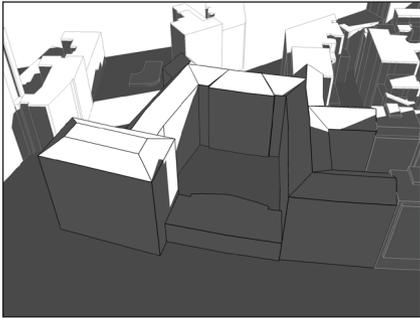
05:56



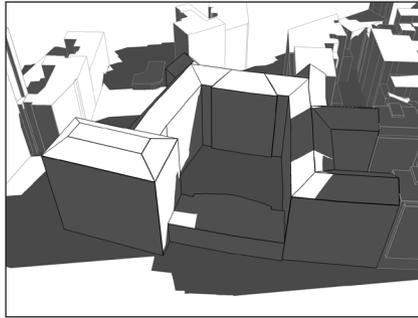
06:56



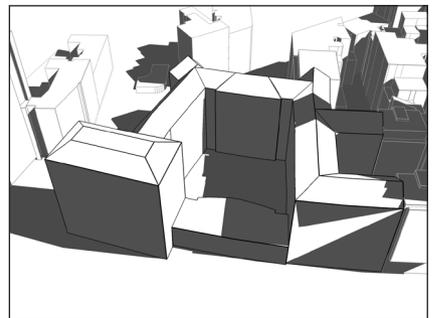
07:56



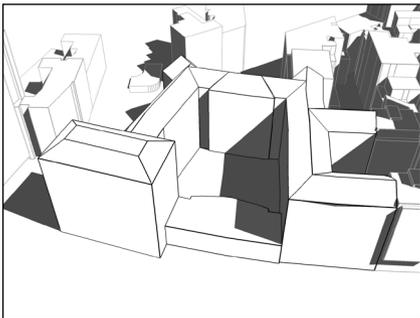
08:56



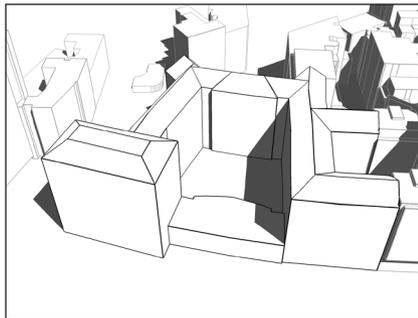
09:56



10:56



11:56



12:56

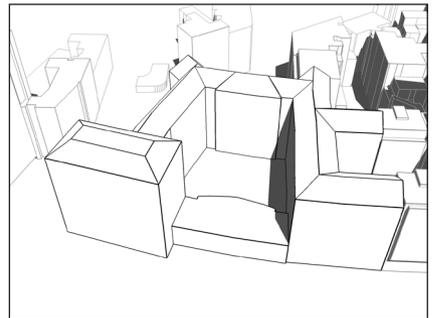
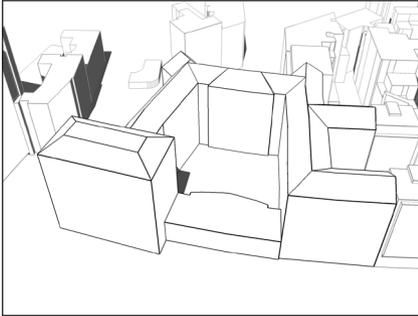
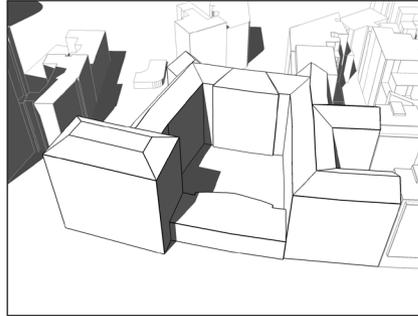


Abbildung 48: Verschattungsanalyse Sommersonnenwende

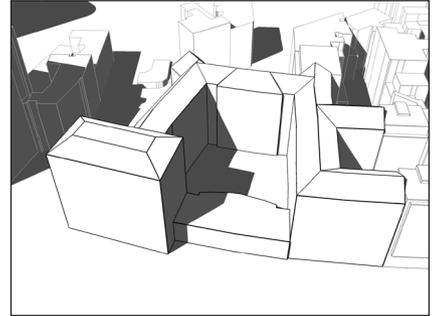
13:56



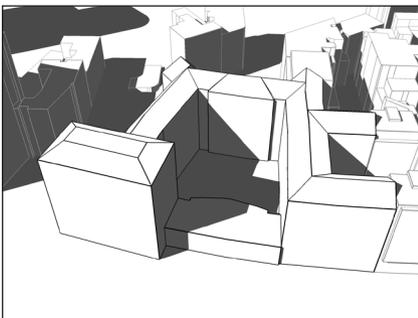
14:56



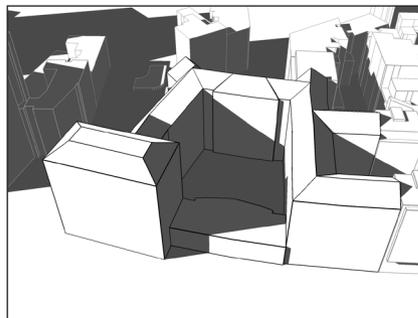
15:56



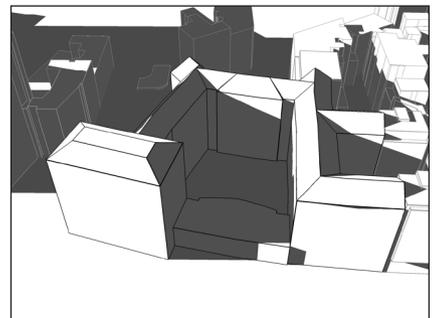
16:56



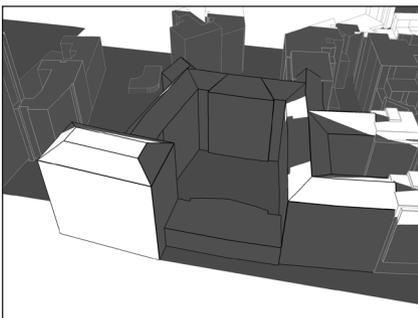
17:56



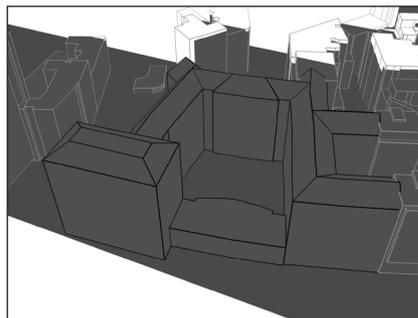
18:56



16:56



17:56



## 2.3.4. SOLARANALYSE

Für eine genauere Analyse wird eine weitere Simulationsmethode angewandt. Mit einer Solaranalyse können einzelne Flächen auf ihre solare Einstrahlung hin untersucht werden. Die gesamte Strahlungsleistung, die auf der Erdoberfläche auf eine horizontale Empfangsfläche trifft, nennt man Globalstrahlung. Sie setzt sich im Wesentlichen aus folgenden Bestandteilen zusammen: direkte Strahlung, indirekte (diffuse) Strahlung und ein geringer Anteil an Reflexionen der Umgebung. Durch Witterungsbedingungen sowie den Tages- und Jahresverlauf unterliegen die Solarstrahlungen starken Schwankungen. Jedoch lassen sich die Strahlungsdaten für ein ganzes Jahr sehr gut voraussagen. Aus der Summe aller momentanen Strahlungsleistungen, multipliziert mit dem jeweiligen Zeitabschnitt, ergibt sich die verfügbare Strahlungsenergie (Krippner, 2016: S. 25f). In Österreich beträgt die jährliche Globalstrahlung zwischen 600 und 1400 kWh/m<sup>2</sup> (ZAMG). In den folgenden Grafiken wird die verfügbare Solarenergie für verschiedene Zeiträume an den einzelnen Oberflächen dargestellt. Dafür wurde das Programm Insight 2017 verwendet.

Auf Abbildung 50 wird die Strahlungsenergie für ein Jahr (2010) auf den verschiedenen Oberflächen des Georg-Emmerling-Hofs dargestellt.

Die höchste solare Einstrahlung wird mit 1419 kWh/m<sup>2</sup> auf den nach Südsüdwesten orientierten Dachflächen erzielt. Auf den nach Ost-südosten orientierten Dächern beträgt die jährliche Einstrahlung rund 1000 kWh/m<sup>2</sup>, auf den nach Westnordwesten orientierten Dächern beträgt sie rund 700 kWh/m<sup>2</sup>. Auf den nordnordöstlich orientierten Dächern ist sie wie erwartet noch geringer. Auch das Dach des mittleren Traktes (Stiege 8) erzielt wegen der Verschattungen nur etwa 700 kWh/m<sup>2</sup>.

Von den Fassadenflächen erhalten die nach Südsüdwesten, zur Oberen-Donaustraße orientierten Fassaden mit etwa 1000 kWh/m<sup>2</sup> die höchste solare Einstrahlung. An der ost-südöstlichen Fassade der Stiege 1 beträgt die verfügbare Strahlungsenergie nur 700 kWh/m<sup>2</sup> und an der westnordwestlichen Fassade ca. 300 kWh/m<sup>2</sup>. An der südsüdwestlichen und ost-südöstlichen Hoffassade des großen Hofes 3 beträgt die auftretende Strahlungsenergie zwischen 300 und 700 kWh/m<sup>2</sup>.

Wie man sieht, ist die solare Einstrahlung auf den zur Oberen-Donaustraße orientierten Fassaden am höchsten. An den restlichen Fassaden ist die jährliche Solarstrahlungen durch die Verschattungen deutlich geringer.

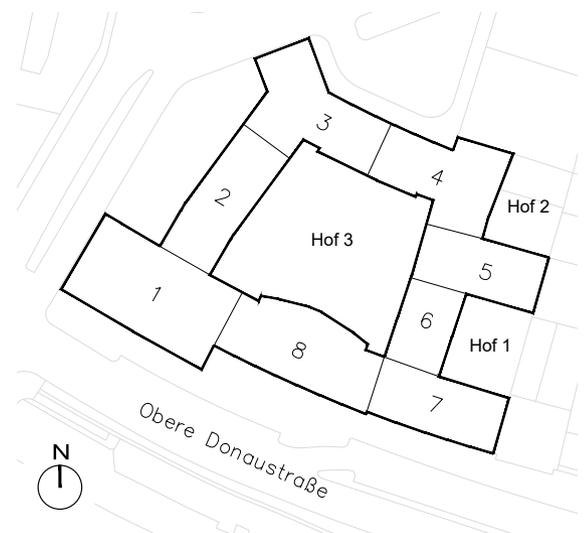


Abbildung 49: Lageplan

BETRACHTUNGSZEITRAUM: 1 JAHR

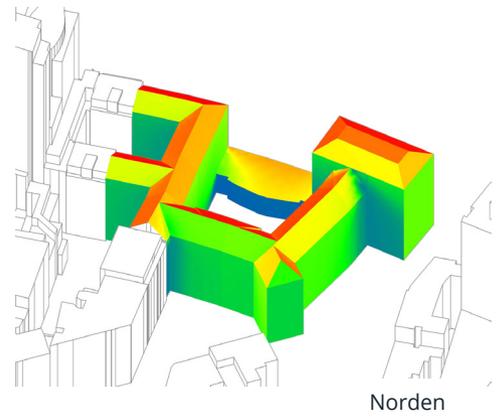
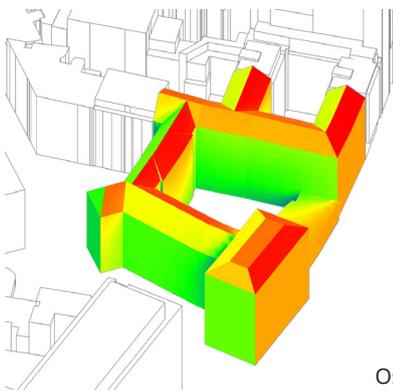
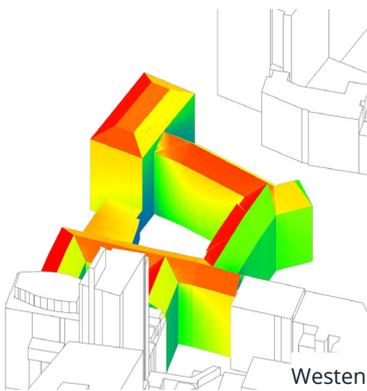
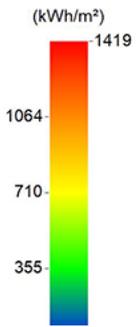
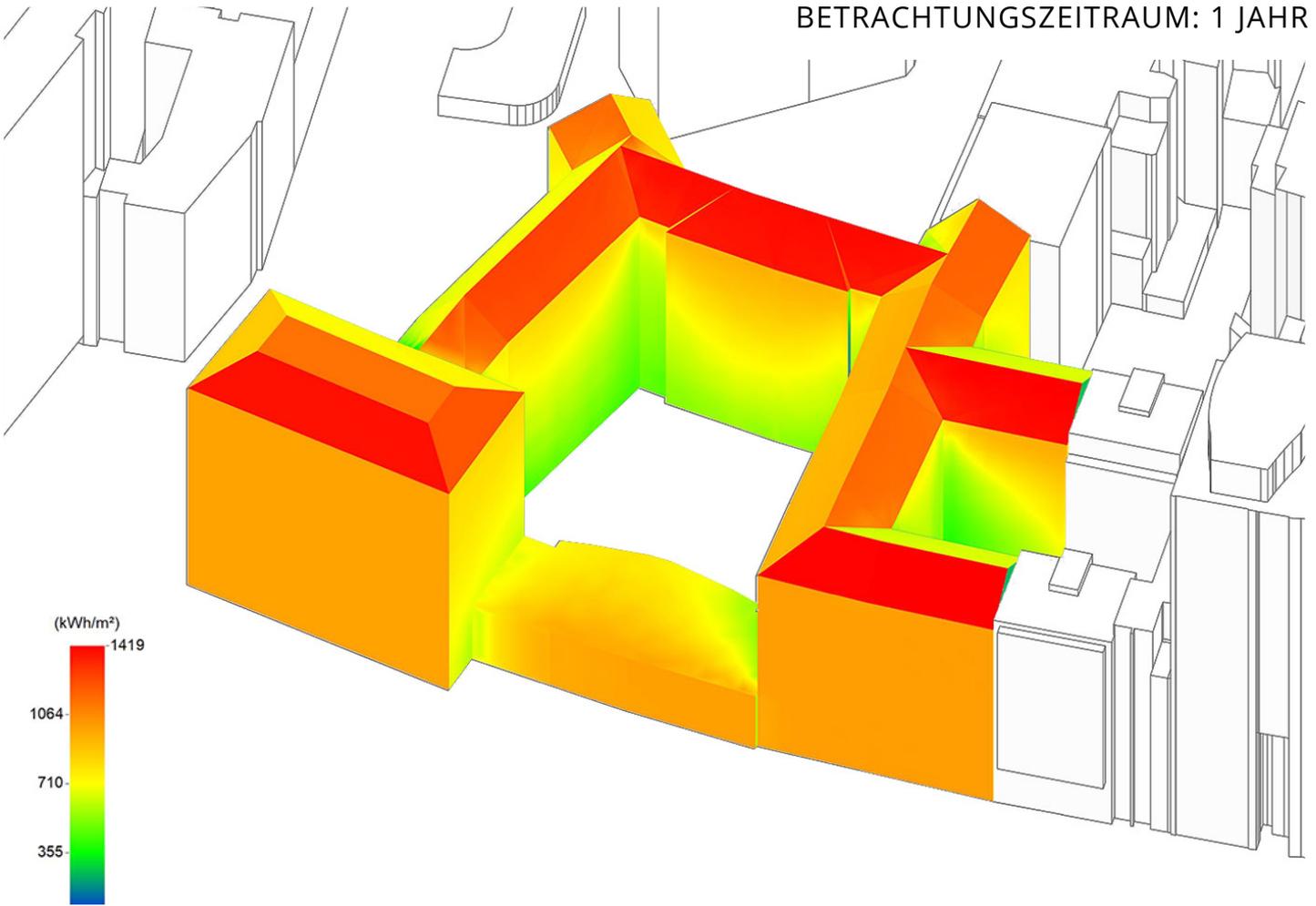


Abbildung 50: Solaranalyse Betrachtungszeitraum: 1 Jahr

Auf Abbildung 51 wird die Strahlungsenergie in den einzelnen Jahreszeiten dargestellt. Auf den Abbildungen zu Herbst (22.09.2010-20.12.2010) und Winter (21.12.2010-19.03.2011) ist deutlich zu sehen, dass hier im Gegensatz zu den Darstellungen zu Frühling (20.03.2010 - 20.06.2010) und Sommer (21.06.2010-21.09.2010) die Fassaden zur Oberen Donaustraße etwa gleich viel Einstrahlung aufweisen wie die nach Süddsüdwesten ausgerichteten Dächer. Der Grund dafür liegt am flacheren Sonnenstand. Die Maximaleinstrahlung pro Quadratmeter sind im Frühling und im Sommer jedoch mit ca. 370 kWh/m<sup>2</sup> viel höher als jene im Herbst (188 kWh/m<sup>2</sup>) und im Winter (165 kWh/m<sup>2</sup>).

Da der Energieverbrauch in den Wintermonaten höher ist als in den Sommermonaten und die Fassaden eine sehr große Fläche aufweisen, können sie trotz der niedrigeren Einstrahlung einen wichtigen Teil der aktiven Energiegewinnung darstellen.

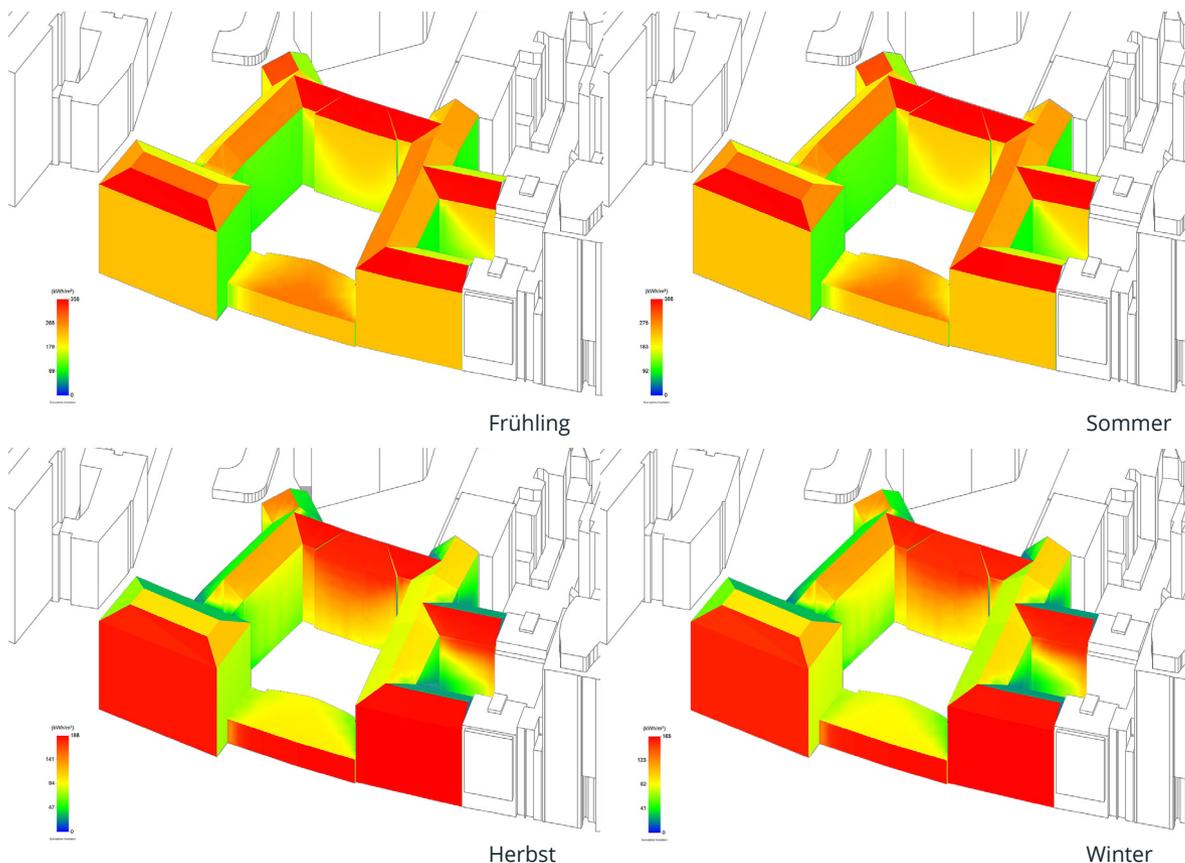


Abbildung 51: Solaranalyse nach Jahreszeit

## 2.3.5. SCHALLSCHUTZ

Der Georg-Emmerling-Hof liegt an der Kreuzung Obere Donaustraße / Lilienbrunnngasse. Die Obere-Donaustraße (Landesstraße B227 - Donaukanal Straße) zählt zu dem hochrangigen Straßennetz in Wien, dementsprechend hoch sind das Verkehrsaufkommen und der Lärmpegel an der zweispurigen Straße.

### 2.3.5.1. LÄRMIMMISSION

Zur übersichtlichen Darstellung von Lärmbelastungen können die strategischen Lärmkarten der Website [larminfo.at](http://larminfo.at) (bereitgestellt vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) herangezogen werden. In den Karten wird der gemittelte Lärmpegel von Hauptverkehrsstraßen in vier Metern Höhe über dem Boden dargestellt. Neben einer Lärmkarte, die eine 24-Stunden-Belastung zeigt, kann auch ausschließlich die nächtliche Belastung dargestellt werden. Die Ergebnisse beruhen auf den Daten des Berichtjahres 2017.

In Abbildung 52 ist der gemittelte Lärmpegel für Tag, Abend und Nacht dargestellt. An der Lärmquelle der B227 beträgt der Lärmpegel über 75 dB, an der Fassade des Georg-Emmerling-Hofs beträgt er an den kritischsten Stellen 70 bis 75 dB.



Abbildung 52: Lärmpegel 24 Stunden

Der Nacht-Lärmpegel (22:00–06:00) (Abbildung 53) beträgt an der Lärmquelle zwischen 65 und 70 dB. An der Fassade des Georg-Emmerling-Hofs beträgt er an den kritischsten Stellen 60-65 dB.

Lärm wird in Dezibel (dB) ausgedrückt, in der folgenden Tabelle sind Beispiele für Schallpegel zu sehen. Bei einem Anstieg des Schallpegels um 10 dB empfinden Menschen eine Verdoppelung des Lärmes. Wird der Schalldämmwert eines Fensters von 31 dB auf 36 dB verbessert, verringert sich der Außenlärm im Inneren des Gebäudes schon um ein Drittel. Der nächtliche Lärmpegel auf der Oberen Donaustraße vor dem Georg-Emmerling-Hof kann demnach mit der Lautstärke eines Rasenmähers in sieben Metern Entfernung verglichen werden.

Schallpegel	Schallquelle
0	unhörbar (Hörschwelle)
10	Schneefall
20	leichter Wind, Ticken einer Taschenuhr
30	Flüstern
40	Kühlschrank
50	Ruhiger Bach oder Fluss, leises Gespräch
60	normales Gespräch
70	Lautes Gespräch, Rasenmäher in 7m Entfernung
80	Laute Radiomusik, starker Straßenverkehr
90	Presslufthammer in 1 m, schwerer Lkw in 5 m Entfernung

(Umweltbundesamt: 2018)



Abbildung 53: Nacht-Lärmpegel

## 2.3.5.2. SCHALLDÄMMUNG DER BESTEHENDEN BAUTEILE

In der OIB-Richtlinie 5 sind die Mindestanforderungen an den Schallschutz von Außenbauteilen für Wohngebäude beschrieben. Bei einem maßgeblichen Außenlärmpegel untertags von 75 dB und in der Nacht von 65 dB betragen diese für Außenbauteile gesamt: resultierende, bewertete Bauschalldämm-Maß  $R'_{res,w} = 48$  dB, für opake Außenbauteile  $R_w = 53$  dB und für Fenster und Außentüren  $RW = 43$ ,  $R_w + C_{tr} = 38$  dB.

Die bestehenden Außenwände erreichen die Anforderungen durch die massive Bauweise problemlos. Die 38 cm dicken Vollziegel in den unteren Geschossen erreichen ein Schalldämm-Maß  $R_w$  von 64,6 dB. Die 25 cm dünnen Wände aus Vibro-Stein in den obersten Geschossen haben ein Schalldämm-Maß  $R_w$  von 56,6 dB.

### FENSTER

Die genauen Werte der bestehenden Außenfenster können nicht ohne aufwendige Messungen festgestellt werden. Aus diesem Grund wird hier von Vergleichswerten ausgegangen. Bei den Fenstern handelt es sich um Wiener Kastenfenster mit zwei Einfachscheiben. Der Großteil der Fenster ist zweiflügelig, hat eine Architekturlichte von 110 cm Breite und 150 cm Höhe und der Scheibenzwischenraum beträgt zehn Zentimeter.

Die Önorm B 8115-4 enthält Richtwerte für den Schallschutz von Kastenfenstern. Danach würde das Fenster bei einer Glasdicke von jeweils vier Millimetern und einem Scheibenzwischenraum von zehn Zentimetern ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R_w$  von 46 dB besitzen. Mit einer höheren Glasdicke von zehn Millimetern könnte sogar ein Wert von 54 dB erreicht werden. Diese Werte gelten jedoch nur für Fenster mit umlaufender lückenloser Dichtung. Schon bei geringen Undichtheiten können diese Werte wesentlich unterschritten werden.

Die bestehenden Fenster erreichen nach diesen Angaben die Anforderungen von  $RW=43$  dB der OIB Richtlinie 5, wobei anzunehmen ist, dass die tatsächlichen Werte durch die starke Abnutzung und die fehlenden Dichtungen um einiges niedriger sind.

### AUSSENBAUTEILE GESAMT

Das resultierende, bewertete Bauschalldämmmaß  $R'_{res,w}$  wird für die Fassade des zur Oberen Donaustraße orientierten Schlafzimmers in Top 18 auf Stiege 1 berechnet. Dieser Raum wurde ausgewählt, da er durch die kleine Außenwandfläche einen verhältnismäßig großen Fensteranteil besitzt und folglich als kritischer Raum angesehen werden kann (Abbildung 55). Für die Berechnung wird das Programm Archiphysik 15.0 verwendet.

Das Fenster dieses Zimmers ist ein 110 cm breites und 150 cm hohes Kastenfenster, dessen Schalldämm-Maß  $R_w$  wie oben beschrieben mit 46 dB angenommen wird. Die Außenwand besteht aus 38 cm dicken Vollziegeln mit einem Schalldämm-Maß  $R_w$  von 64,6 dB und hat eine Fläche von 4,93 m<sup>2</sup>. Das resultierende, bewertete Bauschalldämmmaß  $R'_{res,w}$  beträgt in diesem Fall 52 dB. Dieser Wert würde den OIB Anforderungen von 48 dB entsprechen, wobei hier wie bereits erwähnt die Abnutzung der Fenster nicht berücksichtigt wird.

<b>bewertetes resultierendes Bau-Schalldämm-Maß</b>			<b><math>R_{res, w}</math></b>	<b>52 dB</b>		
			erforderlich	48 dB		
Typ	Nr.	Bauteile	Fläche m <sup>2</sup>	$R_{w, i, vorh}$ dB	$R_{w, i, erf}$ dB	
AF	0007	2-Flügel Fenster 110/150	1,65	46	43	
AW	0009	WA   Vollziegel 38	4,93	64	53	
Summe der Außenbauteilflächen			$\Sigma A_g$	6,58	m <sup>2</sup>	
<b>bewertetes resultierendes Bau-Schalldämm-Maß</b>			$R_{res, w} = -10 \log \left[ \frac{1}{S_g} \sum S_i \cdot 10^{-\frac{R_{w, i}}{10}} \right]$		<b>52</b>	<b>dB</b>

### 2.3.5.3. ANFORDERUNGEN AN DIE NEUE FASSADE

Für die neue Fassade müssen neue Fenster mindestens ein bewertetes Bauschalldämm-Maß von  $R_w = 43$  dB aufweisen. Die Außenwand erhält eine 20 cm dicke Steinwollämmung, wodurch sich das bewertete Bauschalldämm-Maß auf 65 dB erhöht. Das resultierende, bewertete Bauschalldämm-Maß  $R'_{res,w}$  der gesamten Außenbauteile des Schlafzimmers in Top 18 auf Stiege 1 beträgt in diesem Fall 49 dB und liegt somit 1 dB über den Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 5.

<b>bewertetes resultierendes Bau-Schalldämm-Maß</b>			<b><math>R_{res, w}</math></b>	<b>49 dB</b>		
			erforderlich	48 dB		
Typ	Nr.	Bauteile	Fläche m <sup>2</sup>	$R_{w, i, vorh}$ dB	$R_{w, i, erf}$ dB	
AF		Fenster 110/150 saniert	1,65	43	43	
AW	0002	WA   Vollziegel 38 + Steinwolle	4,93	65	43	
Summe der Außenbauteilflächen			$\Sigma A_g$	6,58	m <sup>2</sup>	
<b>bewertetes resultierendes Bau-Schalldämm-Maß</b>			$R_{res, w} = -10 \log \left[ \frac{1}{S_g} \sum S_i \cdot 10^{-\frac{R_{w, i}}{10}} \right]$		<b>49</b>	<b>dB</b>

## 2.3.6. SOMMERTAUGLICHKEIT

Neben der Berechnung des benötigten Heizenergiebedarfes für die Aufrechterhaltung des Wohnkomforts während der Heizperiode wird auch das Verhalten des Gebäudes während der Sommermonate berücksichtigt. Nicht nur durch Kälte, auch durch übermäßige Wärme wird das menschliche Wohlbefinden beeinträchtigt. Dabei sind die Einstrahlungen durch die Süd-Öffnungen ein großer Faktor. Diese können zusammen mit internen Gewinnen für unangenehme Raumtemperaturen verantwortlich sein.

Die Einflussfaktoren der sommerlichen Überwärmung sind:

- Größe und Ausrichtung der Glasflächen
- Energiedurchlassgrad der Verglasung (g-Wert)
- Verschattungen durch Überstände
- Bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen
- Luftwechsel
- Speicherfähigkeit der Bauteile
- Interne Gewinne
- Raumvolumen

Um die Zeitdauer der Überwärmung möglichst gering zu halten, stehen verschiedenen Maßnahmen zur Verfügung: Die Verwendung von Klimaanlage ist nur als Notlösung zu betrachten, da diese den Ideen des ökologischen Bauens vollkommen widersprechen. Eine einfache Methode, um die Sonneneinstrahlung zu verringern, ist die Installation von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen wie Markisen, Jalousien oder Rollos, wobei hier eine außenliegende Anbringung deutlich effektiver ist als eine innenliegende. Vordächer oder sonstige Überstände über den Fenstern nutzen die unterschiedlichen Sonnenhöhen im Sommer und im Winter. Die flach stehende Wintersonne kann ungehindert in den Raum eindringen, während im Sommer die Glasflächen bei höherem Sonnenstand verschattet werden. Eine ganz natürliche Möglichkeit ist die Beschattung durch Pflanzen wie zum Beispiel durch Bäume. Dabei sorgt das Laub für eine Beschattung in den Sommermonaten, im Winter ist diese Wirkung durch den Laubfall nicht gegeben.

Die Beurteilung der Sommertauglichkeit erfolgt in weiterer Folge raumweise, es werden ein oder mehrere als kritisch angesehene Räume betrachtet. Im Georg-Emmerling-Hof befinden sich die kritischen Räume offensichtlich an der südwestlich orientierten Fassade an der Oberen Donaustraße. Diese Fassade wird durch die Lage am Donaukanal auch nicht durch Nachbargebäude verschattet.

Analysiert wird ein Raum mit Wohnnutzung in Top 18. Die Zimmer der Wohnungen auf dieser Stiege haben nie mehr als ein nach Süden ausgerichtetes Fenster. Das Volumen dieser Zimmer ist jedoch oft sehr gering. Der gewählte Raum befindet sich im 2. Stockwerk auf Stiege 1 und ist nach Südsüdwesten ( $210^\circ$ ) orientiert. Das Zimmer besitzt bei einer Nutzfläche von  $13,08 \text{ m}^2$  und einer Raumhöhe von  $2,6 \text{ m}$  ein Volumen von  $34 \text{ m}^3$ . Die speicherwirksame Masse beträgt  $4011,13 \text{ kg}$ . Die Speichermasse der Einrichtung wird mit  $38 \text{ kg/m}^2$  angenommen.

Die speicherwirksame Masse der Bauteile wird gemäß ÖNORM EN ISO 13786 ermittelt und betrifft alle raumbegrenzenden Bauteile. Sowohl die Wände als auch die Decken sind in massiver Bauweise errichtet. Da für die speicherwirksame Masse die dem Raum zugewandten Schichten der Bauteile relevant sind, ist die wirksame Masse des Fußbodens und der Decke jedoch gering (die oberste Schicht des Fußbodens ist ein Parkett auf einem Blindboden). Die leichten Gipswände weisen ebenso keine große Speichermasse auf. Die Außenwand und die Mittelmauer bestehen im 2.OG aus Vollziegeln, wodurch sie eine hohe speicherwirksame Masse haben. In Abbildung 56 sind die Bauteile mit ihren Speichermassen aufgelistet.

Das Fenster ist nach Südsüdwesten ausgerichtet und besitzt eine Fläche von  $1,65 \text{ m}^2$ , somit beträgt der Fensteranteil  $12,61\%$ . Der Energiedurchlassgrad der Verglasung wurde wieder laut OIB-Richtlinie 6 mit  $0,67$  angenommen. Eine Verschattung entsteht nur durch die Fensterlaibung, die  $15 \text{ cm}$  tief ist. Zusätzlich wird bei den Berechnungen ein innenliegender, wenig lichtdurchlässiger, heller Sonnenschutz, wie zum Beispiel ein innenliegendes Rolllö, angenommen. Die Lüftung erfolgt über die Fenster.

Die Berechnung zur sommerlichen Überwärmung wurde mit dem Programm Archiphysik 15.0 erstellt. Dabei wird das Verfahren aus der Önorm B 8110-3:2012-03 mit der detaillierten Methode angewandt. Hierbei wird der Tagesverlauf der operativen Temperatur an einem Tag, der stellvertretend für die gesamte Sommerperiode dient berechnet. In einem Vergleich werden die Verläufe der operativen Temperatur jenen der Außentemperatur gegenübergestellt. Im Diagramm in Abbildung 56 beschreibt die orange Kurve den Verlauf der Außentemperatur und die blaue Kurve den der operativen Temperatur. Die zwei rot gepunkteten Linien markieren die Grenzen der in der Norm festgelegten operativen Temperatur für Tag und Nacht ( $22:00-6:00$  Uhr). Zur schnellen Orientierung ist in der Norm auch eine Klassifizierung beschrieben, welche die Sommertauglichkeit des Raumes in den Klassen A+ bis D einstuft.



Abbildung 54: Lage Top 18, Stiege 1

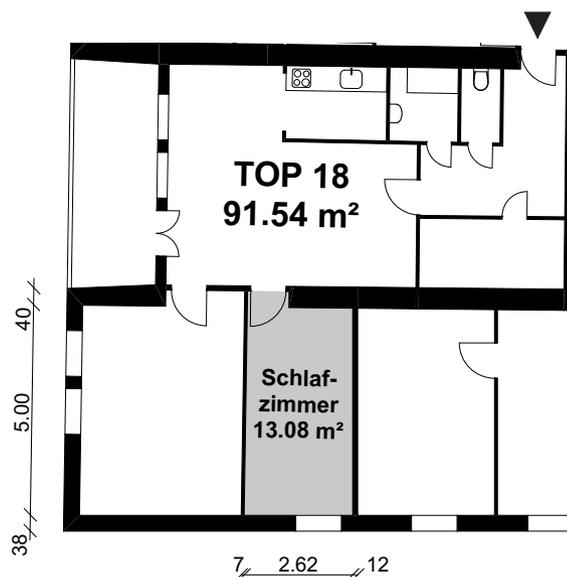


Abbildung 55: Grundriss Top 18, Stiege 1

## BERECHNUNGSERGEBNISSE:

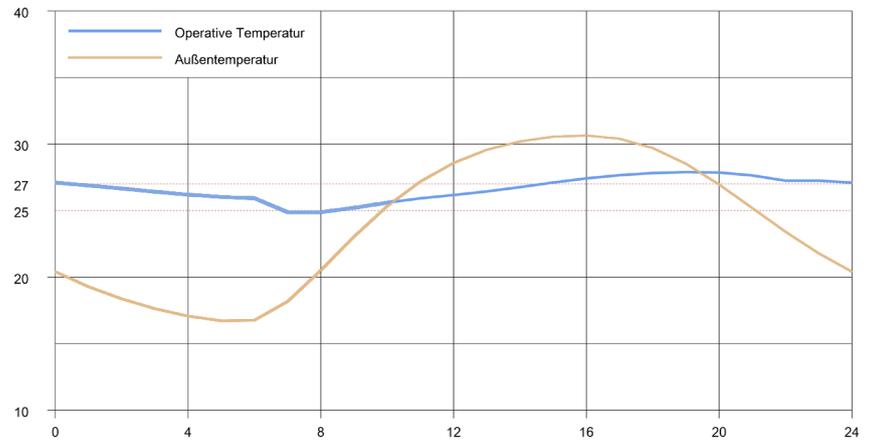
Der Raum wird als „bedingt sommertauglich“ (Klasse C) bewertet. Wie im Diagramm zu sehen, ist überschreitet die operative Maximaltemperatur mit 27,89 °C die für diesen Standort angegebene Höchsttemperatur um ca. einen Grad Celsius. In der Nacht sinkt die Temperatur auf 25,93 °C und liegt somit über den geforderten 25,00 °C.



### Operative Temperatur

min. operative Temperatur im Nachtzeitraum  
(22:00 Uhr - 6:00 Uhr)

	<b>27,89 °C</b>
erforderlich:	27,00 °C
	<b>25,93 °C</b>
erforderlich:	25,00 °C



Bezeichnung	A m2	m w, BA kg/m2	Speichermasse kg
Fenster 110/150	1,65	0,00	0,00
WA   Vollziegel 38	4,95	106,22	525,82
DE   Geschossdecke	13,08	49,30	644,84
DE   Geschossdecke	13,08	145,30	1.900,52
WI   Gipswand	13,00	10,31	134,13
WI   Gipswand	13,00	10,31	134,13
WI   Vollziegel 51	6,60	101,76	671,67
		<b>423,23</b>	<b>4.011,13</b>

Abbildung 56: Berechnung zur sommerlichen Überwärmung Top 18 Stiege 1

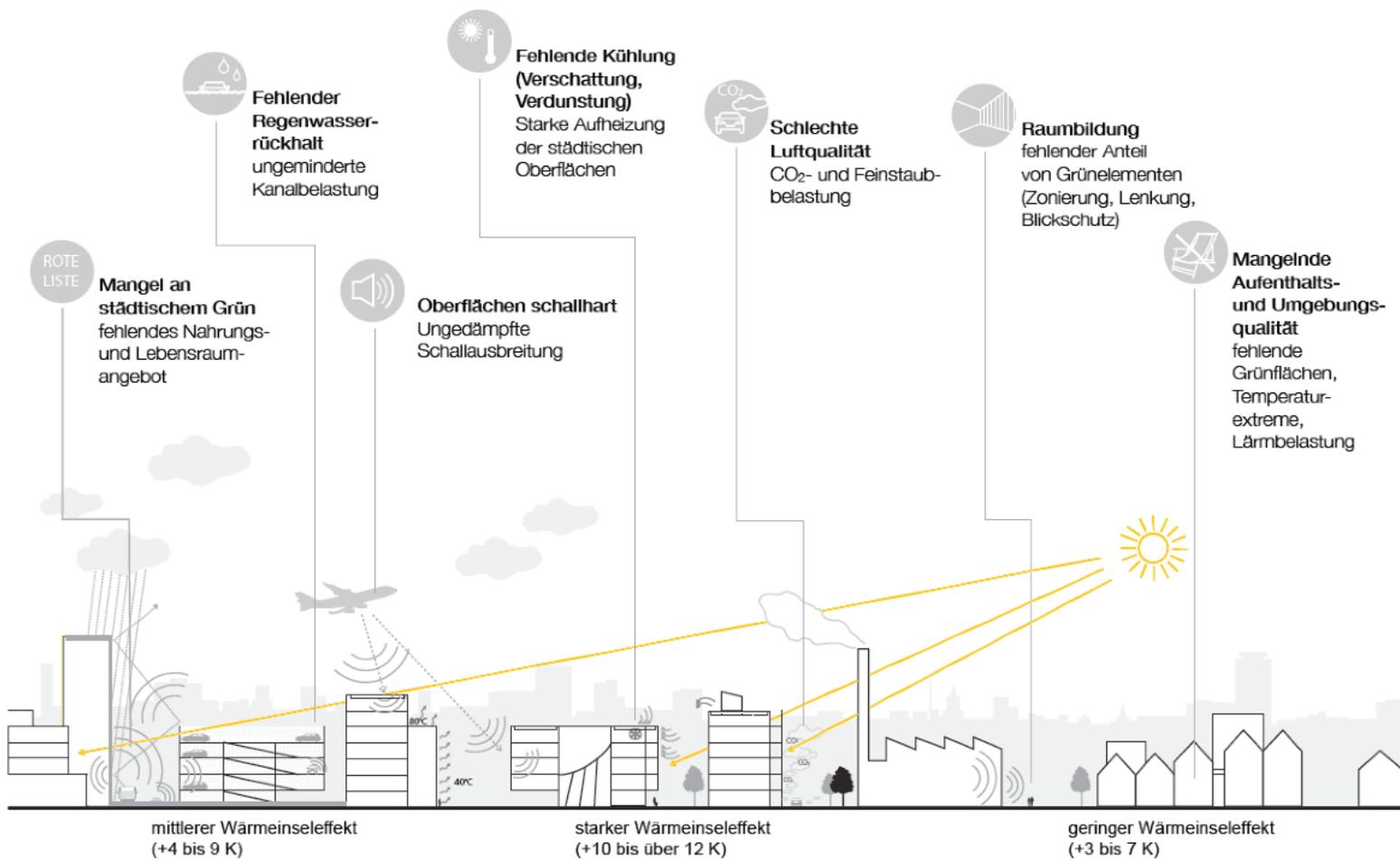


Abbildung 57: Einflussfaktoren Stadtklima

# 3. KONTEXT

## KLIMAWANDEL

Bereits im Jahr 2015 wurde das Pariser Klimaabkommen abgeschlossen, im Rahmen dessen sich 195 Länder erstmals auf ein rechtsverbindliches weltweites Klimaschutzübereinkommen einigten. Ein langfristiges Ziel des globalen Aktionsplans ist es, den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C – genauer gesagt auf 1,5° C – gegenüber vorindustriellen Werten zu beschränken (Europäische Kommission, 2018 ).

Im Juli 2016 ratifizierte Österreich das Klimaabkommen. Nun wird an einer integrierten Energie- und Klimastrategie gearbeitet, in deren Fokus eine drastische Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes steht. Im Jahr 2016 wurden in Österreich rund 79,7 Mio. Tonnen Treibhausgase ausgestoßen. Dabei wäre der Gebäudesektor prädestiniert, einen großen Beitrag zur Verringerung des Ausstoßes zu leisten: Im Jahr 2018 entfielen etwa 8,1 Mio. Tonnen an Treibhausgas-Emissionen auf den Gebäudesektor. Im Vergleich zu den Vorjahren ist zwar eine verstärkte Verwendung von erneuerbaren Energieträgern und von Fernwärme festzustellen, dies kann den deutlichen Anstieg der Verwendung von Erdgas jedoch nicht kompensieren. Seit dem Jahr 1990 hat sich der Ausstoß von Treibhausgasen im Gebäudesektor um 37,2 % reduziert (Umweltbundesamt, 2018: S. 2). Dies ist einerseits auf die Sanierung von Altbaubestand, andererseits auf den Ausbau von Fernwärme und erneuerbaren Energien zurückzuführen. Dabei sind die Effekte auf die Pro-Kopf-Emissionen in urbanen Strukturen durch die kompakte Bauweise im Gebäudebestand stärker als im ländlichen Bereich (Umweltbundesamt, 2017: S. 60) .

Weitere Bemühungen, die Emissionen in Österreich zu verringern, sollen sich in weiterer Folge vor allem auf den Verkehrs- und den Gebäudesektor fokussieren (Umweltbundesamt, Jänner 2018).

### 3.1. STADTKLIMA

Durch verschiedene Gründe unterscheidet sich das Stadtklima vom Klima am Land. Einerseits beruht dies auf der Oberflächenbeschaffenheit: Die Wärmekapazität und die Oberflächenrauigkeit durch Bebauung und Feuchteangebot unterscheiden sich vom Land (Kromp-Kolb, 2015: S. 2). Abwärme, Abgase und Staub beeinflussen das Klima außerdem. Die flächenmäßige Abnahme von städtischen Grünflächen führt im Zusammenspiel mit der Produktion von Abwärme in industriellen Prozessen oder von Fahrzeugen zur Erwärmung (Magistratsabteilung 22, 2015: S. 8). Im Vergleich mit dem Umland entstehen so Temperaturen, die im Jahresmittel um bis zu 1,5 K höher sind. Die Frostperiode ist um bis zu 25 % kürzer, dementsprechend ist auch die Anzahl der Heiztage geringer. Die relative Feuchte ist in der Stadt im Sommer um bis zu 10 %, die Verdunstung um bis zu 60 % geringer. Auch die Windgeschwindigkeit in der Stadt ist aufgrund der Bebauung geringer, im Jahresmittel bis zu 30 %. Die Luftbeimengungen

sind in der Stadt wiederum stark erhöht. Auch der Niederschlag ist um bis zu 10% höher.

Auch hinsichtlich der Strahlung zeigen sich Unterschiede: Die Globalstrahlung ist in der Stadt um bis zu 20 % geringer als im Umland, die Sonnenscheindauer um bis zu 15 % weniger. Der Bewölkungsgrad ist bis zu 10 % höher (Kromp-Kolb, 2015: S. 2).

In Abbildung 57 wird aufgezeigt, welche Probleme durch die städtische Bebauung entstehen. Das größte Problem für Stadtbewohner entsteht durch die sommerliche Überwärmung und fehlende nächtliche Abkühlung. Es ist damit zu rechnen, dass die Zahl der Sommertage (über 25 °C) und heißen Tage (über 30 °C) in Zusammenhang mit Tropennächten (über 20 °C) weiter ansteigen wird (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 10).

Gleichzeitig ziehen immer mehr Menschen in die Städte. Derzeit leben 53 % der Weltbevölkerung in Städten, 75 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in Städten verursacht. Im Jahr 2050 werden voraussichtlich zwei Drittel der Weltbevölkerung in städtischen Agglomerationsräumen leben. Auch vor Österreich machen diese Entwicklungen nicht halt: Wien wuchs in den vergangenen 10 Jahren um fast 10 %, bis zum Jahr 2030 werden voraussichtlich 2 Millionen Menschen in Wien leben. Durch die innerstädtische Verdichtung und die Versiegelung von Flächen werden die zuvor geschilderten Unterschiede zwischen Stadt und Land weiter steigen (Dvorak, 2016: S. 2ff).

## 3.2. HITZEINSELN

Die Unterschiede von Stadt und Umland hinsichtlich des Niederschlags, der Windverhältnisse und Temperatur wirken sich auf städtische Siedlungsgebiete aus. Es entstehen sogenannte städtische Hitzeinseln – „Urban Heat Islands“. Diese werden durch den Temperaturunterschied zum Umland definiert und sind bereits seit dem 19. Jahrhundert feststellbar. Diese Temperaturunterschiede herrschen aber auch innerhalb der Stadt vor, je nach Ausstattung mit grüner und blauer Infrastruktur – also begrünten Flächen und Wasserflächen (Böttner et al., 2012: S. 1f).

Hauptgrund für das Entstehen solcher Inseln ist die Überbauung natürlicher permeabler Oberflächen. Natürliche feuchtigkeitsspeichernde Böden und Vegetationsbedeckung tragen zur Kühlung der Umgebung bei, da ein Teil der absorbierten Strahlung in Verdunstungsprozesse übergeht. Unbebaute Flächen heizen sich in weiterer Folge weniger auf, wozu auch die Beschattung durch Vegetation beiträgt. Bebaute Flächen weisen hingegen oft wärmeabsorbierende Materialien auf. Diese sind außerdem meist nicht wasserdurchlässig, das Niederschlagswasser läuft somit schnell ab und steht nicht zur Verdunstung zur Verfügung. Vertikale Gebäudeflächen nehmen gleichzeitig in hohem Maß nicht nur die direkte Sonneneinstrahlung,

sondern auch die von umliegenden Gebäuden reflektierte Strahlung auf. Durch geringe Öffnungen des städtischen Raums zum Himmel werden Luftzirkulation und langwellige Strahlung zusätzlich behindert. Faktoren wie die Fragmentierung von Grünflächen und die Abwärme diverser Prozesse verstärken den Effekt (Kuttler, 2011 zit. nach Magistratsabteilung 22, 2015: S. 7f).

Es zeigt sich, dass versiegelte Flächen wie etwa Parkplätze oder Industriegebiete Hitzeinseln bilden, Parkflächen jedoch „cold points“. Grob gesagt kann davon ausgegangen werden, dass die Temperaturen ausgehend vom Stadtrand hin zur Stadtmitte zunehmen (Magistratsabteilung 22, 2015: S. 8). Der Standort des Georg-Emmerling-Hofs befindet sich mit dem Schwedenplatz direkt im Zentrum Wiens. Aufgrund der Verkehrsbelastung ist auch von einer hohen Abwärme durch Fahrzeuge auszugehen. Gleichzeitig bildet die Nähe zum Donaukanal als „cold point“ einen Vorteil.

Hohe Temperaturen können sich negativ auf die Gesundheit auswirken, insbesondere ältere Menschen sowie chronisch kranke Personen und Kinder leiden darunter. Aber auch bei gesunden Menschen leiden die Schlafqualität und in weiterer Folge die Leistungsfähigkeit darunter (Magistratsabteilung 22, 2015: S. 6).

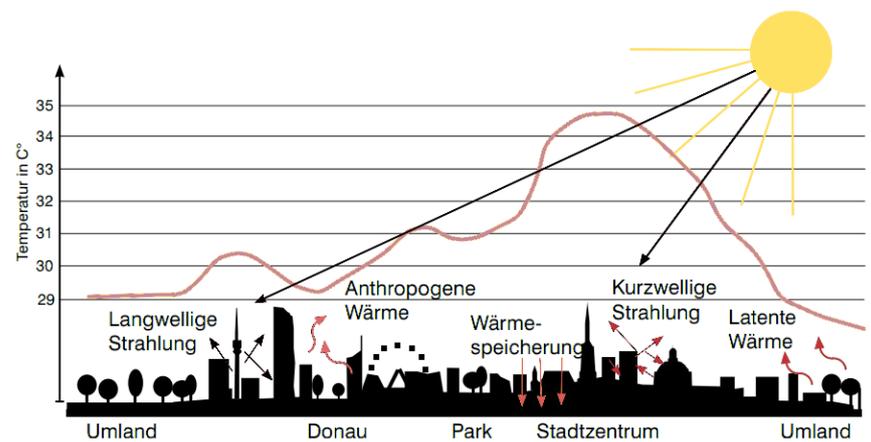


Abbildung 58: Das Energie-Budget von Siedlungsgebieten und der HUI-Effekt

### 3.3. ALBEDO

Zu bedenken ist außerdem der sogenannte Albedo-Effekt. Dieser gibt das Reflexionsvermögen eines Materials in Prozent der eingefallenen Energie an. Die Albedo wird durch das Verhältnis der reflektierten zur eingefallenen Lichtmenge beschrieben und durch eine Zahl zwischen 0 – vollständige Absorption – und 1 – vollständige Reflexion – wiedergegeben. Die Albedo ist bei hellen Oberflächen also höher als bei dunklen Flächen. Umso geringer ist in weiterer Folge die von der Oberfläche aufgenommene Strahlungsenergie. Eine geringe Albedo, also eine hohe Absorption des einfallenden Lichts, lässt folgern, dass eine Oberfläche sowie die angrenzenden Luftschichten erwärmt wurden (Climate Service Center, 2012). Bei dunklen Bodenbelägen oder Dächern, die schwach oder nicht reflektieren, kann es so zu einer Differenz von 50 °C zur Lufttemperatur kommen (Magistratsabteilung 22, 2015: S. 8).

Dieser Effekt trifft auch auf die Oberfläche von Photovoltaik-Paneelen zu, die in den Standardausführungen meist sehr dunkle Farben haben. In der vorliegenden Arbeit werden wie im Kapitel 6.2. "Erscheinungsbild" hingegen Paneele eingesetzt, die eine hellere Oberfläche haben. Dies hängt auch mit dem Erscheinungsbild des Gebäudes zusammen, das sich mit seiner Fassade gut in die direkte Umgebung eingliedern soll. Diese Paneele sind absorbieren eine geringere Lichtmenge und haben in weiterer Folge eine etwas geringere Energiegewinnung, reduzieren jedoch die Erwärmung des Gebäudes und der direkten Umgebung.





# 4. PHOTOVOLTAIK

Das folgende Kapitel gibt nach einer kurzen Einleitung in das Thema Energiegewinnung, einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik der Photovoltaik und die Möglichkeiten zur Gebäudeintegration und Modulgestaltung.

## 4.1. NACHHALTIGE ENERGIEGEWINNUNG

Fast die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs in den Industriestaaten ist auf den Energiebedarf von Gebäuden zurückzuführen. Die Energie zur Heizung, Kühlung, und Belüftung wird noch immer zu großen Teilen aus nicht erneuerbaren Energieträgern gewonnen, deren Umwandlungsprozesse umweltschädliche Emissionen freisetzen (Krippner, 2016: S. 6).

Erneuerbare Energien sind im Gegensatz dazu umweltschonend. Klimaschädliche Emissionen werden verringert, Folgeschäden und daraus entstehende Kosten somit weitgehend vermieden. Darüber hinaus führen sie zur Unabhängigkeit von Energieimporten und stärken die heimische Wirtschaft (Grassl, Hildebrandt, 2013: S. 72). Im Jahr 2016 konnten in Deutschland etwa 20 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> Emissionen durch Energieproduktion aus PV-Anlagen gespart werden (ISE, 2018: S. 3).

### 4.1.1. STROMVERBRAUCH IM PRIVATHAUSHALT

Im Gebäudebereich birgt insbesondere der Stromverbrauch hohe Potenziale für die Einsparung von Energie und in weiterer Folge die Senkung von CO<sub>2</sub> Emissionen. Die Dämmung neu erbauter Gebäude wird optimiert, alte Gebäude werden saniert, so dass der Bedarf an Heizwärme sinkt (Gralls, Hildebrandt, Mösle, Vagn Philipsen, 2013: S. 167). Gleichzeitig steigt der Stromverbrauch an: Die Ausstattung von Privathaushalten mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ist in den vergangenen Jahren signifikant angestiegen (Grassl, Hildebrandt, 2013: S. 73). Ebenso ist vorauszusehen, dass der Mobilitätssektor künftig vom Strom bestimmt sein wird. Langfristig ist davon auszugehen, dass 100 % der Fahrzeuge Elektrofahrzeuge sein werden. Auch dies beeinflusst den Stromverbrauch in Privathaushalten maßgeblich. Auch für Österreich wird erwartet, dass der Stromverbrauch bis 2050 um 15-20 % ansteigen wird (Renner, 2010 zit. nach bmvit, 2016: S. 15).

Hinsichtlich des Warmwasserbedarfs und des Stromverbrauchst liegen die Verantwortung und der Ankauf effizienter Geräte und Betriebsmittel stark in Hand der Nutzer. Der Einsatz bester technischer Geräte, eines effizienten Lichtkonzeptes, eines stromeffizienten Lüftungskonzeptes sowie die Substitution der Wassererwärmung durch energiesparende System wären

anzuzielen (Gralls, Hildebrandt, Möhle, Vagn Philipsen, 2013: S. 167).

## 4.1.2. WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE NATÜRLICHER ENERGIEN

Die zu erwartende Verknappung der Ressourcen Kohle, Öl und Gas sowie Turbulenzen am Energiemarkt zeigen, dass auch aufgrund wirtschaftlicher Aspekte eine größere Unabhängigkeit von diesen Energieträgern erforderlich ist (Grassl, Hildebrandt, 2013: S. 72). Hinzu kommt der Aspekt der zunehmenden Dezentralität der Energieerzeugung: Insbesondere bei PV-Systemen ist die Leistungsbandbreite davon nicht beeinflusst. Dies kommt insbesondere dann zum Tragen, wenn die Energie auch möglichst nahe und zeitgleich verbraucht wird (bmvit, 2016: S. 15f).

Die Netzparität wurde in Österreich bereits erreicht: Auf eine Lebensdauer von 20 Jahren gerechnet, ist die Stromproduktion aus Photovoltaik für private Nutzer kostenmäßig gleichzusetzen mit dem Bezug aus dem öffentlichen Stromnetz. Jedoch liegen Vergütungsgebühren für ins Netz eingespeisten Strom derzeit deutlich unter dem Konsumentenpreis, was zur Folge hat, dass die Netzparität nur bei einem hohen Eigenverbrauch nützlich ist (bmvit, 2016: S. 19f).

Die Kosten für Photovoltaiktechnologien sind in den vergangenen Jahren stark gesunken, gleichzeitig ist der Wirkungsgrad gestiegen. Die Lernkurve zeigt, dass der Modulpreis in den vergangenen 36 Jahren bei jeder Verdoppelung der kumulierten Produktion um 24 % gesenkt wurde (ISE, 2018: S. 8ff). Dadurch sind die leistungsbezogenen Kosten für Photovoltaikmodule gesunken. Es ist davon ausgehen, dass diese Entwicklung weitergeht und die Kosten für Photovoltaikmodule bis 2026 auf etwa 0,3 €/Wp sinken werden. Auch die Kosten für installierte PV-Anlagen sind in den letzten Jahren stark gesunken, in Österreich sank der Durchschnittspreis für eine installierte 5 kWp PV-Anlage von 5.138 €/kWp im Jahr 2008 auf 1.658 €/kWp im Jahr 2015. Ein wesentliches Kostensenkungspotential liegt in der gebäudeintegrierten Photovoltaik: Bei der Massenproduktion von PV-Bauelementen ist es durch die Doppelfunktionalität möglich, neben der Senkung von Modulkosten auch die Kosten für Unterkonstruktionen einzusparen und andere Baumaterialien zu ersetzen (bmvit, 2016: S. 19f; Vgl. ISE, 2018: S. 8ff).

Auch beim Material finden Optimierungen statt: Der Materialbedarf für kristalline Zellen konnte in den vergangenen 12 Jahren signifikant reduziert werden, von etwa 16 g/Wp auf weniger als 6 g/Wp, da diese effizienter werden und die Wafer dünner. Die Effizienz von PV-Systemen konnte maßgeblich gesteigert werden. Vor dem Jahr 2000 lag die Performance Ratio bei etwa 70 %, nun können 80 bis 90 % erreicht werden. Die Energierücklaufzeit ist von der geographischen Lage abhängig. In Nordeuropa werden etwa 2,5 Jahre benötigt, im Süden lediglich 1,5 Jahre oder sogar weniger (ISE, 2018: S. 8ff).

### 4.1.3. PHOTOVOLTAIK AM GEBÄUDE

Aus mehreren Gründen ist der Einsatz einer PV-Anlage direkt am Gebäude sinnvoll: Die erzeugte Energie kann teilweise direkt vom Gebäude genutzt werden, wodurch keine übermäßigen Belastungen für das Stromnetz entstehen, wie es z.B. bei großen Windparks der Fall ist. Es müssen keine weiteren Flächen verbaut werden, die das Landschaftsbild beeinflussen und die PV-Module können Funktionen der Gebäudehülle übernehmen, wodurch sie wirtschaftlicher werden.

Sobald Gebäude die Größenordnung von Einfamilienhäusern überschreiten, reichen die Dachflächen in der Regel nicht mehr aus, um mittels Photovoltaik und Solarthermie Null- und Plusenergiestandards zu erzielen. Aus diesem Grund ist die aktive Solartechnik auch immer mehr auf Fassaden zu finden und wird dadurch zu einem wichtigen Gestaltungselement. (Krippner, 2016: S. 6)

### BESTANDSGEBÄUDE

Das Thema der solartechnischen Installationen wird häufig auf Neubauten reduziert. Die Anzahl an Neubauten ist jedoch auch in wachsenden Städten wie Wien im Verhältnis zur Gesamtbebauung relativ gering. Im Jahr 2011 betrug der Anteil der Gebäude in Wien, die zwischen 2001 und 2011 gebaut wurden, 11,2% des Gesamtbestandes (Lebhart, 2015: S. 18). Die größeren Potentiale liegen in der energetischen und baulichen Sanierung des Bestandes. Insbesondere große Bauvolumen wie Siedlungsbauten oder auch Gewerbe- und Industriebauten, die zwischen den 1950ern und den 70ern errichtet wurden, weisen beim Thema Wärmeschutz erheblichen Nachholbedarf auf. Zur Erreichung einer nachhaltigen und zukunftssicheren Energieversorgung ist deshalb die energietechnische Sanierung der Altbauten von großer Bedeutung. Dazu zählen nicht nur die Dämmung der Gebäudehülle und die Installation nachhaltiger Heizungssysteme, auch die Aktivierung der Gebäudehülle sollte Teil einer energietechnischen Sanierung sein (Krippner, 2016: S. 65).

### ENTWICKLUNGEN

Im Jahr 2015 erfolgte 1,3 % der globalen Strom-Erzeugungsleistung über Photovoltaik (227 GW). Für das Jahr 2020 ist damit zu rechnen, dass die weltweite nukleare Kapazität (400 GW) übertroffen wird (bmvit, 2016: S. 19f). Die Stadt Wien will bis zum Jahr 2015 den Anteil erneuerbarer Energien von 10% auf 50 % steigern. Der Bau von Photovoltaik-Anlagen wird dementsprechend finanziell und durch Vereinfachung der Verwaltungsschritte von der Stadt gefördert (Dvorak, 2016: S. 9ff).

## 4.2. FUNKTIONSWEISE PHOTOVOLTAIK

In den folgenden Kapiteln wird auf die Energiegewinnung mit Photovoltaik eingegangen sowie aufgezeigt welche Faktoren ihren Ertrag beeinflussen.

### 4.2.1. SONNENENERGIE

Solarenergie kommt auf der Erde in direkter Form von Strahlung und in indirekter Form von Windenergie vor. Wie schon im Kapitel 2.3.4 „Solaranalyse“ beschrieben, wird die auf die Erdoberfläche auftretende Solarstrahlung Globalstrahlung genannt. Die Einstrahlungsstärke wird von der Höhenlage, dem Bewölkungsgrad und dem Sonnenstand beeinflusst. An einem wolkenlosen Tag beträgt die auftreffende Energie auf einer rechtwinkelig zur Sonne orientierten, 1 m<sup>2</sup> großen Fläche maximal 1 Kilowatt (Krippner, 2016: S. 25f). Auf ein Jahr summiert sich diese Leistung in Österreich auf ca. 1100 bis 1400 kWh/m<sup>2</sup> (ZAMG, 2010).

**Mittlere Jährliche Summe der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche**

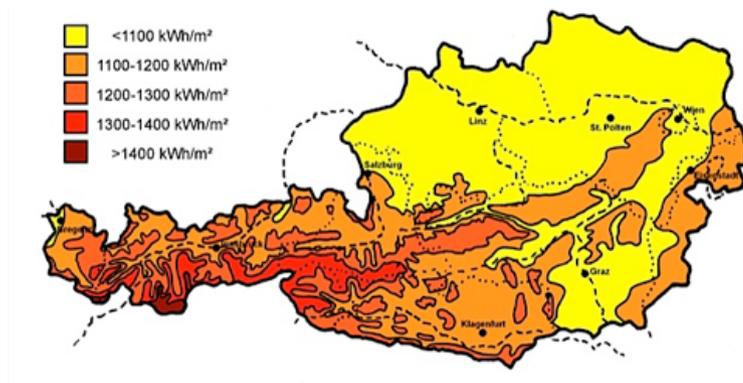


Abbildung 59: Globalstrahlung in Österreich

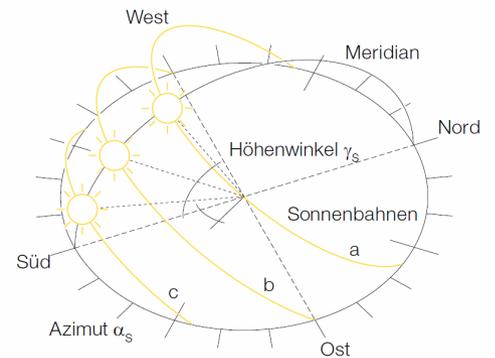


Abbildung 60: Sonnenazimut und Höhenwinkel

Der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen kann durch den Winkel des Sonnenazimuts  $\alpha_s$  und den Winkel der Sonnenhöhe  $\gamma_s$  beschrieben werden. Mit Hilfe von Sonnenstanddiagrammen für den jeweiligen Standort können diese Werte bestimmt werden (Krippner, 2016: S. 24).

## 4.2.2. NUTZUNG DER SOLARENERGIE

Für Gebäude kann die Solarenergie aktiv oder passiv genutzt werden. Bei der passiven Nutzung wird die Energie durch bauliche Maßnahmen im Gebäude gesammelt, gespeichert und verteilt. Für die aktive Nutzung werden technische Installationen für die Energiegewinnung, -verteilung und eventuell -speicherung genutzt. Die aktive Nutzung wird prinzipiell in zwei Arten unterteilt: Solarthermie und Photovoltaik. Solarthermie nutzt Kollektoren, welche die Solarstrahlung in Wärme umwandeln. PV-Module hingegen wandeln das Sonnenlicht mittels Solarzellen direkt in elektrische Energie um. Für sie ist in erster Linie die direkte Strahlung von Bedeutung, nur ein Teil der indirekten Strahlung kann in Energie umgewandelt werden (Krippner, 2016: S. 24).

## 4.2.3. AUFBAU EINER SOLARZELLE

Solarzellen bestehen aus Halbleitern, meist aus Silizium – ein Material, das in praktisch unbegrenzter Menge vorhanden ist. Halbleiter werden unter Zufuhr von Licht oder Wärme elektrisch leitfähig. Die Solarzelle besitzt zwei Schichten dieser Halbleiter. Eine Schicht besitzt einen positiven (p-Schicht) und die andere einen negativen (n-Schicht) Ladungsüberschuss. Die unterschiedlichen Ladungen werden durch die Einbringung chemischer Elemente in die Halbleiter erreicht. In der Grenzschicht (p-n-Übergang) zwischen den Halbleitern baut sich ein elektrisches Feld auf, welches bei Lichteinfall zu einer Ladungstrennung der Ladungsträger führt. Über Metallkontakte an den Halbleitern kann eine elektrische Spannung abgegriffen werden. Wird nun ein Verbraucher angeschlossen und der Kreis geschlossen, fließt Gleichstrom (Treberspurg, 2013: S. 178).

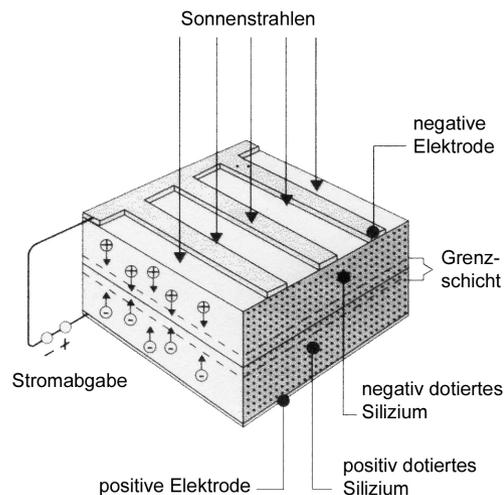


Abbildung 61: Aufbau einer Solarzelle

## 4.2.4. EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN SOLARERTRAG

Die Ausbeute der auftretenden Strahlungsenergie wird von verschiedenen Faktoren bestimmt, die wichtigsten sind die Exposition (Himmelsorientierung) und der Neigungswinkel sowie die Verschattung der Module (Krippner, 2016: S. 26).

### EXPOSITION UND NEIGUNG

Die Gewinne der Photovoltaik erhöhen sich, wenn die Solarzellen der Sonne zugewandt werden. Wie in der Abbildung 62 zu sehen ist, werden die höchsten Erträge erzielt, wenn die PV-Module zwischen Südost und Südwest ausgerichtet sind. Sind sie nach Westen oder Osten ausgerichtet ist mit einem um bis zu 20 % verringerten Energiegewinn zu rechnen. Da bei einer West-Ost Ausrichtung am Abend und am Morgen viel Energie erzeugt wird und der Eigenverbrauch erhöht werden kann, sind auch solche Flächen wirtschaftliche nutzbar. Der Neigungswinkel sollte zwischen 20° und 60° zur Horizontalen sein, um gute Werte zu erreichen. Sind die Module hingegen senkrecht in die Fassade integriert, kann mit einem Energieverlust von 30 % gerechnet werden. Sind sie horizontal – etwa auf einem Flachdach – montiert, ist der Ertrag zwischen 10 und 20 % geringer. Eine Möglichkeit, um den Ertrag zu steigern, bilden Module, die den Gang der Sonne verfolgen und die Modulfläche so lange wie möglich senkrecht zur Sonne ausrichten. So können die Erträge um bis zu 15 % erhöht werden (Treberspurg, 2013: S. 180).

### ZELLTEMPERATUR

Die Leistung einer Solarzelle ist das Produkt der Stromstärke mal der Spannung. Die erzeugte Spannung der Solarzelle ist abhängig vom Halbleitermaterial, bei Silizium beträgt die Spannung ca. 0,5 V bis 0,7 V. Bei höherer Beleuchtungsstärke steigt die Stromstärke der Solarzelle, die Spannung bleibt annähernd gleich (siehe Abbildung 64).

Die Modultemperatur beeinflusst die Modulspannung. Bei niedrigen Temperaturen steigt die Spannung, sie kann bis zu 20 % über dem Nennwert liegen. Bei hohen Temperaturen bleibt die Stromstärke zwar annähernd gleich, die Spannung sinkt hingegen und infolgedessen auch die Leistung (siehe Abbildung 63). Um eine optimale Leistung zu erzielen, ist also eine gute Kühlung z.B. durch eine Hinterlüftung erforderlich. Im Sommer kommt es oft vor, dass die Betriebstemperatur der Module auf einem Dach über 50 °C erreichen. Trotz der erhöhten Temperaturen ist der Ertrag von PV-Anlagen im Sommer jedoch durch die stärkere und längere Sonneneinstrahlung fast um 80 % höher als im Winter.

(Krippner, 2016: S. 35).

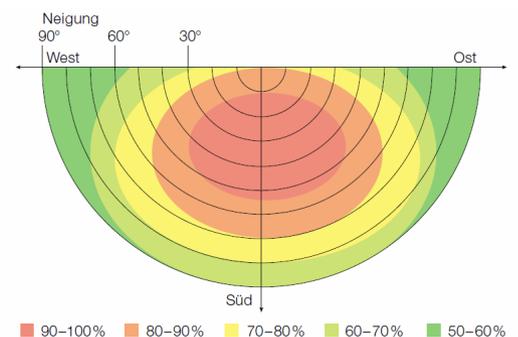


Abbildung 62: Abhängigkeit des Solarertrages von Exposition und Neigung

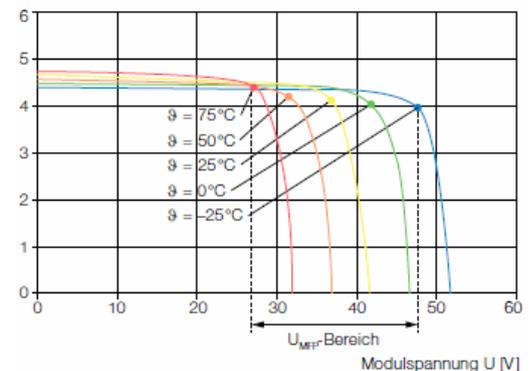


Abbildung 63: Modulstrom in Abhängigkeit von Spannung und Modultemperatur

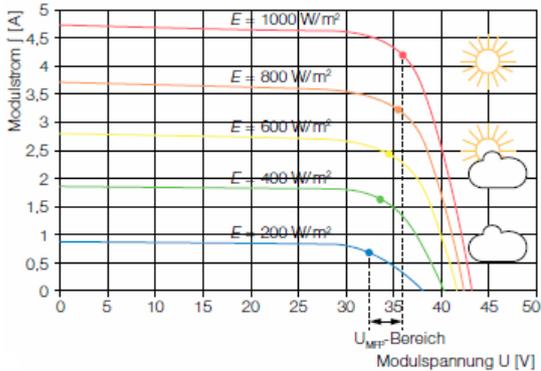


Abbildung 64: Modulstrom in Abhängigkeit von Spannung und solarer Einstrahlung

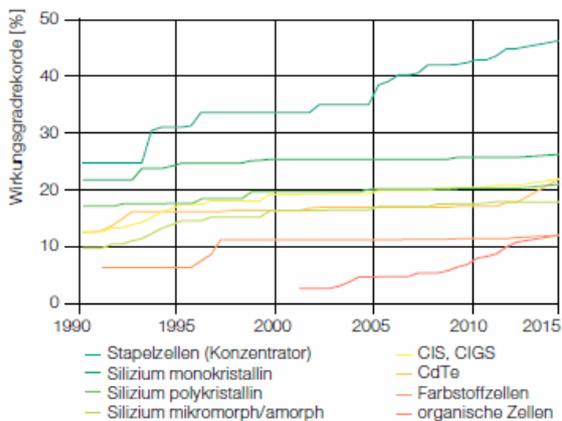


Abbildung 65: Wirkungsgradentwicklung: verifizierte Rekorde von laborgefertigten Mini-Solarzellen

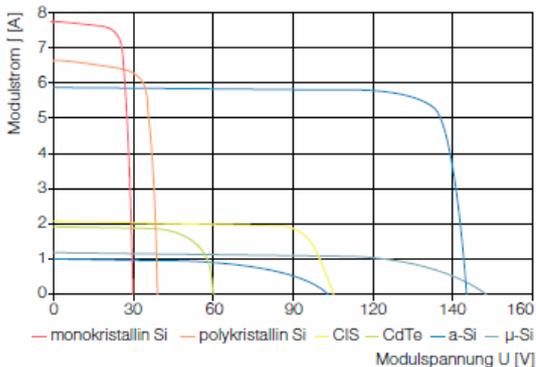


Abbildung 66: Kennlinien unterschiedlicher Modultypen im Vergleich

In Abbildung 66 sind die Kennlinien der unterschiedlichen Modultypen abgebildet. Wie man sieht, haben Module mit kristallinen Zellen eine höhere Stromstärke und Dünnschichtmodule eine höhere Spannung.

## VERSCHATTUNG

Um höhere Leistungen oder Spannungen zu erzeugen werden, die Solarzellen zu größeren Einheiten miteinander verschaltet. Bei einer Serienschaltung erhöht sich die Spannung und bei einer Parallelschaltung erhöht sich die Stromstärke. Die in Serie verschalteten Zellen sollten die gleiche Spannung aufweisen, da sich andernfalls ein Mittelwert aller in Serie geschalteten Zellen einstellt, wodurch Leistungsverluste entstehen. Die Art der Verschaltung beeinflusst folglich auch die Auswirkungen von Verschattungen. So kann schon eine einzelne verschattete kristalline Zelle die Leistung eines Moduls um bis zu 80 % verringern. Können Teilabschattungen nicht vermieden werden, sollten die Module oder Generatoren so verschaltet werden, dass nicht mehrere Stränge teilabgeschattet werden, sondern einzelne Stränge komplett abgeschattet werden. Kristalline Module sind bei Verschattungen empfindlicher als Dünnschichtmodule, da die einzelnen Dünnschichtzellen größere Abmessungen haben und dadurch nicht so schnell komplett verschattet werden (Hagemann, 2002: S. 27).

### 4.2.5. WIRKUNGSGRAD

Der Anteil der auftretenden Sonnenstrahlung, der in elektrische Energie umgewandelt wird, wird als Wirkungsgrad bezeichnet und in Prozent angegeben. Ein Teil der Sonnenenergie wird als Wärme freigesetzt. Theoretisch kann ein Wirkungsgrad von 43 % erreicht werden (Hermannsdörfer und Rüb, 2005: S. 136). Im Labor liegt der erreichte Höchstwert für monokristalline Siliziumzellen im März 2017 bei einem Wirkungsgrad von ca. 26 % (Löfken, 2017), in der Praxis sind die Werte jedoch geringer. Zu unterscheiden ist der Wirkungsgrad der Zelle und jener des Modules. Der Wirkungsgrad des Modules ist immer etwas geringer, da zum einen das Frontglas nicht das gesamte Sonnenlicht ungehindert durchlässt und zum anderen nicht das gesamte Modul lückenlos mit Zellen belegt werden kann. Aus diesem Grund haben Module mit monokristallinen Zellen und abgerundeten Kanten oft einen ähnlichen Wirkungsgrad wie Module mit polykristallinen Zellen (Krippner, 2016: S. 35).

Der Flächenbedarf für eine gewünschte Leistung hängt vom Wirkungsgrad der Solarmodule ab. Für polykristalline Module kann mit einer Fläche zwischen 6-10 m<sup>2</sup> für ein Kilowatt gerechnet werden. Da die Betriebskosten einer Solaranlage sehr gering sind und sie keine ständigen Schadstoffemissionen verursachen, sind auch Module mit einem niedrigeren Wirkungsgrad akzeptabel, da diese meist geringere Investitionskosten verursachen und dadurch in vielen Fällen auch die Kosten pro Kilowattstunde kleiner sind (Krippner, 2016: S. 24).

## 4.3. SYSTEMTYPEN

Grundsätzlich wird zwischen netzgekoppelten und autarken PV-Anlagen unterschieden. Auf diese beiden Systeme soll folgend eingegangen werden.

### 4.3.1. NETZGEKOPPELTE SYSTEME

Bei netzgekoppelten Systemen wird entweder der gesamte erzeugte Strom ins Netz eingespeist oder es wird ein Teil selbst verbraucht und die überschüssige Energie eingespeist. Da der Prozentsatz an fluktuierenden Stromquellen aus Wind und Sonne immer höher wird und dadurch die Netze immer stärker belastet werden, wird die zeitliche Übereinstimmung von Stromproduktion und -verbrauch stets wichtiger. Dies gestaltet sich allerdings oftmals schwierig, im Sommer wird in unseren Breitengraden zur Mittagszeit am meisten Solarstrom produziert, gleichzeitig ist z.B. am Wochenende der Verbrauch zur Mittagszeit gering. Neben Stromspeichern, die mit hohen Investitionen und einem etwas geringeren Wirkungsgrad des Gesamtsystems verbunden sind, gibt es auch andere Lösungsansätze um den Eigenverbrauch zu erhöhen. So kann die Nutzung von PV-Anlagen, die nach Osten oder Westen ausgerichtet sind, die Mittagsspitzen senken (Krippner, 2016: S. 29).

Zur Optimierung des Eigenverbrauches können auch elektrische Lastmanagement-Systeme eingesetzt werden, die zur intelligenten Steuerung von elektrischen Verbrauchern sämtliche Energieflüsse im Haushalt erfassen und zusammen mit Wetterprognosen das Gesamtsystem optimieren (PV Austria, 2018).

Einen relativ neuen Ansatz bilden sogenannte Eigenlast Cluster. Diese sollen den Eigenverbrauch durch Zusammenschluss von Objekten mit unterschiedlichen Verbrauchsprofilen erhöhen. So können Haushalts-, Gewerbe- und Industrieobjekte in einem Cluster den Strom aus PV-Anlagen möglichst effizient nutzen. Beispielsweise kann durch zwei zusätzliche Verbraucher im Cluster der Eigenverbrauch der gewonnen Energie von einer kleinen PV-Anlage (< 10kW) im Durchschnitt um 40 % gesteigert werden. Zusätzlich kann durch den Zusammenschluss auch die Effizienz von Lastmanagement-Systemen und Energiespeichern erhöht werden (Leber, Xypolytou, Prügler, u.a., 2016: S.61).

Ein hoher Eigenverbrauch des PV-Stromes hat auch wirtschaftliche Vorteile. Zum einen ist die Einspeisevergütung wie schon beschrieben in den vergangenen Jahren stark zurückgegangen, zum anderen entfallen beim Eigenverbrauch die Steuern und die Netzgebühren der Energieanbieter. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Bezugspreis pro kWh in Wien betrug im Jahr 2017 19,59 Cent (Durchschnittshaushalt mit 3500 Kilowattstunden

Jahresverbrauch) (strompreisliste.at, 2018) während die Einspeisevergütung für geförderte Anlagen im selben Jahr 8,24 Cent betrug.

Bei Häusern mit mehreren Wohneinheiten war der Eigenverbrauch bis vor Kurzem auf die Gemeinschaftsflächen des Gebäudes begrenzt, da die Nutzung des selbst erzeugten Stromes nur mit einer Anschaffung eines eigenen Zählerpunktes möglich war. Erst mit der Novellierung des ElWOG (Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz), das mit 1. August 2017 in Kraft getreten ist, wurde die gemeinschaftliche Nutzung von PV-Anlagen in Mehrfamilienhäusern und in weiterer Folge ein deutlich höherer Eigenverbrauch möglich (Ökostrom Novellenpaket, 2017).

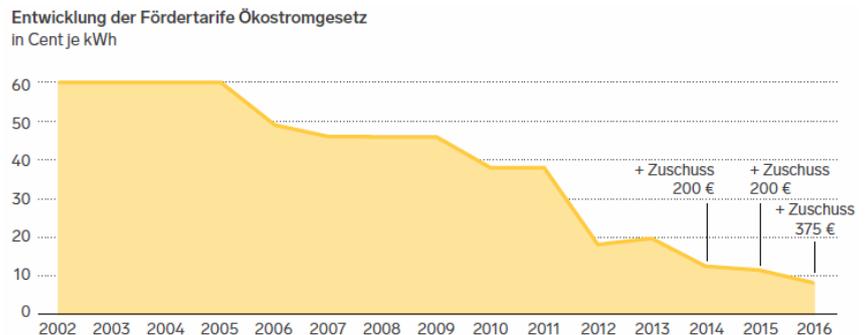


Abbildung 67: Entwicklung der Fördertarife

### 4.3.2. INSELANLAGEN

Sogenannte Inselanlagen, also netzautarke PV-Anlagen, besitzen keinen Anschluss an ein öffentliches Stromnetz. Sie kommen meist zum Einsatz, wenn der Anschluss an ein Netz nicht oder nur unter hohem Aufwand möglich ist, wie etwa in alpinen Gebieten oder in Entwicklungsländern. Der Betrieb einer Inselanlage ist schon heute kostengünstiger als etwa die Stromversorgung mit einem Dieselgenerator. Bei kleinen Inselanlagen wird in manchen Fällen der erzeugte Gleichstrom zum Beispiel für Licht, oder Sonnenschutzrollos direkt verwendet. Meist wird jedoch ein Wechselrichter eingesetzt, da für viele Stromverbraucher Wechselstrom benötigt wird (Krippner, 2016: S. 29).

### 4.3.3. GEORG-EMMERLING-HOF

Der Georg-Emmerling-Hof ist natürlich bereits an das öffentliche Stromnetz angeschlossen, weshalb es sich im vorliegenden Entwurf um eine netzgekoppelte Anlage handelt. Welche Strategie angewandt wird, um einen hohen Eigenverbrauch zu erzielen, wird im Kapitel 6.3.4. "Systemkonzept der Photovoltaikanlage" beschrieben.

## 4.4. WECHSELRICHTER

Die Photovoltaik-Module erzeugen Gleichstrom, der mittels Wechselrichtern (auch Inverter genannt) in netzkonformen Wechselstrom umgewandelt wird. Außerdem steuern er den Betriebsablauf des PV-Systems, stellen einen Schutz für das Stromnetz und den Solargenerator dar, und werden als Kommunikationsschnittstelle genutzt. Die Beschaffenheit des Wechselrichtersystems wird von der Größe, Anordnung und der Art der PV-Anlage beeinflusst. Nur bei verschattungsfreien Anlagen mit homogener Ausrichtung kann ein zentraler Wechselrichter eingesetzt werden. Üblicherweise werden kleinere Einheiten zu Teilsystemen mit modularen Wechselrichtersystemen verschaltet. Gebräuchliche Größen sind modulare Wechselrichter mit einer Leistung von 3 bis 6 kW, das entspricht einer 30 bis 60 m<sup>2</sup> großen Modulfläche. Bei großen PV-Anlagen kann dadurch schnell eine hohe Anzahl an Wechselrichtern erforderlich sein. Dabei muss bei der Planung der Montageort – der Wechselrichter setzt Wärme frei und erzeugt einen gewissen Geräuschpegel – und der Platzbedarf sowie ein Zugang für Wartungsarbeiten bedacht werden (Lüling, 2009: S.106).

### 4.4.1. ZENTRALE WECHSELRICHTER

Bei einem zentralen Wechselrichter wird die gesamte erzeugte Leistung in Gleichstrom gesammelt und einem Netzkopplungsgerät zugeführt. Hier werden Stränge aus mehreren, in Reihe geschalteten Modulen miteinander parallel verschalten. Der Vorteil dieses Konzeptes ist, dass nur ein Wechselrichter gewartet und kontrolliert werden muss. Nachteile sind die fehlende Flexibilität bei einer möglichen Erweiterung sowie lange, aufwendige Gleichstromleitungen, die Energieverluste erzeugen. Einzelne Module, die weniger Energie produzieren, wirken sich stets auf das gesamte PV-System aus und im Falle des Ausfalls eines Wechselrichters fällt das gesamte System aus.

### 4.4.2. STRANGWECHSELRICHTER

In diesem Fall ist jeweils ein Wechselrichter mit einer modularen Einheit – bestehend aus einem Strang aus in Reihe geschalteten Modulen – verbunden. Durch diese Anordnung entfällt ein Teil der aufwendigen Gleichstromverteilung, der erzeugte Wechselstrom kann an einer beliebigen Stelle des Hausverteilungsnetzes eingespeist werden. Durch die größere Anzahl an Wechselrichtern kann das System besser optimiert und angepasst werden. Die Kosten können außerdem durch eine einfachere Planung, Installation und Wartung gesenkt werden.

### 4.4.3. MODULINTEGRIERTE WECHSELRICHTER

Hier ist in jedem einzelnen Modul ein Wechselrichter integriert. Die problematische Gleichstromverkabelung wird dadurch außerhalb des Modules völlig vermieden und auch Mismatch-Verluste spielen keine Rolle. In weiterer Folge entstehen jedoch relativ hohe Kosten für die Wechselrichter, dies kann durch die günstigere Verkabelung etwas ausgeglichen werden. Problematisch sind auch die schwere Zugänglichkeit bei anfallenden Wartungen und die Wärmeentwicklung der Wechselrichter am Modul, die eine verringerte Modulleistung verursachen (Hagemann, 2002: S.51ff).

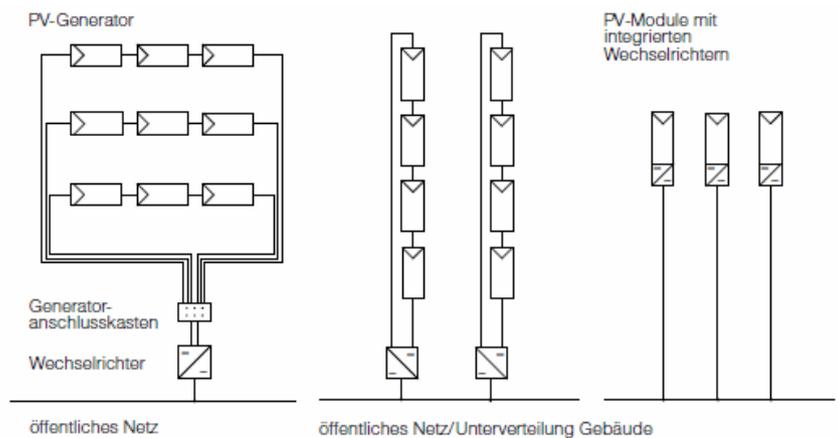


Abbildung 68: Wechselrichterkonzepte

### ANSCHLUSSDOSE

Über eine rückseitig oder seitlich angebrachte Anschlussdose erfolgt der elektrische Anschluss der PV-Module. In der Anschlussdose sind Bypassdioden integriert. Wenn einzelne Solarzellen verschattet sind, überbrücken diese den jeweiligen String. Dadurch schützen sie die verschatteten Zellen vor Schädigung durch die erzeugte Spannung der Nachbarzellen und halten die Verluste des betroffenen Moduls möglichst gering. Andernfalls würden verschattete Zellen zum Stromverbraucher werden und können durch übermäßige Erwärmung zerstört werden – dieser Effekt wird auch Hot Spot-Effekt genannt. Auch im Schadensfall einer Solarzelle wird der betroffene String überbrückt, um eine Schädigung des Einbettungsmaterials zu verhindern (Hornbachner, 2009).

## 4.5. ZELLTYPEN

In der Abbildung 69 werden verschiedene Zelltypen der Solartechnik sowie deren Eigenschaften dargestellt: kristalline Silizium-Solarzellen, Dünnschicht Solarzellen und organische Solarzellen. In weiterer Folge wird näher auf diese Typen eingegangen.

### 4.5.1. KRISTALLINE ZELLEN

Kristalline Solarzellen sind am weitesten verbreitet, sie haben einen Marktanteil von 90 %. Ihr Ausgangsmaterial ist Silizium, ein seit langem erprobtes und ungiftiges Material. Silizium wird aus Quarzsand gewonnen. Dieses Material ist in großen Mengen auf der Erde vorhanden, die Herstellung erfolgt jedoch unter hohem Einsatz von Energie. Untschieden wird dabei zwischen polykristallinen Zellen und monokristallinen Zellen.

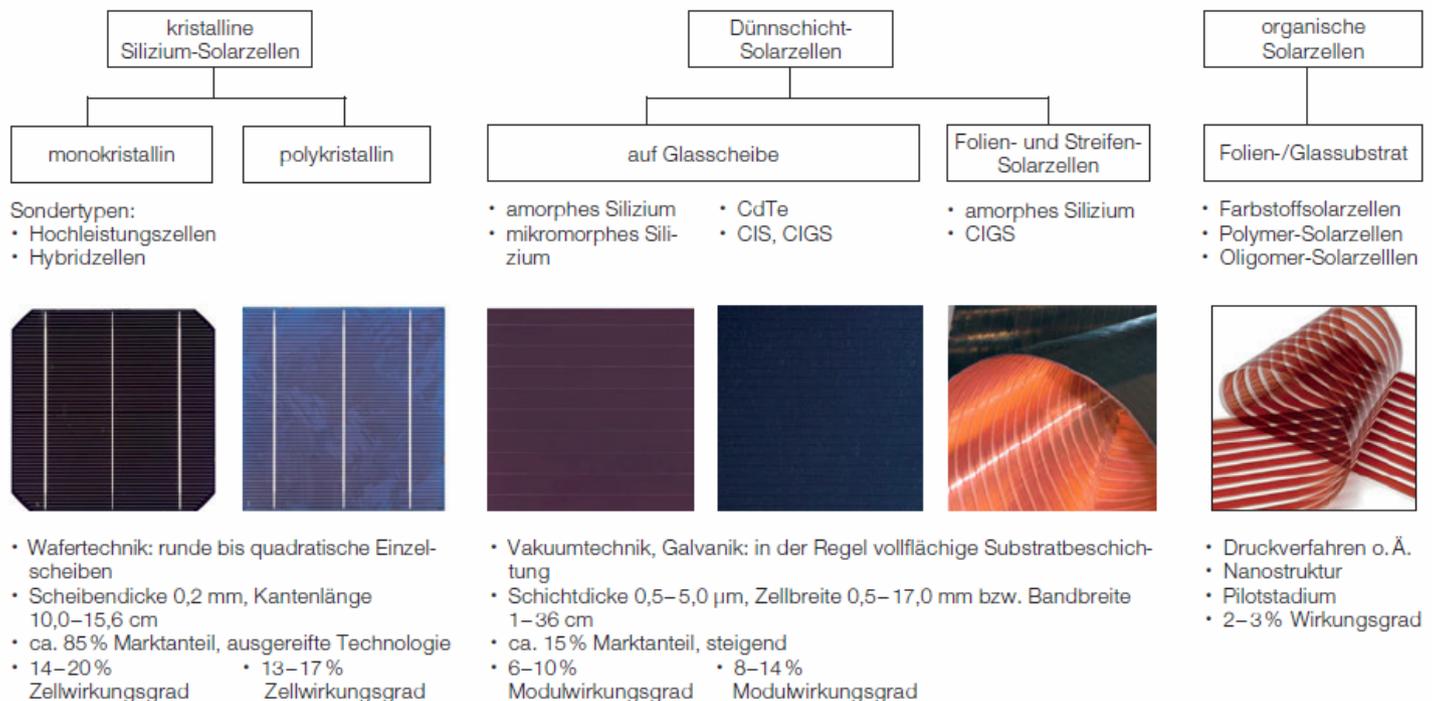


Abbildung 69: Zelltypen der Solartechnik

## POLYKRISTALLINE ZELLEN

Polykristalline Zellen sind vergleichsweise kostengünstig herzustellen, dabei wird flüssiges Silizium in Blöcke gegossen und in Scheiben gesägt. Bei der Erstarrung bilden sich unterschiedlich große Kristallstrukturen. An den Grenzen dieser Kristallstrukturen treten Defekte auf, die einen verringerten Wirkungsgrad der Solarzelle verursachen.

Merkmale:

perlmutterartig facettenreiche, kristallin schimmernde, bläuliche Oberfläche;  
deutlich erkennbares Metallkontaktfingeretz auf der Frontseite

Vorteile:

- sehr gute Langzeitstabilität
- umweltverträgliches Ausgangsmaterial
- kostengünstige Herstellung

Nachteile:

- aufwendige, energieintensive Produktion
- schlechte Materialausnutzung durch dicke Materialschichten
- relativ geringe Wirkungsgrade
- temperaturempfindlich
- zerbrechlich
- undurchsichtig

## MONOKRISTALLINE ZELLEN

Für die Herstellung der monokristallinen Zellen werden aus hochreinen Siliziumschmelzen zylinderförmige Siliziumkristalle gezogen. Dieser Prozess ist sehr energie- und zeitaufwendig. Die Kristalle werden zersägt, wodurch kreisrunde Wafer entstehen. Diese können in einem weiteren Schritt zu quadratischen Wafern zugeschnitten werden, wodurch jedoch ein hoher Materialverbrauch entsteht.

Merkmale:

verschiedene Größen und Formen; dunkelblaue bis schwarze Optik;  
deutlich erkennbares Metallkontaktfingeretz auf der Frontseite

Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad
- sehr gute Langzeitstabilität
- umweltverträgliches Ausgangsmaterial

Nachteile:

- aufwendige, energieintensive Produktion
- schlechte Materialausnutzung / hoher Materialverlust
- hohe Anforderungen an das Ausgangsmaterial Silizium
- temperaturempfindlich
- teuer

## 4.5.2. DÜNNSCHICHTZELLEN

Dünnschichtzellen verursachen im Vergleich zu anderen Solarzellen einen wesentlich geringeren Material- und Energieaufwand. Außerdem bieten sie weitere positive Eigenschaften:

- geringe Temperatur- und Verschattungsempfindlichkeit
- höhere Ausbeute bei diffusen Lichtverhältnissen
- größere geometrische Möglichkeiten
- homogenes Erscheinungsbild
- Flexibilität
- mögliche Transparenz
- geringes Gewicht bei leichtem Trägermaterial

Als Nachteile sind im Vergleich zu kristallinen Solarzellen jedoch der geringere Wirkungsgrad und ein höherer Leistungsverlust über die Lebenslaufzeit zu nennen. Aufgrund dieser Nachteile und dem kontinuierlichen Kostenrückgang kristalliner Module konnten sich die Dünnschichtmodule nicht durchsetzen, 2015 hatten sie einen Marktanteil von 10 %. Die Basis für Dünnschichtsolarzellen können verschiedene Ausgangsmaterialien sein. Die drei am weitesten verbreiteten sind:

- Amorphes Silizium (a-Si)
- Cadmium-Tellurid (CdTe)
- Kupfer-Indium (CIS oder CIGS)

## 4.5.3. GEORG-EMMERLING-HOF

Für den Entwurf der neuen Fassade werden monokristalline Zellen verwendet. Ausschlaggebend für diese Entscheidung ist, dass es sich um einen bereits gut erprobten Zelltypen handelt, der neben geringen Langzeitleistungsverlusten einen hohen Wirkungsgrad aufweist. Dadurch sollen auch die Leistungsverluste einer farbigen Moduloberfläche relativiert werden. Auch der Material- und Energiebedarf für die Produktion konnte wie im Kapitel 4.1.2. "Wirtschaftliche Aspekte natürlicher Energien" beschrieben mittlerweile reduziert werden.



## 4.6. GEBÄUDEINTEGRATION

Bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik (GIPV) übernehmen die Photovoltaikmodule neben der Funktion der Energieerzeugung noch weitere Funktionen. Dabei unterscheidet man zwischen Integration, Substitution und Addition der Photovoltaik, wobei die Übergänge meist fließend sind.

Bei der Integration sind die PV-Module ein vollwertiger Teil der Gebäudehülle, deren Aufgabe sie vollständig übernehmen. Hier handelt es sich meist um eigene Systementwicklungen wie etwa Verbundelemente, die die Funktionen der Dachhaut oder der Fassade (zum Beispiel in Isolierglas eingebettete Solarzellen) übernehmen.

Im Gegensatz dazu übernehmen die PV-Elemente bei der Substitution nur Teile der Aufgaben der Gebäudehülle. Das kann zum Beispiel ein Sonnenschutz vor einem Fenster, ein Sichtschutz in einer Balkonbrüstung oder ein Wetterschutz über einem Hauseingang sein.

Unter Addition versteht man die Anbringung der Photovoltaik vor der funktionsfähigen Gebäudehülle. Sie wird oft als nachträgliche Installation ohne sonstige Sanierungsmaßnahmen angebracht. Hier wird nur minimal in die Gebäudehülle eingegriffen, weshalb die Applikation eine gute Lösung für denkmalgeschützte Gebäude darstellt.

Die Integration und die Substitution sind langfristig die wirtschaftlich besseren Möglichkeiten, da durch den Mehrfachnutzen Materialeinsparungen entstehen und die Investitionskosten gesenkt werden.

(Weller 2009, S. 49)

### GEORG-EMMERLING-HOF

Da die stilbildenden Elemente des 50er-Jahre-Baus erhalten bleiben sollen, soll die Photovoltaikfassade des Georg-Emmerling-Hofs keine vollständig neue Gebäudehülle in Form einer integrierten Photovoltaikfassade darstellen. Die PV-Elemente bilden stattdessen eine Substitution von Fassadenfunktionen, diese werden im Kapitel 6.1. "Funktionen" beschrieben.



Abbildung 70: Fassade, Integration



Abbildung 71: Glasdach, Integration



Abbildung 72: Brüstung, Substitution



Abbildung 73: Sonnenschutz, Substitution



Abbildung 74: Addition Dach

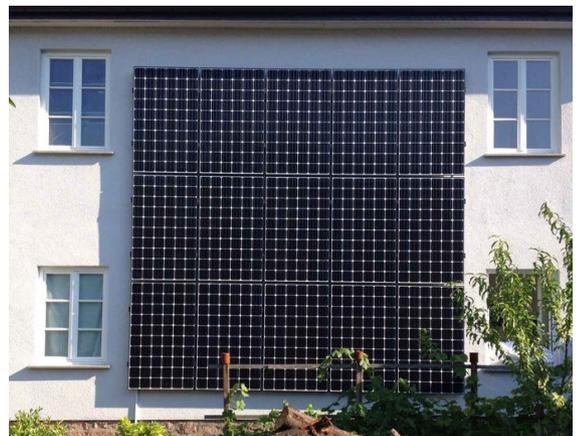


Abbildung 75: Addition Fassade

## 4.7. GESTALTUNGSMÖGLICHKEITEN

Die Einbindung von Solaranlagen beeinflusst das Erscheinungsbild der Gebäudehülle. Besonders bei bestehenden Gebäuden verlangt dies individuelle, auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmte Lösungen. Dabei stehen die Farbgebung und die Geometrie für den optimalen Ertrag oft in Diskrepanz mit den typologischen Merkmalen von Wand und Dach. Auch die Anordnung und Dimensionierung der PV-Module spielt für eine gelungene Integration eine wichtige Rolle. Die strukturellen und formalen Gestaltungsmöglichkeiten sind wie anschließend gezeigt wird mittlerweile sehr groß. In den Solarflächen kann auch die Chance gesehen werden, das Repertoire der Gestaltungsmöglichkeiten zu erweitern und im Idealfall zum symbolischen Zeichen für die Nutzung erneuerbarer Energie zu machen (Hermannsdörfer und Rüb, 2005: S. 32).

PV-Module bieten eine Reihe von Gestaltungsmöglichkeiten. Sie können neben einer rechtwinkeligen Geometrie auch andere Formen wie Dreiecke oder Freiformen innehaben. Da die Zellen meistens quadratisch sind, entstehen bei nicht rechtwinkligen Formen Bereiche, die frei bleiben oder mit geschnittenen inaktiven Zellen gefüllt werden. Auch dreidimensionale Geometrien können mit gebogenen Gläsern und Kunststofffolien hergestellt werden.

Für ein teiltransparentes Modul können die Abstände zwischen den Zellen vergrößert werden. Eine andere Möglichkeit ist es, in die Zellen Lochstrukturen zu lasern, was weitere Gestaltungsmöglichkeiten bietet.

Strukturgläser bilden eine gute Möglichkeit, um im Gegensatz zu den spiegelnden Oberflächen der Standardmodule auf unregelmäßige Oberflächen – etwa vom Mauerwerk oder Putz – zu reagieren. Sie sind als Standardprodukte preiswert erhältlich. Ein Nachteil ist jedoch, dass diese Gläser leichter verschmutzen. Um die Funktionalität der PV nicht zu beeinflussen, ist deshalb eine regelmäßige Reinigung der Oberflächen notwendig.

(Hermannsdörfer und Rüb, 2005: S. 68f)

Für die farbliche Gestaltung können drei Bestandteile der Module eingefärbt werden:

- Solarzelle
- Frontglas
- Einbettfolie

## 4.7.1. FARBIGE SOLARZELLEN

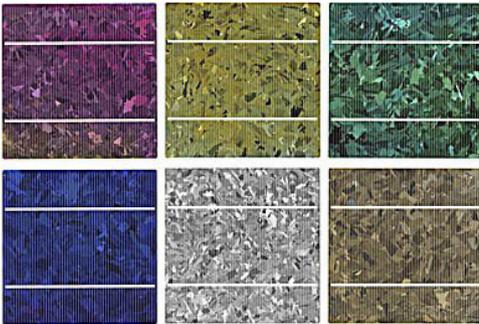


Abbildung 76: Farbige Solarzellen

Eine nur wenige Nanometer starke Antireflexschicht auf den Solarzellen soll Reflexionen reduzieren und sie dadurch effizienter machen. Die Schichtstärke ist hinsichtlich der Art der Solarzelle bzw. deren Effizienz optimiert, wodurch unterschiedliche Farben entstehen. So werden beispielweise graue, kristalline Zellen blau oder schwarz. Dieser Effekt kann auch genutzt werden, um die Farben bewusst zu verändern. So können durch unterschiedliche Stärken der Antireflexschicht die Solarzellen unter anderem Rot, Gelb oder Gold erscheinen, zahlreiche Farbgebungen sind möglich. Die Kristallstruktur der Zellen bleibt bei dieser Variante erhalten. Der Wirkungsgrad des Moduls nimmt dabei je nach Farbe zwischen 15 % und 30 % ab. Diese Methode ist seit rund 15 Jahren erprobt und vergleichsweise kostengünstig (Schoof, 2017: S. 49).

## 4.7.2. FOLIEN

Die Kunststofffolien (z.B. PVB) zur Verkapselung der Solarzellen können auch in verschiedenen Farben ausgeführt werden. Sie bieten eine große Farbauswahl, die Ertragseinbußen sind ähnlich hoch wie bei färbigen Solarzellen, wobei der Farbeindruck deutlich homogener wirkt.

Das Schweizer Forschungs-, und Entwicklungszentrum CSEM entwickelte 2014 eine nanotechnisch bearbeitete Folie, die es erstmals ermöglichte, PV-Module auch in Weiß herzustellen. Ganz allgemein gilt: Je heller die Oberfläche eines Modules ist, umso mehr Licht wird reflektiert und umso geringer ist der Wirkungsgrad. Die nanotechnisch bearbeitete Folie lässt lediglich den Infrarotanteil der Strahlung durch und reflektiert den sichtbaren Teil des Lichtes. Der Wirkungsgrad verringert sich dadurch um 40 %. Nur mit hocheffizienten HIT-Solarzellen kann ein Wirkungsgrad von knapp über 11 % erreicht werden.

Die Folie wird über der Zelle angebracht und auf dem Deckglas des Modules wird eine zweite lichtstreuende Folie aufgebracht, die das Modul gleichmäßig weiß erscheinen lässt, auch die darunter liegende Zellstruktur ist nicht sichtbar. Ein Vorteil eines weißen PV-Modules ist, dass es sich weniger stark erwärmt. So lassen sich weiße Module auch ohne Hinterlüftung in Gebäudehüllen integrieren, ohne allzu große Verluste in Kauf nehmen zu müssen (Schoof, 2014).



Abbildung 77: Weißes Modul mit Kunststofffolie

### 4.7.3. SPEKTRAL SELEKTIV BESCHICHTETES GLAS

Bei dieser von der EPLF in Lausanne entwickelten Technik werden auf der Rückseite des Frontglases Nanometer dünne Oxidschichten aufgedampft, die nur einen kleinen Spektralbereich des Lichtes reflektieren. Die Vorderseite des Deckglases kann zudem im Ätzverfahren mattiert werden. Es lassen sich verschiedene Farben durch eine Variation der Schichtanzahl und Dicke herstellen. Abhängig vom Blickwinkel des Betrachters ändert sich bei dieser Technik der Farbeindruck, dieser Effekt kann durch neue Techniken minimiert werden. Der Wirkungsgrad ist je nach Farbton um 12 bis 19 % geringer.

Das bisher größte mit diesen Modulen ausgestattete Gebäude in Europa ist die Internationale Schule in Kopenhagen. Die Fassade ist mit 6.000 m<sup>2</sup> bläulich schimmernden Modulen versehen. Sie sind auf unterschiedlich geneigten Metallkassetten montiert, wodurch die Module je nach Sonneneinstrahlung in unterschiedlichen Farbtönen erscheinen (Schoof, 2017: S. 50).



Abbildung 78: Internationale Schule in Kopenhagen

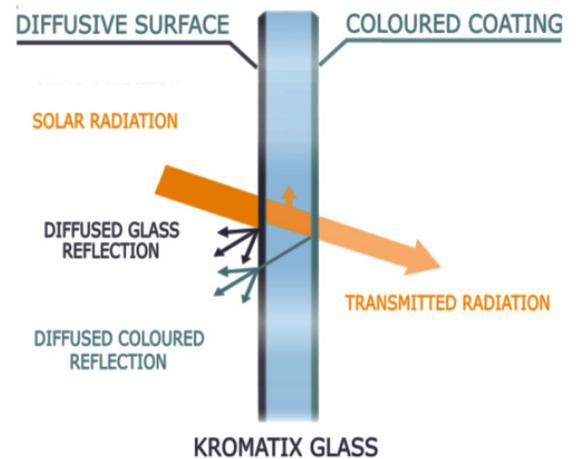


Abbildung 79: Funktionsweise spektral selektiv beschichtetes Glas

#### 4.7.4. BEDRUCKTE GLÄSER

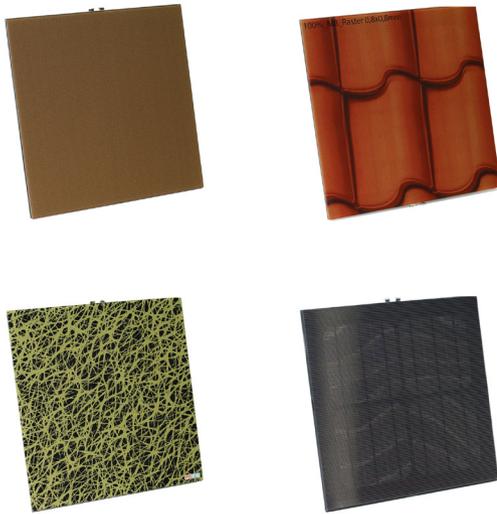


Abbildung 80: bedruckte PV-Module

Für die Gläser auf der Vorderseite der PV-Module wird meist Weiß- oder Solarglas verwendet, da diese so viel Strahlung wie möglich durchlassen sollen. Bedrucktes Frontglas bringt die Herausforderung mit sich, die Einstrahlung so wenig wie möglich zu beschränken. Meist muss ein Kompromiss zwischen homogener Oberfläche ohne sichtbarer Zellstruktur und Energieeffizienz eingegangen werden. Die Gestaltungsmöglichkeiten sind durch die Drucktechniken sehr groß. Mit einem Siebdruck können unterschiedliche Rasterungen wie Punkte, Streifen oder eine Zellmatrix realisiert werden. Bei diesem schon gut erprobten Verfahren wird meist die der Solarzelle zugewandte Innenseite des Frontglases bedruckt. Es entstehen Wirkungsgradverluste zwischen 15 und 50 % die von Farbton und Intensität abhängig sind. Einfarbige Siebdrucke sind die kostengünstigsten Varianten, mehrfarbige Drucke sind deutlich teurer.

Bei einem an der Hochschule Luzern entwickelten keramischen Digitaldruck wird die Farbe während des normalen Glashärtungsprozesses bei ca. 600 °C in das Glas gebrannt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die exakte Steuerung der Farbdicke und damit auch der Moduleffizienz. Professor Stephan Wittkopf von der Hochschule in Luzern spricht von einem Wirkungsgradverlust von maximal 20 % (Schoof, 2017: S. 51).

#### 4.7.5. GRÄTZEL-ZELLEN



Abbildung 81: Grätzel-Zellen

Neue Möglichkeiten bieten Grätzel-Zellen: Hier wird statt Silizium ein organischer Farbstoff (Chlorophyll) als Ausgangsmaterial verwendet, der die Energie durch Photosynthese gewinnt. Bei der Produktion der Zellen werden die Farbstoffsolarzellen auf ein Trägerglas aufgedruckt, wodurch eine große Gestaltungsfreiheit gegeben ist. Zurzeit sind Farben von Orange bis Grün möglich, blaue oder graue Module sind noch nicht herstellbar. Diese Technologie hat jedoch noch mit Schwächen wie einem geringen Wirkungsgrad, einer geringen Langzeitstabilität und hohen Kosten zu kämpfen. Langfristig könnte die Grätzel-Zelle sich aber zu einer kostengünstigen Alternative zur Siliziumtechnologie entwickeln (Krippner, 2016: S. 33f).

#### 4.7.6. GEORG-EMMERLING-HOF

Für die neue Fassade des Georg-Emmerling-Hofs werden spektral selektiv beschichtete Gläser verwendet. Diese Methode der farblichen Modulgestaltung wurde gewählt, da – wie in Kapitel 6.2. "Erscheinungsbild" beschrieben – die Farbtöne und die spiegelnde Oberfläche sehr gut in das Gestaltungskonzept passen und zum anderen die Einbußen des Wirkungsgrades verhältnismäßig gering sind.



# 5. FASSADEN- BEGRÜNUNG

Wie schon in Kapitel 3. "Kontext Klimawandel" erläutert, ist das Klima in Städten dadurch geprägt, dass Temperaturen tendenziell höher sind als im Umland. Windstärken und Verdunstung sind reduziert, Niederschlagsmengen und Luftverschmutzung sind höher. Inversionswetterlagen führen dazu, dass es im Winter in Tälern und Becken zur Sammlung von Luftschadstoffen kommt, was für Städte besonders problematisch ist. Im Sommer kommt es zur sommerlichen Überwärmung und warmen Tropennächten. Zudem entstehen durch einen hohen Versiegelungsgrad sogenannte Hitzeinseln. Um diesen Aspekten etwas entgegenzusetzen, kann unter anderem die Begrünung von Fassaden eingesetzt werden. Durch Begrünungsmaßnahmen werden Verdunstung und Verschattung erhöht und wirken so der Erhitzung entgegen. Auch die Luftqualität in der Umgebung wird verbessert (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 10)

Pflanzen verbessern die Luftqualität – Kohlenstoff wird gespeichert, Feinstaub verringert und O<sub>2</sub> produziert. Durch die Anreicherung mit Kohlenstoff und die Abgabe von Sauerstoff in der Photosynthese kommt es zur CO<sub>2</sub> Spaltung. Reinigung erfolgt auch durch die Adsorption, Filterung und Auswaschung von Feinstaub-Partikeln. Eine mengenmäßige Rechnung zeigte schon in den 1980er Jahren, dass etwa 4 % des Jahresstaubniederschlags auf den Blättern von Fassadenbegrünung gesammelt werden hätten können, wenn alle Fassaden des Berliner Innenstadtgebiet begrünt gewesen wären. Dies ist natürlich rein hypothetisch und stark von Pflanzenarten bzw. der Struktur ihrer Blattoberflächen abhängig (Köhler, 2012).

Der Regenwasserrückhalt der Bepflanzung verringert die Kanalbelastung, was insbesondere bei Starkregenereignissen von Relevanz ist. In der vorliegenden Arbeit soll außerdem Regenwasser zur Bewässerung der Fassadenbepflanzung genutzt werden. Die Fassaden von Gebäuden können durch Fassadenbegrünung entgegen weit verbreiteter Meinung auch geschützt werden. So werden Witterungsverhältnisse wie etwa Starkregen oder Wind sowie UV-Strahlung von der Fassade teilweise ferngehalten (ÖkoKauf Wien, 2013: S. 10).

Der Einsatz von Pflanzen wirkt außerdem raumbildend und erhöht die Aufenthaltsqualität im Umfeld. Auch dies kann auf die vorliegende Arbeit umgelegt werden: Der öffentliche Raum rund um den Schwedenplatz wird stark durch die Häuserfronten in erster Reihe sowie das starke Verkehrsaufkommen am Donaukanal beeinflusst. Hier trägt die gesamte Erneuerung der Fassade zur Attraktivierung der direkten Umgebung bei (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 11f). Die begrünte Fassade bildet die Schnittstelle zwischen Privatraum und öffentlichem Raum. Es kommt somit zu einer empfundenen Raumerweiterung (ÖkoKauf Wien, 2013: S. 9).

Hinzukommend und von großer Relevanz, wird ein Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt in der Stadt geleistet. Insbesondere Insekten und Vögel profitieren von der Begrünung, die diese als Rückzugsort nutzen. Ziel sollte es hier sein, im urbanen Raum Kleinlebensräume zu schaffen, die einen Inseleffekt für verschiedenen Arten haben (ÖkoKauf Wien, 2013: S. 9).

Die Grafiken in Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen, welche Auswirkungen verstärkte Begrünung in der Stadt hat. Fassadenbegrünung kann zur Dämmung einerseits beitragen, indem Wärmeverluste bei ungedämmten Bauten verringert werden, andererseits aber ebenso zur Kühlung neuer Bauten beitragen, indem Verschattung und Verdunstung – sog. adiabate Kühlung, Abgabe des aufgenommenen Wassers – entstehen. Je nach Bewuchsdicke und Dichte leistet Fassadenbegrünung eine erhöhte Beständigkeit erwünschter Klimaverhältnisse im Grenzbereich Außenwand/Außenluft. Durch die Kombination von Verdunstungskälte sowie Absorption und Reflektion der Sonneneinstrahlung kommt es im Sommer zu einer Verringerung der Wärmelasten und in weiterer Folge des Kühlbedarfs eines Gebäudes. Eine Messung von Pfoser ergab, dass bis zu 2-10 K Kühlung (Messung mit Bewuchsklimmern) durch Verschattung durch Fassadenbegrünung erreicht werden können. Dies kann in Kombination mit einem Belüftungssystem effizient eingesetzt werden. Im Winter kommt es zur Wärmepufferung im Wand-Luftpolster durch die Minderung des Windangriffs und erhöhte Trockenheit (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 11f; Pfoser, 2016: S. 74).

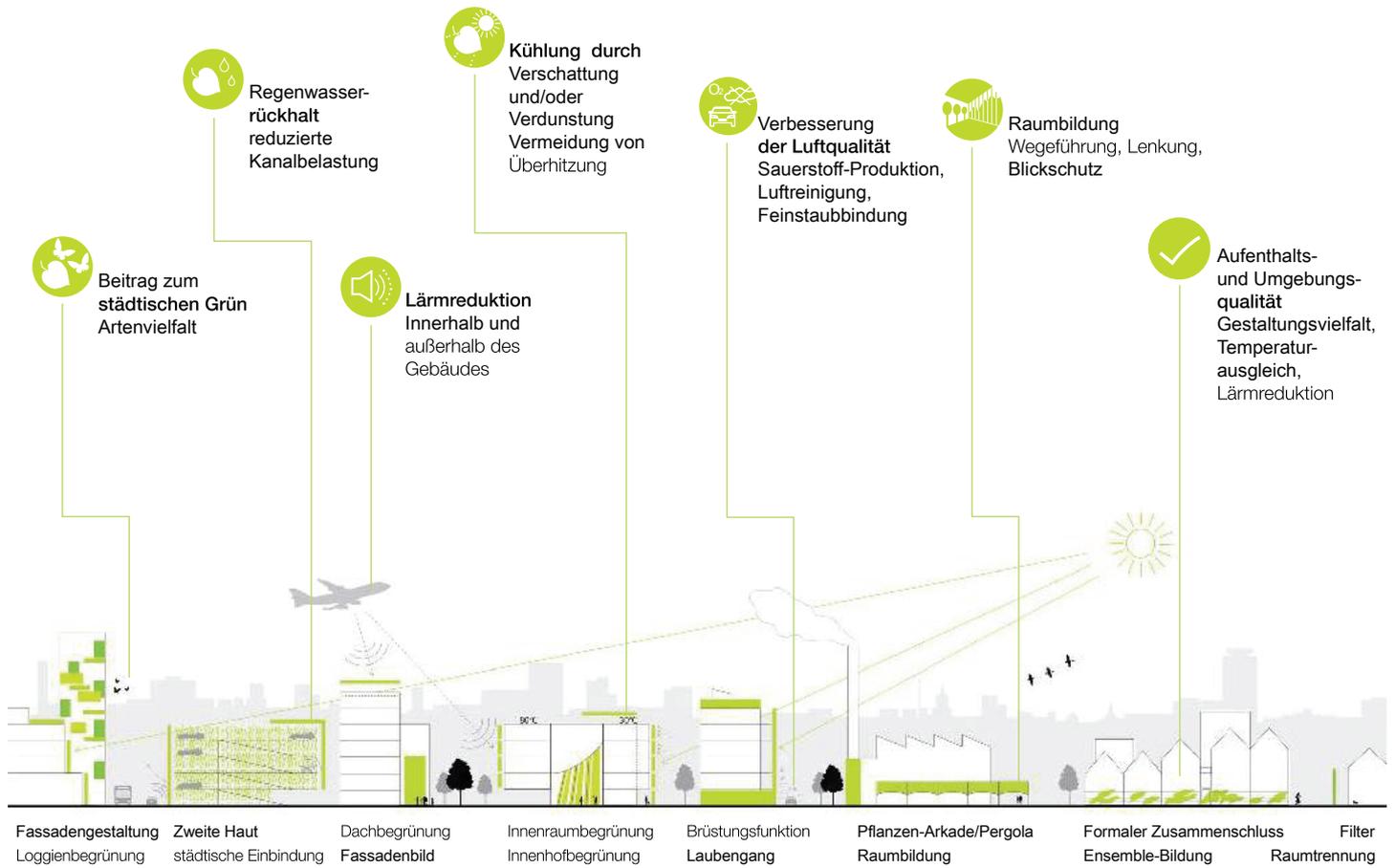


Abbildung 82: Umfeldverbesserung durch Begrünung

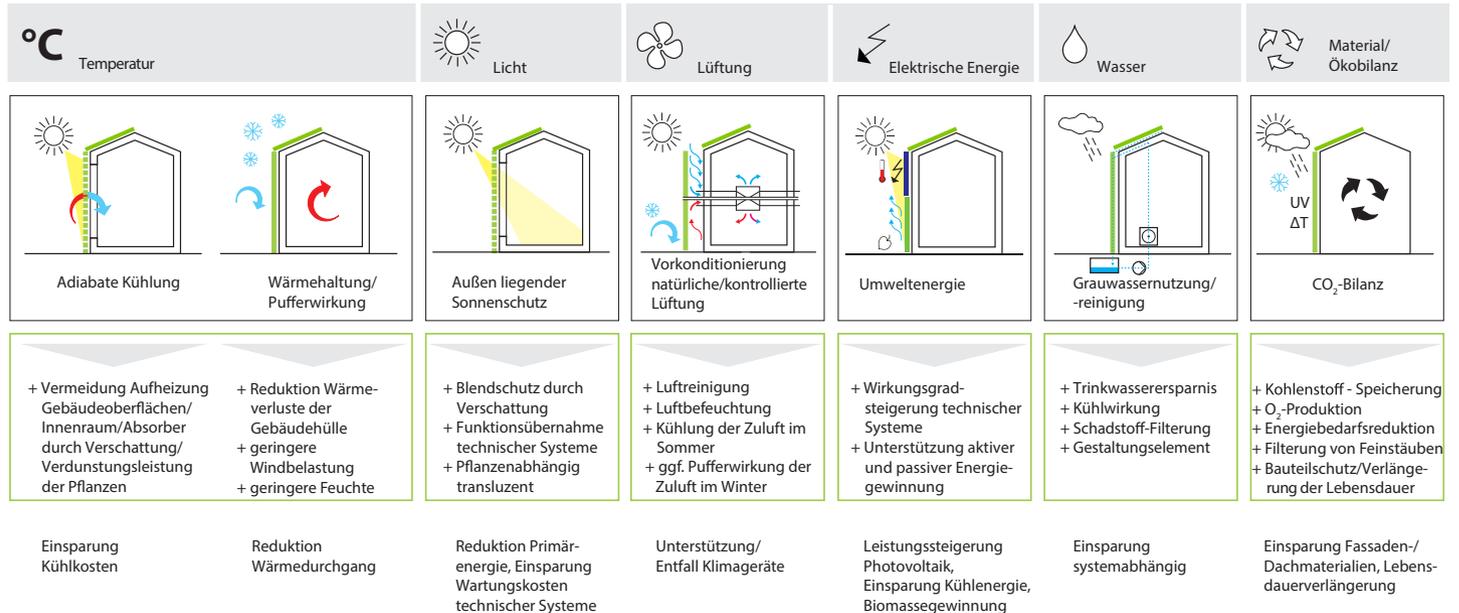


Abbildung 83: Gebäudeoptimierung durch Begrünung

## PHOTOVOLTAIK UND BEGRÜNUNG

Dass die Kombination von Photovoltaik-Modulen und Begrünung die Effizienz der Module steigern kann, wurde ebenso bereits in Versuchen gezeigt. So beobachteten Azra Korjenic und Maria Soledad Penaranda Moren über alle Jahreszeiten, wie sich vier Testflächen an einer Testfassade verhalten: Unter denselben Bedingungen wurde eine Testfläche ohne Ausstattung – also eine nackte Fassade, eine mit Photovoltaik-Modulen sowie zwei mit einer Kombination von Photovoltaik-Modulen und Begrünung ausgestattet. Letztere unterschieden sich durch die Anzahl der Photovoltaik-Module sowie deren Beschaffenheit, auch transparente Module wurden eingesetzt. Es zeigte sich, dass das Wachstum der Pflanzen hinter den Photovoltaik-Modulen keineswegs behindert wurde, sondern sich durch das Hintereinander der Module und der Begrünung eine Pufferschicht bildete, die dämmend wirkt. Über das gesamte Jahr wirkte sich das System besonders merklich aus, wenn Temperaturen abrupt schwankten. So konnte gezeigt werden, dass durch diese Dämmwirkung bis zu 30 °C geringere Temperaturen an der Fassade gemessen werden konnten, als bei jener Fassade ohne jeglichen Schutz. Im Schnitt verringerten sich die Maximaltemperaturen um 21,4 °C. Die Wirkung des Puffers zeigte sich auch in der Leistung der Photovoltaik-Module, insbesondere bei Extrembedingungen in Sommer und Winter. Denn auch im Winter bestand diese Dämmwirkung. So fiel beim Abfall der Außentemperatur unter 0 °C die Temperatur an der mit der Kombination geschützten Fassade im Schnitt rund 3 °C weniger ab als an jener ohne Schutz. Gleichzeitig wurde die Effizienz der Photovoltaik-Module auch im Winter durch den Kühlungseffekt der Pflanzen erhöht. Über das Jahr wurde die Temperatur der Module im Schnitt um 1-2 °C reduziert (Penaranda Moren, Korjenic, 2017a: 123ff / Penaranda Moren, Korjenic, 2017b: 364ff)

Die Ergebnisse dieser Forschung können durch die unterschiedlichen Systeme nicht direkt auf die vorliegende Arbeit umgesetzt werden. Durch das Fehlen der beschriebenen, starken Dämmwirkung, die durch das Hintereinander von Begrünung und der Photovoltaik-Module erreicht wurde, ist nicht von derartigen Temperaturverringerungen an der Fassade auszugehen. Dennoch wird davon ausgegangen, dass durch die adiabate Kühlung der Pflanzen die Effizienz der umliegenden Photovoltaik-Module gesteigert werden kann.



Abbildung 84: Testflächen mit vier verschiedenen Fassaden

## 5.1. KATEGORIEN DER FASSADENBEGRÜNUNG

Fassadenbegrünung kann in den zwei Hauptgruppen, die bodengebundene Begrünung und fassadengebundene Begrünung unterteilt werden. Ausschlaggebend ist dabei der Standort der Begrünung (Preiss, 2013: S.21).

### 5.1.1. BODENGEBUNDENE BEGRÜNUNG

Kletterpflanzen werden bereits seit Jahrhunderten für Fassadenbegrünungen eingesetzt und stellen eine dauerhafte, kostengünstige und meist pflegeextensive Lösung dar.

Sehr verbreitet ist Efeu (*Hedera helix*), unter anderen da er im Winter Laub trägt. Bei Kletterpflanzen mit mehrjährigem Gehölz ist zu beachten, dass durch ihr starkes Dickenwachstum über die Jahre ein erhöhtes Lastaufkommen entsteht. Die Glyzinie (*Celastrus orbiculatus*) kann z.B. Oberschenkel-dicke Triebe entwickeln, weshalb sie auch den Beinamen „Hauswürger“ trägt.

Die bodengebundene Begrünung wächst vom Boden aus, wodurch die Wuchshöhe durch die verwendeten Kletterpflanzen begrenzt ist. Die Arten unterscheidet sich sehr stark, das Geißblatt (*Lonicera*) erreicht beispielsweise nur eine Höhe bis zu sechs Metern, Jungfernreben (*Parthenocissus*) hingegen wachsen bis auf eine Höhe von 20 Meter und die Glyzinie (*Wisteria sinensis*) kann sogar eine Höhe von 30 Metern erreichen. Erreichen selbstkletternde Pflanzen eine gewisse Größe, muss darauf geachtet werden, dass sie sich nicht vom Untergrund der Fassade lösen. Die Triebe können jedoch durch eine Verankerung wieder an der Fassade anwachsen. Auch die Wuchsgeschwindigkeit unterscheidet sich von Art zu Art, viele Clematis-Arten wachsen nur einen halben Meter im Jahr, andere wiederum haben einen jährlichen Zuwuchs von bis zu 2 Meter.

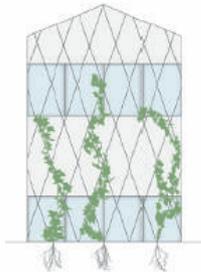
(Preiss, 2013: S.21f)

Bodengebundene Begrünung kann unterteilt werden in bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfen und ohne Kletterhilfen.

## MIT KLETTERHILFEN

Kletterpflanzen wie Winder oder Ranker benötigen eine Kletterhilfe. Dabei gibt es für jede Kletterform spezielle Rankhilfen, denn nicht jede Kletterpflanze kann jede Kletterhilfe nutzen. Diese Kletterhilfen können starr, flexibel, flächig oder linear sein. Für Pflanzen mit einem starken Dickenwachstum werden starre Konstruktionen aus Metall, Holz oder Kunststoff verwendet. Für Pflanzen mit geringem Dickenwachstum können flexible Kletterhilfen verwendet werden. Mit linearen Kletterhilfen wie z.B. Stahlseilen oder Stahlstäben werden lineare Begrünungen ermöglicht. Mit netzartigen Konstruktionen erreicht man eine flächige Begrünung (Preiss, 2013: S.23).

**Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen (entspr. Kletterstrategie)**



Schlinger, Ranker,  
Spreizklimmer, spallierbare Gehölze

• Kletterhilfe/Spalier erforderlich  
(Stäbe, Rohre, Seile, Gitter, Netze)

Abbildung 85: Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfen

## OHNE KLETTERHILFEN

Bei bodengebundener Begrünung ohne Kletterhilfen handelt es sich immer um selbstkletternde Pflanzen wie z.B. Efeu. Voraussetzung für eine „Direktbegrünung“ ist eine standfeste, rissfreie Fassadenoberfläche wie u.a. Beton, mineralische Putzflächen oder vollverfugtes Mauerwerk. Nicht geeignet sind Wände mit offenen Fugen, kunststoffvergütete Dispersionsfarben, außenliegende Wärmedämmschicht und Wandbereiche mit Lüftungsclappen oder Markisen. Um ein optimales Wachstum zu ermöglichen sind die Bodenbeschaffenheit und die Bewässerung der Vegetationsfläche zu prüfen (Dettmar/Pfoser/Sieber, 2016: S.20).

Bodengebundene Begrünung ohne Kletterhilfen können in den Gruppen der Wurzelkletterer und Haftscheibenranker unterteilt werden.

**Flächenförmiger Direktbewuchs der Fassade**



Selbstklimmer:  
Wurzelkletterer, Haftscheibenranker

• Ohne Kletterhilfe

Abbildung 86: Bodengebundene Begrünung ohne Kletterhilfen

### Wurzelkletterer

Wurzelkletterer wie z.B. Efeu können mittels Haftwurzeln an vertikalen Flächen hochwachsen. Sie bilden auf der lichtabgewandten Seite der Triebe kleine, unverzweigte, sprossbürtige Haftwurzeln aus, die direkt auf der Unterlage aufliegen. Über feine Wurzelhaare, die sich in feinste Poren und Unebenheiten der Unterlage einspreizen, verankert sich die Pflanze an der Fassade (Mahabadi/Arenz, 2000: S.21).

### Haftscheibenranker

Eine spezielle Form der Sprossranker sind die Haftscheibenranker. Ihre Rankspitzen scheiden bei der Berührung einer Oberfläche ein Haftsekret aus, zusätzlich bilden sich Haftscheiben, die sich zapfenförmig in feinste Unebenheiten der Oberfläche verankern. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist Wilder Wein (Mahabadi/Arenz, 2000: S.21).

## 5.1.2. FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG

Wo bodengebundene Systeme mangels Bodenanschluss nicht möglich sind, kann die wandgebundene Begrünung zum Einsatz kommen. Diese ist in Realisierung und Pflege meist teurer als die bodengebundene Begrünung, gestalterisch bietet sie aber neue Möglichkeiten was sie zum vielbeachteten Anziehungspunkt macht.

Bei dieser Begrünungsart wachsen die Pflanzen direkt an der Fassade und haben keinen Bodenanschluss. Die Begrünung kann mit vollflächigem oder mit teilflächigem Vegetationsträger erfolgen.

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 39ff)

### TEILFLÄCHIGE VEGETATIONSTRÄGER

Als teilflächige Vegetationsträger werden meist Tröge oder Kästen verwendet. Diese können linear oder punktuell auf der Fassade positioniert werden. Der Abstand der Begrünungselemente ist von der Pflanzenart abhängig. Bei einem Abstand unter 50 cm kann mit krautigen Pflanzen eine vollflächige Begrünung erreicht werden. Bei Hecken oder Kletterpflanzen kann ein größerer Abstand gewählt werden (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 22).

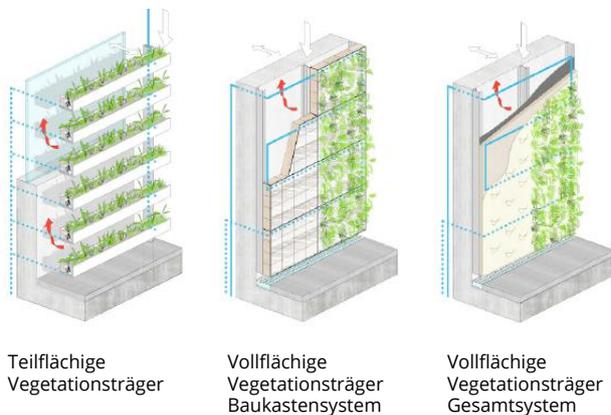


Abbildung 87: Arten der Fassadengebundenen Begrünung



Abbildung 88: Beispiel Baukastensystem

## VOLLFLÄCHIGER VEGETATIONSTRÄGER

Im Falle von vollflächigem Vegetationsträgern befindet sich ein durchgehender Substratkörper, an jedem Punkt der begrünten Fassade. Die Begrünung kann aus einem Gesamtsystem bestehen oder aus einem Baukastensystem aus Modulen die an einem Gerüst montiert werden (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 22f).

### Gesamtsystem

Bei dem Gesamtsystem wird die Wand vollflächig mit einer verrottungsfreien Trägerplatte an der Sekundärkonstruktion befestigt. In Filztaschen oder Schlitzen mit Substrateinlage werden anschließend flachwurzeln Pflanzen gepflanzt (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 22f).

### Baukastensystem

Beim Baukastensystem haben die vorgefertigten Module meist eine Abmessung von ca. 60 - 100 cm (Quadrate, Rechtecke), damit das Versetzen auf die Unterkonstruktion noch von Hand möglich ist. Zwischen den Modulen und der Gebäudewand müssen eine Hinterlüftung oder eine Feuchteabdichtung vorhanden sein. Die Versorgungs- und Ablaufleitungen verlaufen in der Unterkonstruktion oder innerhalb der Module. Die Bepflanzung der Fassadenelemente muss nicht erst Vorort passieren, sie können auch vorkultiviert, also komplett begrünt, eingebaut werden, wodurch eine sofortige flächendeckende Begrünung möglich ist (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 21).



Abbildung 89: Baukastensystem, Module



Abbildung 90: Baukastensystem, Bepflanzung

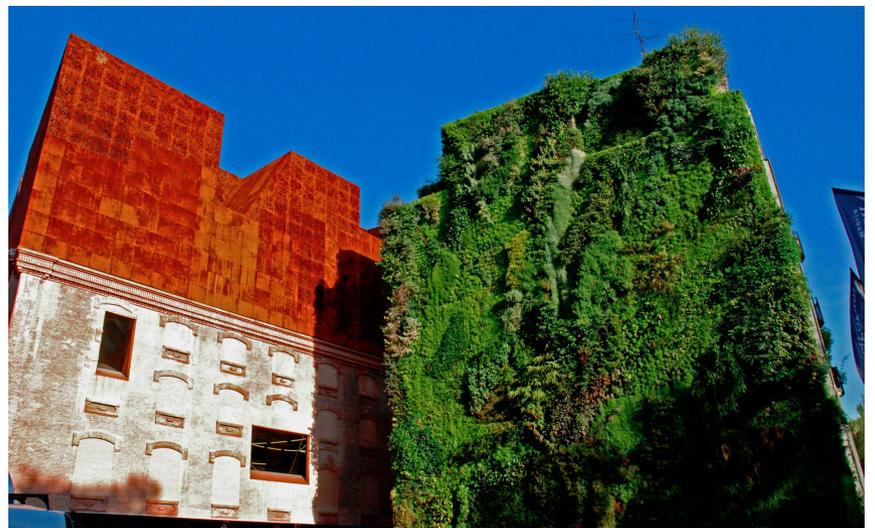


Abbildung 91: Beispiel vollflächiger Vegetationsträger, Gesamtsystem

## PFLANZEN FASSADENGEBUNDENER BEGRÜNUNG

Fassaden sind für Pflanzen immer ein Extremstandort. Für eine erfolgreiche Begrünung ist die Wahl der richtigen Pflanzen und die Berücksichtigung von deren Ansprüche entscheidend. Nord- und Südlagen stellen dabei Extremstandorte dar, an den Ost und West Fassaden sind gemäßigtere Verhältnisse zu finden. So verlangen südseitig exponierte Lagen oft mehr als die doppelte Gießwassermenge als eine westseitig exponierte Begrünung.

Eine Hürde, die gerade in österreichischen Breiten im Winter häufig auftritt, ist die Frosttrocknis. Bei frostigen Temperaturen benötigt die Pflanze kaum Wasser, die Pflanze befindet sich in Winterruhe. Durch Temperaturschwankungen z.B. durch Tag/Nacht beendet die Pflanze ihre Winterruhe und beginnt mit der Transpiration. Ohne die nötigen Wasserreserven trocknet sie jedoch schnell aus., weshalb auch im Winter für eine bedarfsgegebene Bewässerung gesorgt werden muss.

Des Weiteren ist die Windexponiertheit zu beachten, welche bei den Pflanzen zur Austrocknung führen kann. Betroffen sind dabei besonders Begrünungen in hohen Lagen sowie an den Rändern und Kanten der Fassade.

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 18)

Folgende Kriterien sind bei der Wahl der richtigen Pflanzen zu berücksichtigen:

- Licht
- Temperatur
- Wind
- Wasserbedarf
- Wurzelraum
- Wuchsverhalten
- Konkurrenzverhalten der Pflanzen
- Pflegebedarf
- Verändertes Aussehen über die Jahreszeiten

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 21)

Folgende Pflanzenarten werden in der Regel für Fassadengebundene Begrünungen verwendet:

### Gräser

Die Standortansprüche der Gräser variieren stark. Sie sind sehr anpassungsfähig und kommen sowohl an nassen als auch in extrem trockenen Standorten vor. Die xeromorphen Arten sind durch ihre hohe Trockenheitsverträglichkeit sehr gut für fassadengebundene Begrünungen geeignet. Gräser können zeitweise trockene Pflanzenteile aufweisen, was zwar natürlich, jedoch oft eine nicht erwünschte Erscheinung ist.



Abbildung 92: Beispiel Gräser: Blaugras



Abbildung 93: Beispiel Kräuter: Katzenminze



Abbildung 94: Beispiel Sukkulente: Sedum Hybridum

### **Stauden und Kräuter**

Auffällig ist bei diesen Arten, dass sie viele bunte Blütenstände ausbilden. Stauden und Kräuter können sehr unterschiedliche Wuchsformen haben. Von flächendeckend bis hin zu aufrechter kugelförmiger Ausprägung. Es gibt hier auch Arten mit einer hohen Trockenresistenz. Zudem sind sie sehr resistent gegen Krankheitserreger, haben eine ausreichende Winterhärte und flächendeckendes Laub. Für eine fassadengebundene Begrünung eignen sich mehrjährige Wildstauden, wobei es dazu noch keine wissenschaftlichen Studien gibt.

### **Sukkulente**

Sukkulente sind xeromorphe Pflanzen, die sich im Laufe ihrer Entwicklung an regelmäßige bis vollständige Knappheit von flüssigem Wasser angepasst haben. Sie besitzen einen großen Wasserspeicher in den verdickten Sprossen und Blättern und sind durch ihre Blattoberfläche gegen Verdunstung und starke Sonneneinstrahlung geschützt. Auch gegen windige Standorte sind sie sehr resistent. Diese Eigenschaften macht sie sehr konkurrenzstark gegenüber Gräsern und Kräutern. Die Wasser und Nährstoffversorgung dieser Pflanzen sollte bewusst gering gehalten werden, um einen mastigen Wuchs der durch Frosteinwirkungen zum Absterben der Pflanzen führen kann, zu verhindern. Die meist verwendeten Arten sind Sedum-, Sempervivum-, und Jovibarbaarten. Sedumarten können durch ihr starkes Wachstum schnell große Flächen überdecken. Außerdem weisen die Sukkulente Pflanzen eine gute Frosthärte und einen geringen Anspruch an den Lufthaushalt des Bodens auf. Teilweise haben sie einen besonderen Anspruch an den pH-Wert des Substrates.

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 28ff)

## **5.1.3. GEORG-EMMERLING-HOF**

In der vorliegenden Arbeit werden die Fassaden an der Oberen Donaustraße mit einem fassadengebundenen Begrünungssystem in Form von Vegetationsträgern im Baukastensystem in Kombination mit PV-Modulen verwendet. Dieses System wurde gewählt, da es viele Gestaltungsmöglichkeiten bietet. Zudem ist eine bodengebundene Begrünung auf diesen Fassaden schwer umsetzbar, da kein ausreichender Bodenanschluss vorhanden ist. Für die Fassaden im Hof stellt die bodengebundene Begrünung mit Kletterpflanzen hingegen eine einfache Möglichkeit dar, den Hof zu begrünen. Die genaue Ausführung wird im Kapitel 6.4. "Fassadenbegrünung" beschrieben.

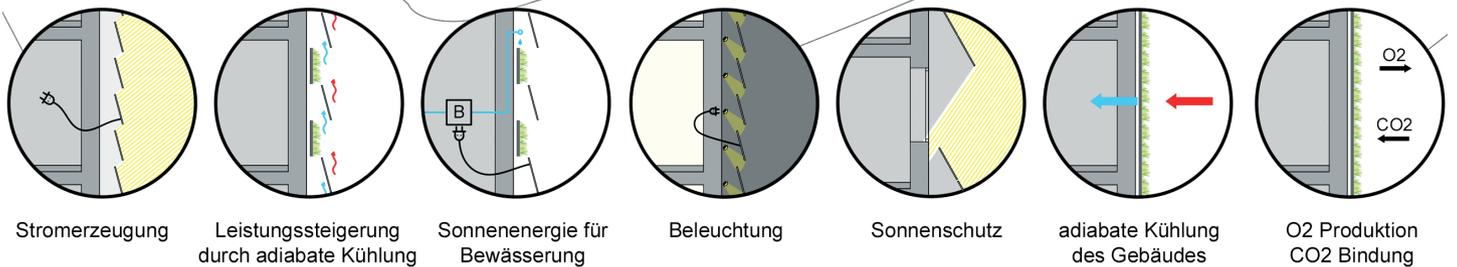
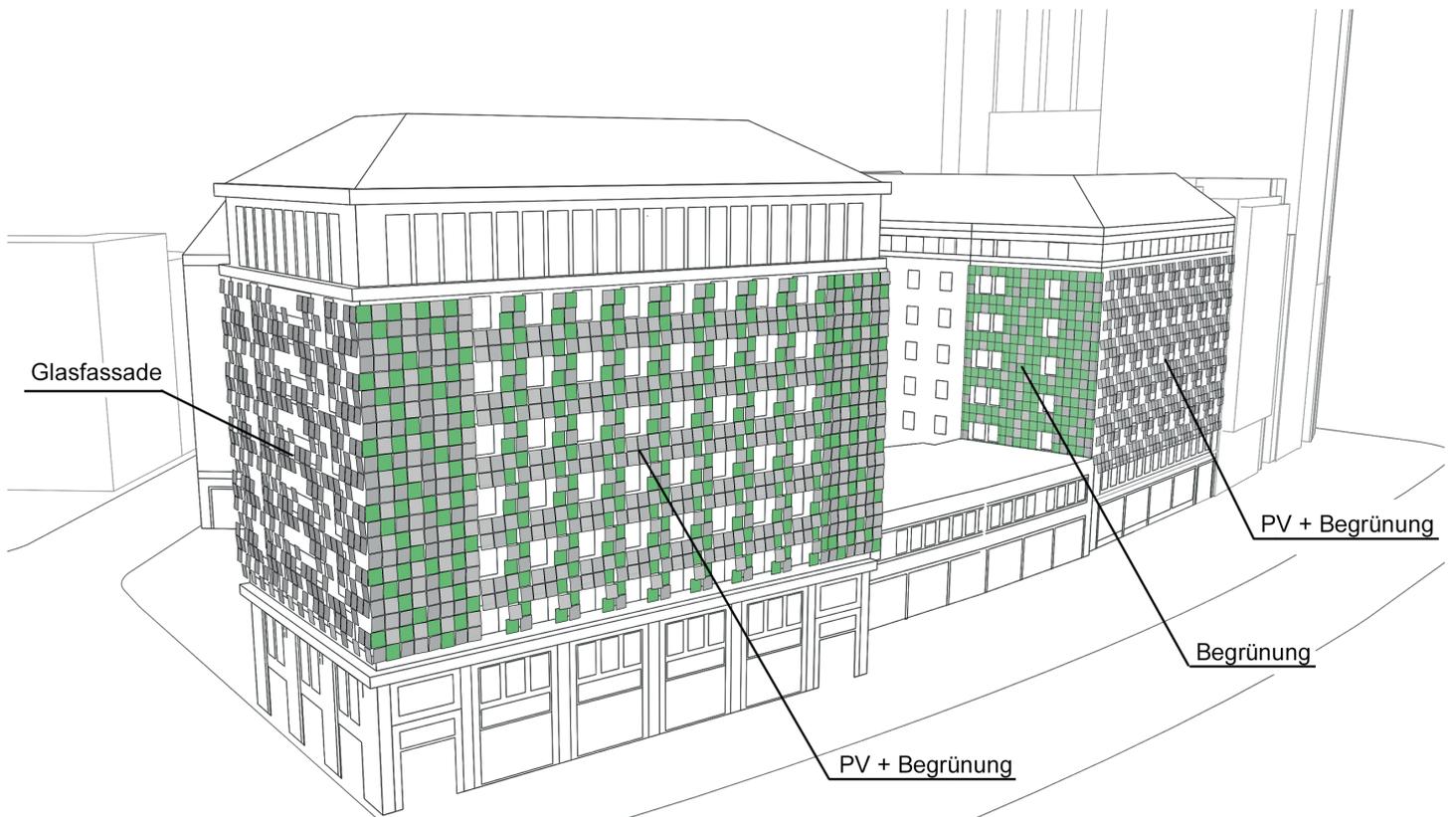


Abbildung 95: Konzept Funktionen

# 6. ENTWURF

Mit dem Entwurf soll unter dem Einsatz von Photovoltaik-Modulen und Begrünung die Fassade des Georg-Emmerling-Hofs neu gestaltet werden. Der Fokus, liegt dabei im Kontext anhaltender Klimaveränderungen auf nachhaltiger Energieerzeugung. Aufbauend auf die Bestandsanalyse wurde eine Fassadenlösung entwickelt, die für das Gebäude und ihre Umgebung einen Mehrwert erbringen soll.

## 6.1. FUNKTIONEN

Die neue Fassade soll den Georg-Emmerling-Hof nicht nur durch ein neues, zeitgemäßes Erscheinungsbild aufwerten, sondern erfüllt mehrere Funktionen. Die Begrünung und die Photovoltaik bilden sozusagen eine Symbiose: Die Photovoltaik-Anlage versorgt die Bewässerungsanlage mit Energie während die Effizienz der PV-Module durch die adiabate Kühlung der Pflanzen erhöht. Die Pflanzen besitzen neben der kühlenden Wirkung die Eigenschaft der Feinstaub- und CO<sub>2</sub>-Bindung, was in weiterer Folge dem Stadtklima dient.

Der Strom aus der Sonnenenergie kann neben der Nutzung für die Bewässerung auch für den Haushaltsstrom oder für weitere Funktionen direkt an der Fassade genutzt werden. Außerdem sind die PV-Elemente so platziert, dass sie die Fenster im Sommer verschatten und somit die sommerliche Überwärmung reduzieren. Die Oberfläche der Module ist heller als die Oberfläche herkömmlicher kristalliner Module, wodurch auch die Albedo höher ist und die Erwärmung des Gebäudes und der direkten Umgebung reduziert wird. Ein weiterer wichtiger Aspekt der neuen Fassade ist die Wärmedämmung, durch die der Energiebedarf und die Emissionen des Gebäudes reduziert werden.

## BEZUG ZU UMGEBUNG UND 50ER-JAHRE



Abbildung 96: Fassade Raiffeisen Hochhaus



Abbildung 97: Fassade PS1



Abbildung 98: Fassade IBM

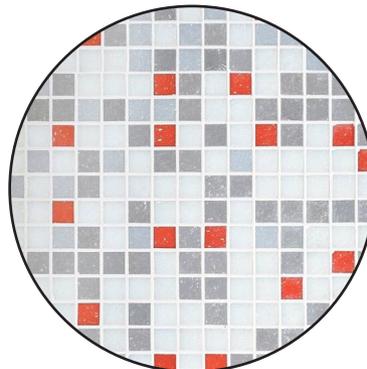


Abbildung 99: Fassadenmuster 50er



Abbildung 100: 50er Interieur im "Motto am Fluss" vis-avis des Georg-Emmerling Hofes

## 6.2. ERSCHEINUNGSBILD

Das Hauptaugenmerk im Entwurf liegt auf den zum Donaukanal orientierten Fassaden an der Oberen Donaustraße. Diese sind zum einen durch ihre Ausrichtung sehr gut für eine Photovoltaikfassade geeignet, zum anderen sind sie durch ihre Lage gegenüber dem sehr belebten Schwedenplatz außerordentlich präsent und bieten dadurch die Möglichkeit, auch den öffentlichen Raum der Umgebung aufzuwerten. Diese Fassaden erhalten in ihrer neuen Gestaltung eine Kombination aus PV und Begrünung. Die auch sehr präsenten West- und Ostfassaden der Stiege 1 sind wie die Bestandsanalyse gezeigt hat für Photovoltaik nicht geeignet und erhalten deshalb eine Glasfassade aus PV-Dummys, die sich mit ihrer glatten, spiegelnden Oberfläche an der von Glasfassaden geprägten Umgebung orientieren. Die zum Hof hin gerichteten Fassade der Stiege 7 werden mit Fassadenbegrünung bepflanzt.

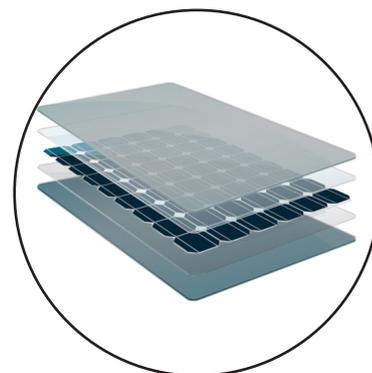
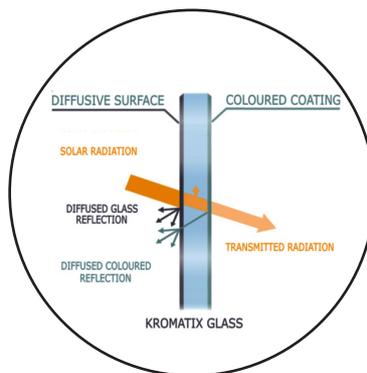
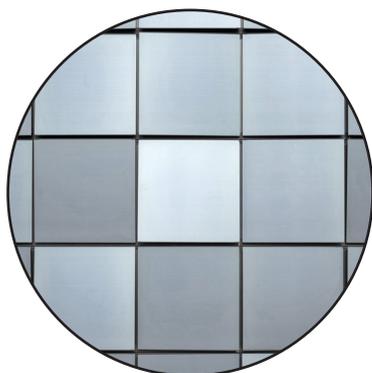
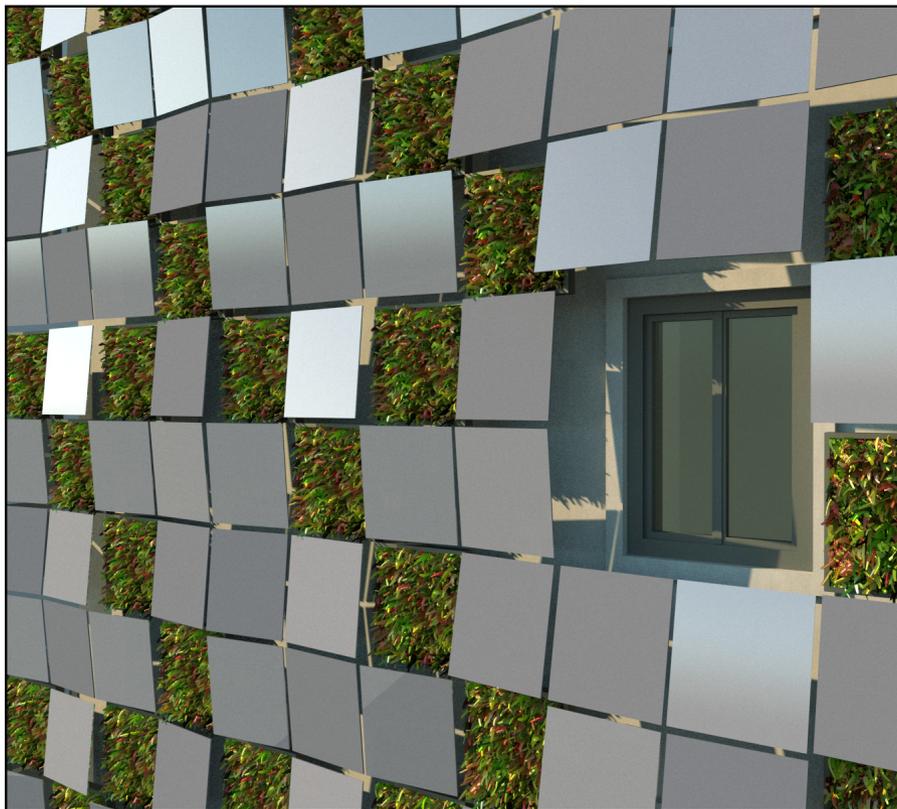
Die entworfene Fassade soll aufzeigen, dass PV-Module durch die neuen Gestaltungsmöglichkeiten neben ihrer Funktion als Energieproduzent auch als Designelemente genutzt und für das Gebäude sogar eine visuelle Aufwertung bilden können. Die Module müssen nicht mehr auf den Dächern versteckt werden, auch die Fassaden können zur Stromerzeugung genutzt werden.

Der Georg-Emmerling-Hof fügt sich mit seinem derzeitigen Erscheinungsbild – einer braunen Putzfassade – wenig vorteilhaft in die Umgebung ein, die durch ein Ensemble aus Glasfassaden geprägt wird. Die Erneuerung der Fassade berücksichtigt diese Entwicklungen und passt sich visuell an die umliegenden Fronten an. Dabei sollen die Charakteristika des 50er-Jahre-Baus erhalten bleiben und stilprägende Elemente wie Sockelzone und Gesimse berücksichtigt werden.

Die Nachbarschaft des Gebäudes wurde im Kapitel 2.2. „Fasadengestaltung am Donaukanal“ beschrieben:

Auf der Donaukanalseite des Georg-Emmerling-Hofs dominieren Glasfassaden aus Stahl und Betonkonstruktionen. Hier befinden sich zum einen das IBM-Zentrum, das im Jahr 2001 eine neue, der alten Fassade vorgesetzte, transparente Glasfassade erhielt. Daran anschließend befindet sich das 2013 erbaute Raiffeisen Hochhaus mit einer gebogenen, stark verspiegelten Glasfassade, die durch ihre spitz zulaufende Form die Höhe des Gebäudes betont. Flussabwärts stehen der Media Tower, dessen Fassade sich zum Donaukanal hin an der Fassadenteilung des IBM-Zentrums orientiert sowie das PS1 von Jean Nouvel, dessen Fassade in den oberen Stockwerken eine klare Rasterung aus grauen Vertäfelungen und Vollverglasungen aufweist. In den unteren Stockwerken des PS1 besitzen die Fassade und das Dach verschiedene Muster in mehreren Grautönen.

# MATERIALITÄT DER NEUEN FASSADE



Die neue Fassade des Georg-Emmerling-Hofs soll mit spiegelnden Glasoberflächen auf die benachbarte Bebauung reagieren. Wie in Kapitel 4.7. „Gestaltungsmöglichkeiten“ bereits gezeigt wurde, gibt es mittlerweile eine große Bandbreite an Gestaltungsmöglichkeiten für PV-Module. Für den Fassadenentwurf des Georg-Emmerling-Hofs werden rahmenlose Module mit spektral selektiv beschichteten Gläsern in grau verwendet. Es wurde diese Methode der farblichen Modulgestaltung gewählt, da die Farbtöne und die spiegelnde Oberfläche sehr gut in das Gestaltungskonzept passen, und zum anderen die Einbußen des Wirkungsgrades verhältnismäßig gering sind. Durch die hellere Oberfläche erwärmen sich die Module auch weniger stark, was auch dem Gebäude und der direkten Umgebung zugutekommt.

Diese Gläser nutzen das Prinzip der Interferenz und lassen ihren Farbton je nach Blickwinkel des Betrachters anders erscheinen. Um diesen Effekt zu nutzen, werden die PV-Flächen verschieden stark geneigt, wodurch der Eindruck einer Glasfassade in unterschiedlichen Grauabstufungen entsteht.

Während die PV-Module je nach Blickwinkel in unterschiedlichen Grauabstufungen erscheinen, ändert die Fassadenbegrünung ihr Aussehen je nach Jahreszeit. Die Farbe des Laubes der Sedum-Arten, die sich gut für die harten Bedingungen an der hohen Südfassade eignen, ändert sich im Jahresverlauf von grün bis rot-braun und in den Sommermonaten wachsen weiße und blassrote Blüten. Durch die quadratischen PV-Elemente in verschiedenen Grautönen und die begrünten Flächen entsteht ein Muster, das an die typischen Fliesenmuster der 50er Jahre erinnert.





## 6.3. PHOTOVOLTAIK

Wie die Bestandsanalyse gezeigt hat, haben in erster Linie die Süd-Fassaden an der Oberen Donaustraße des Georg-Emmerling-Hofs eine gute Voraussetzung für eine PV Fassade. Sie sind nach Südsüdwesten orientiert, werden nicht verschattet und spannen eine große Fläche auf. Genutzt wird in diesem Entwurf die Fassadenfläche oberhalb der Sockelzone des 3. bis 8. Geschosses, da die Sockelzone mit ihren vielen Reliefs erhalten bleiben soll.

Die Südfassade auf Stiege 1 ist  $210^\circ$  südsüdwestlich ausgerichtet, die Fassade auf Stiege 7  $200^\circ$  südsüdwestlich.

Der Sonnenhöchststand am 21. Juni wird für die Lage des Georg-Emmerling-Hofs um 12:56 Uhr erreicht und beträgt  $65,23^\circ$  bei einem Azimut von  $182,05^\circ$ . Am 21. Dezember erreicht die Sonne um 11:52 Uhr ihre höchste Position bei  $18,40^\circ$ , der Horizontalwinkel beträgt  $179,88^\circ$  (sonnenverlauf.de, 2018).

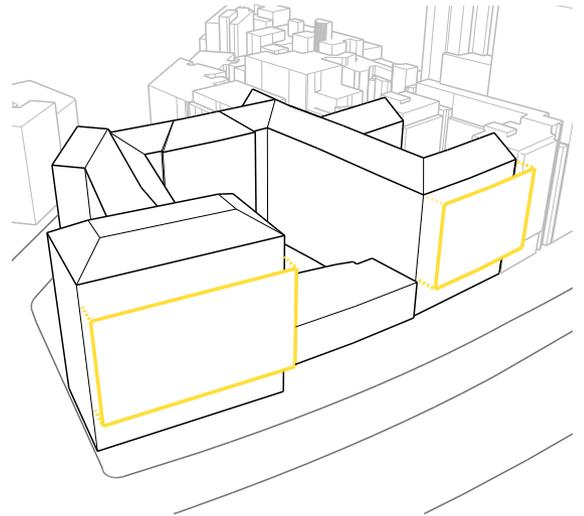


Abbildung 102: Position PV-Fassaden

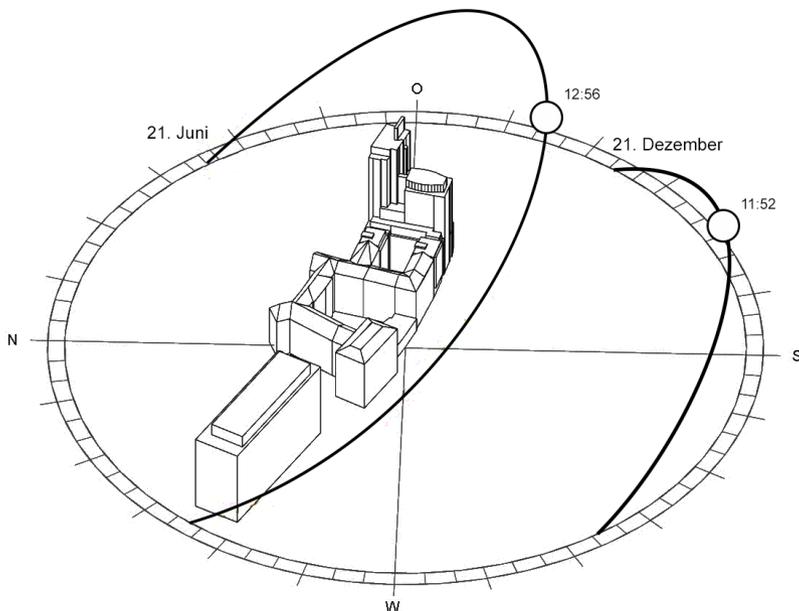


Abbildung 103: Sonnenhöchststand

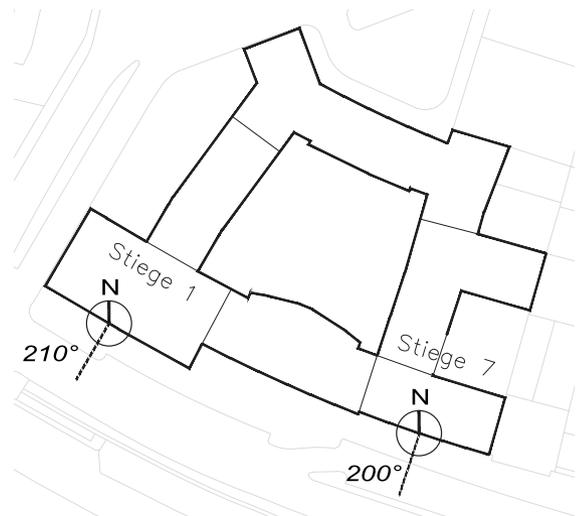


Abbildung 104: Ausrichtung der Südfassaden

## EXPOSITION UND NEIGUNGSWINKEL

Wie schon im Kapitel 4.2. „Funktionsweise Photovoltaik“ beschrieben wurde, hängt der Ertrag vor allem von der Exposition, dem Neigungswinkel und der Verschattung der Module ab (Krippner, 2016: S. 26). Um die Auswirkungen unterschiedlicher horizontaler (Orientierung) und vertikaler Neigungswinkel auf die Sonneneinstrahlung zu ermitteln, wurde die auftretende Globalstrahlung auf einem 1 m<sup>2</sup> großen Quadrat in der Mitte der Südfassade der Stiege 1 berechnet. Die Berechnungen wurden mit dem Programm Insight 2017 gemacht

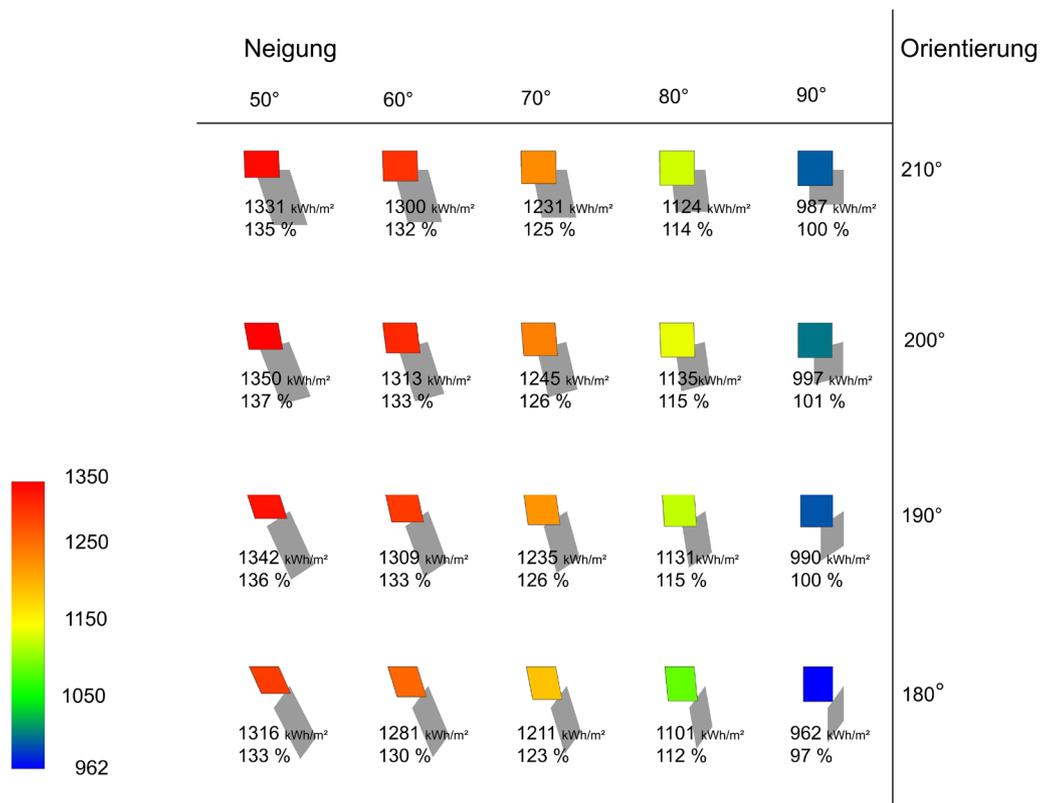


Abbildung 105: Versuch Exposition und Neigung

Mit einer Parallelausrichtung zu der Fassade, also einer Neigung von 90° und einer Orientierung von 210°, beträgt die Globalstrahlung auf der Fläche 987 kWh/m<sup>2</sup>. Neigt man die Fläche weiter Richtung Himmel, erhöht sich die auftretende Globalstrahlung merklich, wobei bei den ersten 10° mit einer Zunahme von 14 % der größte Unterschied festzustellen ist. Von 60° auf 50° erhöht sich die Globalstrahlung nur mehr um wenige Prozent, sie erreicht hier einen Wert von 1331 kWh/m<sup>2</sup>, was 135 % des Ergebnisses der 90° geneigten Fläche bedeutet.

Die Änderung der Orientierung der Module bringt hingegen nur eine kleine Verbesserung: Der höchste Wert wird bei einer Neigung von  $50^\circ$  und einer Orientierung von  $200^\circ$  erreicht. Eine Orientierung von  $180^\circ$  (genau nach Süden gerichtet) verringert das Ergebnis sogar etwas.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass schon eine leichte Neigung der PV Flächen auf der Fassade zu deutlich verbesserten Ergebnissen führen kann, eine leichte Abweichung der Orientierung von genauen Südausrichtung hingegen kaum das Ergebnis beeinflusst.

Bei geneigten Modulen auf der Fassade ist jedoch zu beachten, dass sie andere Module nicht verschatten, da wie bereits beschrieben schon durch die Verschattung einer einzelnen Zelle mit sehr hohen Ertragseinbußen zu rechnen ist.

### 6.3.1. ENTWURF PHOTOVOLTAIK-FASSADE

Für den vorliegenden Entwurf werden PV Module mit einer Abmessung von 68 x 71 cm verwendet. Die Größe ergibt sich zum einem aus den vorhandenen Abmessungen der Lochfassade und zum anderen aus der Größe und Anordnung der Solarzellen.

Die Anordnung und Ausrichtung der Module erfolgt in sich wiederholenden Mustern. Unterschieden wird dabei der Bereich zwischen den Fenstern und der Bereich ohne Fenster (am Rand der Fassaden).

Dabei müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden: Über den Fenstern sollen die Module möglichst weit auskragen, um die Fenster bzw. Innenräume zu verschatten, gleichzeitig sollen die Module einander gegenseitig so wenig wie möglich verschatten. Außerdem werden sie in unterschiedliche Richtungen geneigt, um durch den Effekt der speziell beschichteten Gläser verschiedene Farbtöne für Betrachter zu erzeugen. Natürlich sollen die Module auch so ausgerichtet sein, dass diese in der Energiegewinnung möglichst ertragreich sind. Zudem soll die Anordnung der begrünten Flächen berücksichtigt werden. Wobei auch zu beachten ist, dass die Fassadenbegrünung die Photovoltaik-Module nicht verschattet.

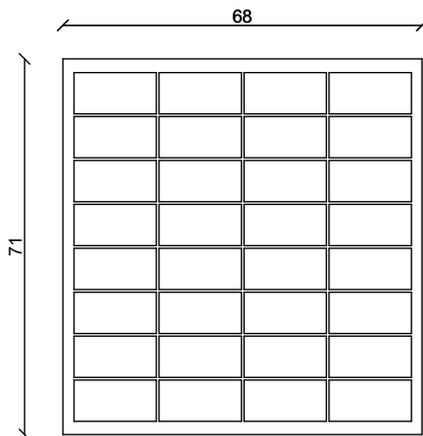


Abbildung 106: PV-Modul mit 32 Zellen

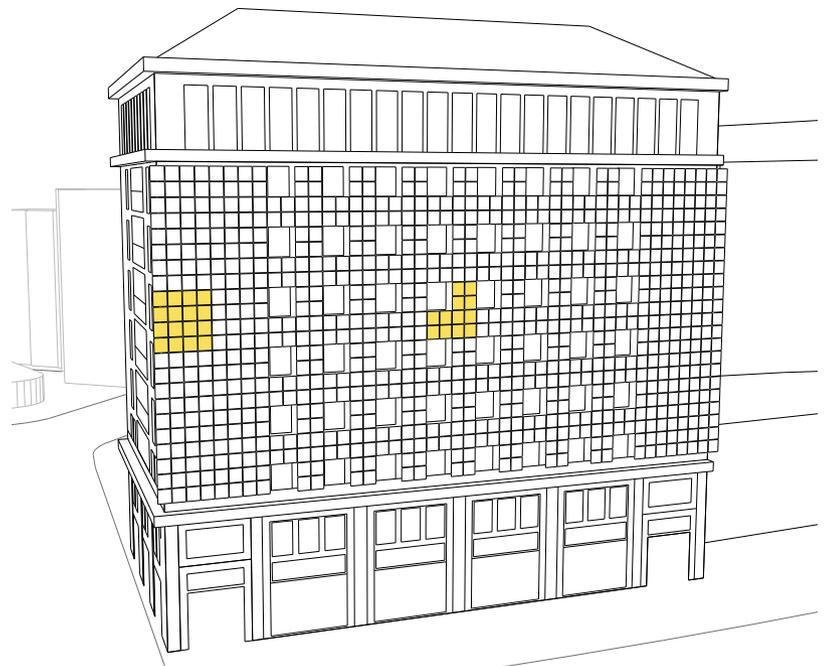
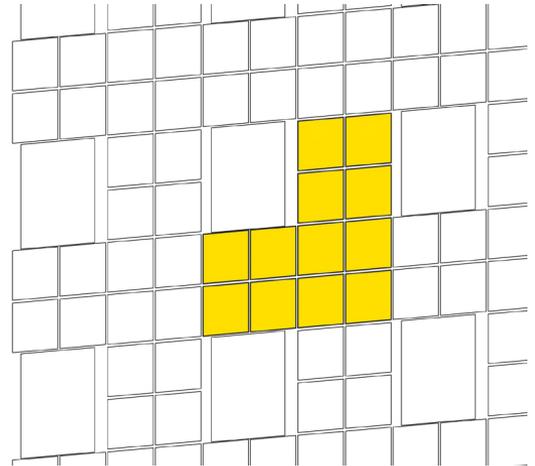
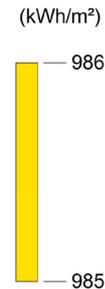


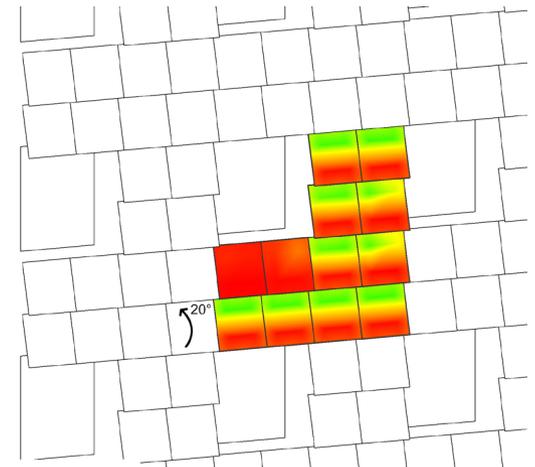
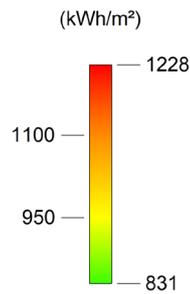
Abbildung 107: Sich wiederholende Muster zwischen den Fenstern und an den Randbereichen

## AUSRICHTUNG UND ANORDNUNG DER MOLDULE

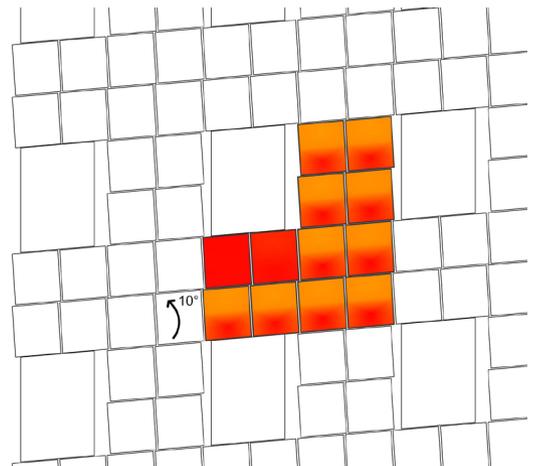
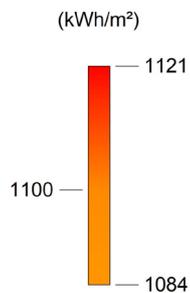
Anschließend ist der Entwurfsvorgang für den Bereich zwischen den Fenstern zu sehen. Farblich dargestellt ist die auftretende Globalstrahlung auf die jeweiligen Flächen. Als Ausgangslage am ersten Bild sind die Module wie bei den meisten PV-Fassaden parallel zur Fassade ausgerichtet.

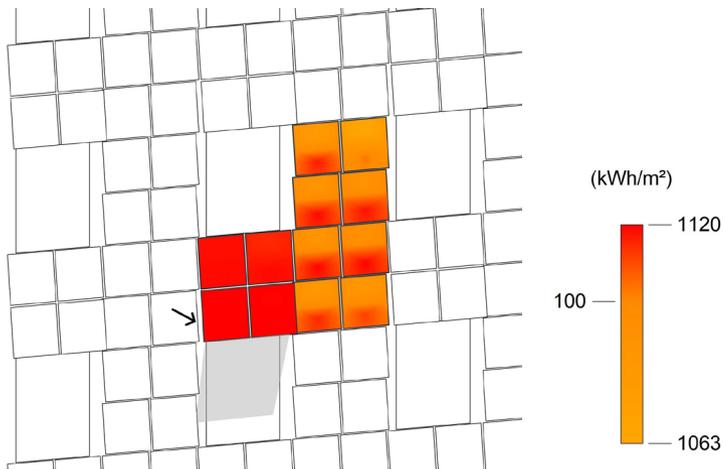


Werden alle Module um 20° nach oben geneigt, erhöht sich die durchschnittliche Globalstrahlung von 985 kWh/m<sup>2</sup> auf 1112 kWh/m<sup>2</sup>. Durch die geneigten Flächen entstehen jedoch auch starke Verschattungen.

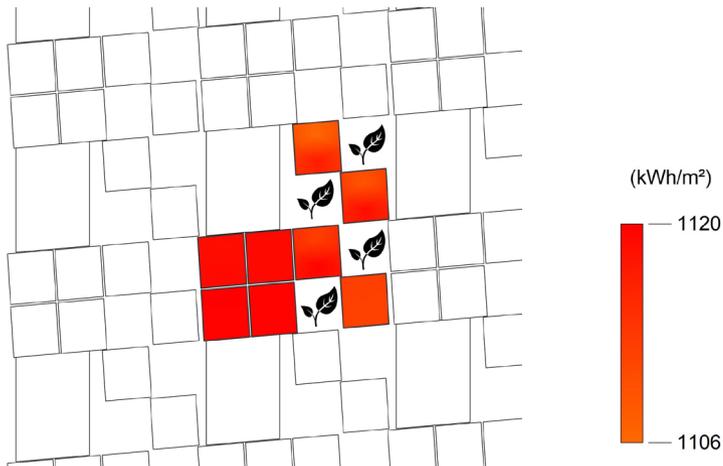


Werden die Module um 10° von der Fassade weg geneigt, ist die Verschattung deutlich geringer. Die durchschnittliche Globalstrahlung verringert sich nur geringfügig von auf 1105 kWh/m<sup>2</sup>.

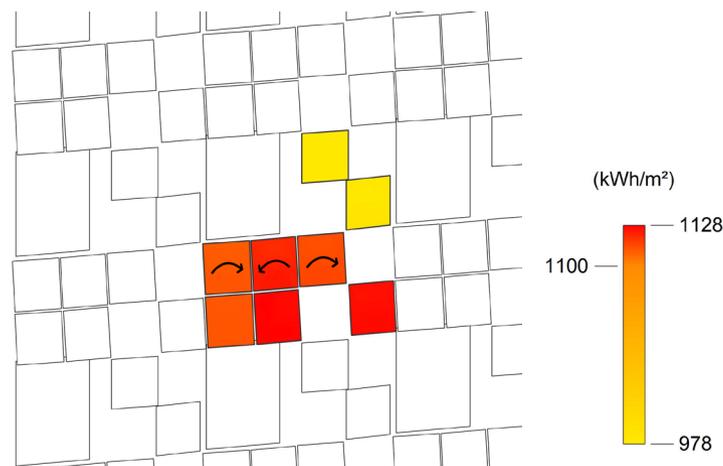




Um die Fenster stärker zu verschatten, werden die Module über den Fenstern weiter nach vorne gerückt. Die durchschnittliche Globalstrahlung ändert sich dadurch kaum.



Die Anordnung der Fassadenbegrünung wird so ausgewählt, dass die Verschattung weiter minimiert wird und die Begrünung die Möglichkeit hat, die Module zu kühlen. Die durchschnittliche Globalstrahlung beträgt 1116 kWh/m<sup>2</sup>.



Mit einer Verschattungsanalyse wurden die Module hinsichtlich einer möglichst geringen Teilverschattung optimiert, sowie die Exposition und die Neigung so verändert, dass die Modulgläser für Betrachter in unterschiedlichen Farbtönen erscheinen. Die durchschnittliche globale Einstrahlung ist nach der Anpassung mit 1089 kWh/m<sup>2</sup> zwar geringer, allerdings ist mit weniger Verlusten durch Teilabschattungen zu rechnen.

## 6.3.2. ANALYSE DER TEILVERSCHATTUNGEN

Um die Teilverschattung der Module genauer beurteilen zu können, wird die Verschattung an zwei Tagen im Jahr simuliert: zur Sommersonnenwende und zur Wintersonnenwende.

In den Abbildungen 110 bis 113 auf den folgenden Seiten ist die Analyse der Teilverschattungen zu sehen. Analysiert wird wieder ein Ausschnitt aus dem sich wiederholenden Muster im Bereich zwischen den Fenstern. Die meisten Teilverschattungen entstehen zur Sommersonnenwende, da die Sonne hier am höchsten steht. Die flache Sonne im Winter verursacht kaum Verschattungen.

In der Ausgangslage sind zur Sommersonnenwende auf der Aufnahme um 11:56 vier Module teilweise verschattet und auf den Aufnahmen zwischen 15:56 und 18:56 drei Module. Wie in Abbildung 111 zu sehen ist, konnten durch Optimierung der Exposition und Neigung die Teilverschattungen soweit reduziert werden, dass nur mehr ein Modul verschattet wird. Dieses Modul sollte über eine Bypassdiode verfügen um die Module im selben Strang nicht zu beeinträchtigen.

In der Analyse zur Wintersonnenwende ist zu sehen, dass auch nach der Optimierung alle Module unverschattet sind.

Die Module über den Fenstern besitzen noch eine Neigung von  $10^\circ$  und die Module neben den Fenstern stehen annähernd parallel zur Wand. Damit Leistungsverluste vermieden werden, werden die Module mit unterschiedlichen Neigungen nicht mit den gleichen Strängen verbunden. Die Exposition ändert sich nur jeweils zwischen  $3^\circ$  und  $5^\circ$ , wodurch sich der Ertrag kaum verschlechtert.

## FASSADEN STIEGE 1 UND STIEGE 7

Im Randbereich der Fassade der Stiege 1 ändert sich die Anordnung der Module. Durch das Fehlen von Fenstern, befinden sich an den Randbereichen in Relation mehr PV-Module auf derselben Fläche. Die Folge ist, dass die Module einander stärker verschatten. Um dem entgegenzuwirken, werden diese Module kaum geneigt. Die Exposition und die Neigung variieren lediglich um bis zu 5°, um auch hier mit den spektral selektiv beschichteten Gläsern unterschiedliche Farbtöne erzeugen zu können. Natürlich wurde auch hier anhand einer Verschattungsanalyse auf möglichst geringe Teilverschattungen geachtet. Die durchschnittliche jährliche Globalstrahlung liegt bei 968 kWh/m<sup>2</sup>.

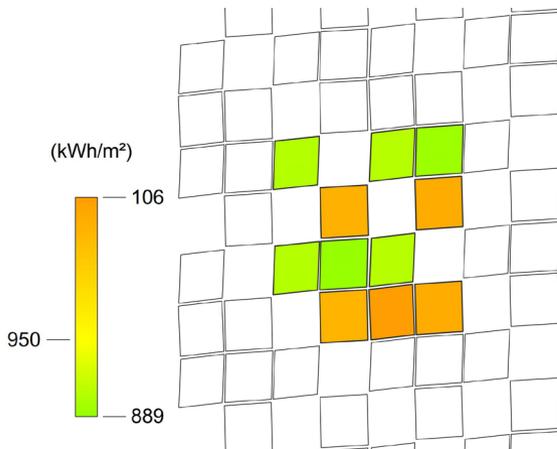


Abbildung 108: Jahreseinstrahlung Randbereich

Auf der Südfassade der Stiege 1 befinden sich 550 Module, die zusammen eine Fläche von 264 m<sup>2</sup> ausmachen. Die gesamte globale Einstrahlung über ein Jahr beträgt 273.813 kWh, im Durchschnitt beträgt sie 1035 kWh/m<sup>2</sup>.

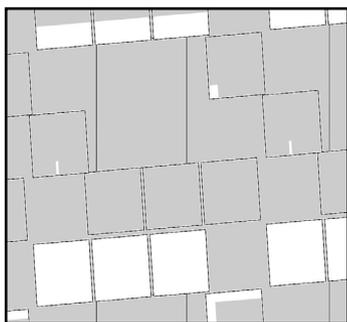
Auf der Photovoltaikfassade der Stiege 7 sind die Module ähnlich angeordnet. Auch hier wurde mit derselben Vorgehensweise versucht, eine optimale Ausrichtung der Module zu erzielen. Insgesamt befinden sich auf Stiege 1 und Stiege 7 1037 PV-Module, die zusammen eine Fläche von 498 m<sup>2</sup> bilden. Im Durchschnitt beträgt die jährliche globale Einstrahlung 1058 kWh/m<sup>2</sup>, die gesamte jährliche Einstrahlung beträgt 526.987 kWh.



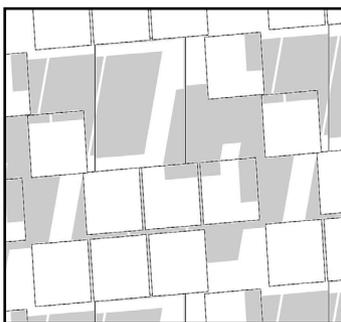
Abbildung 109: Jahreseinstrahlung auf den Fassaden der Stiege 1 und Stiege 7

# SOMMERSONNENWENDE AUSGANGSLAGE

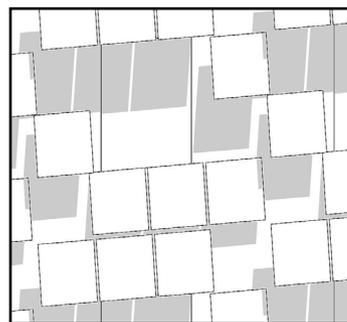
10:56



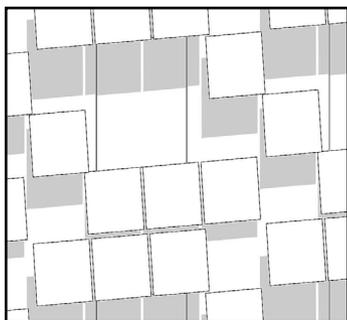
11:56



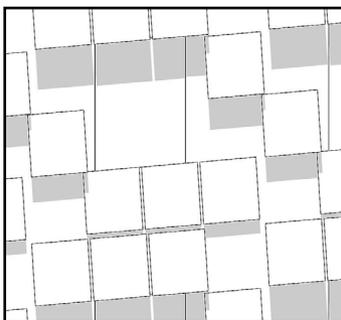
12:56



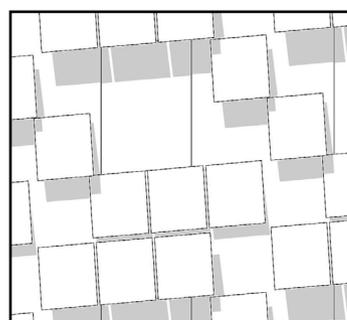
13:56



14:56



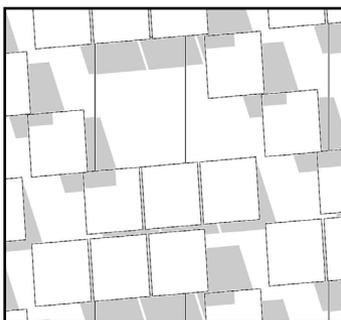
15:56



16:56



17:56



18:56

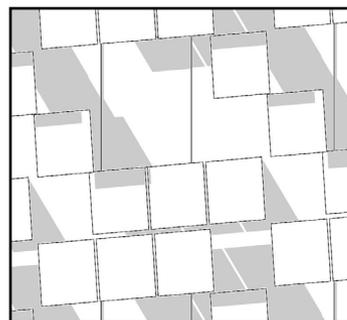
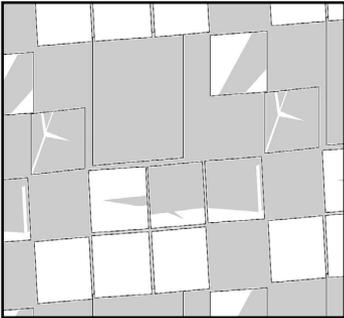


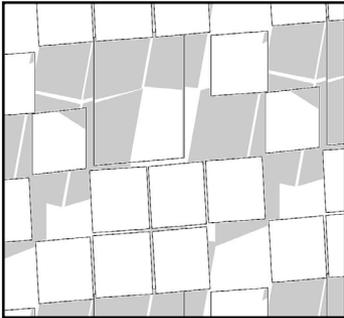
Abbildung 110: Analyse Teilverschattungen Sommersonnenwende, Ausgangslage

# SOMMERSONNENWENDE OPTIMIERT

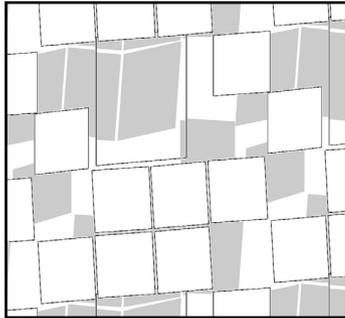
10:56



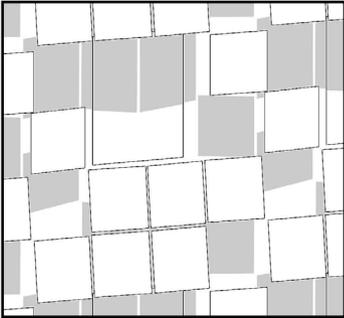
11:56



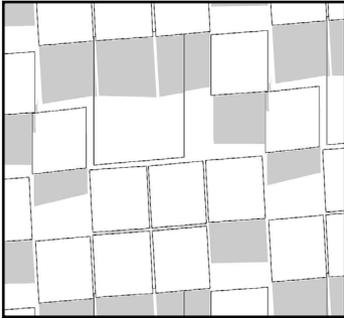
12:56



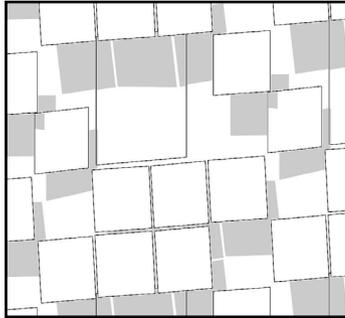
13:56



14:56



15:56



16:56



17:56



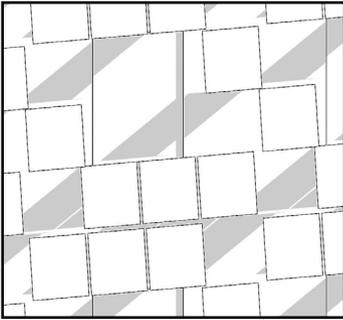
18:56



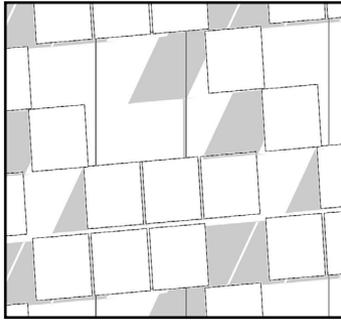
Abbildung 111: Analyse Teilverschattungen Sommersonnenwende, optimiert

# WINTERSONNENWENDE AUSGANGSLAGE

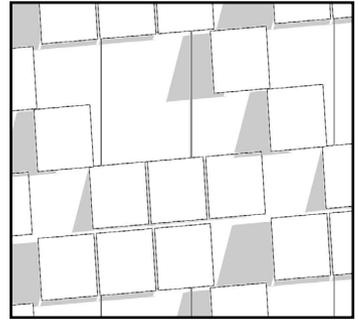
08:45



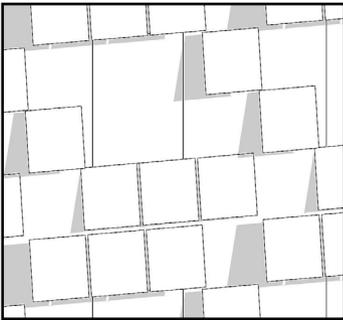
09:45



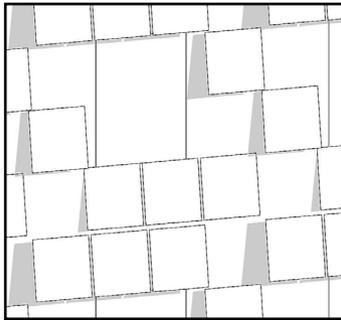
10:45



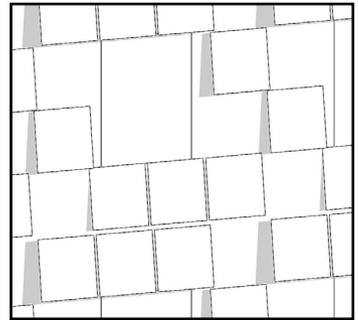
11:45



12:45



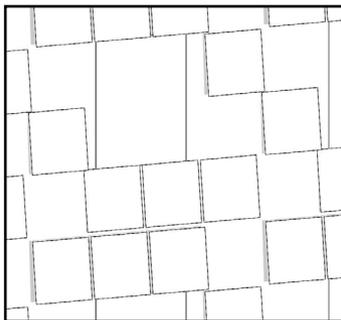
13:45



14:45



15:45



16:45

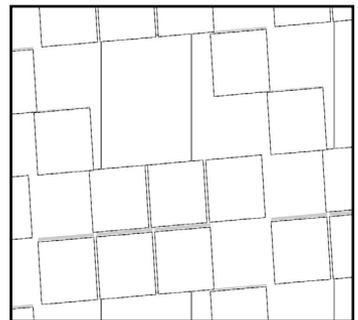
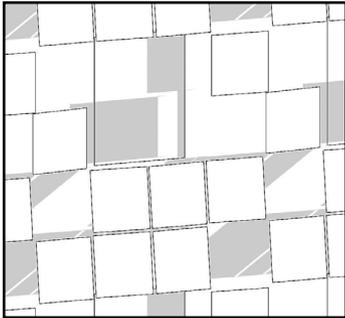


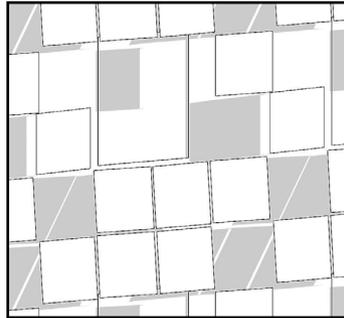
Abbildung 112: Analyse Teilverschattungen Wintersonnenwende, Ausgangslage

## WINTERSONNENWENDE OPTIMIERT

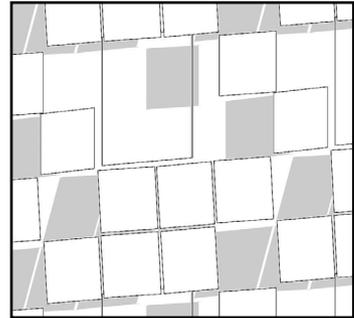
08:45



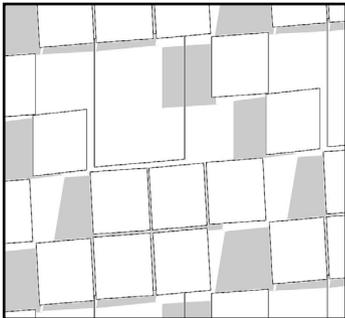
09:45



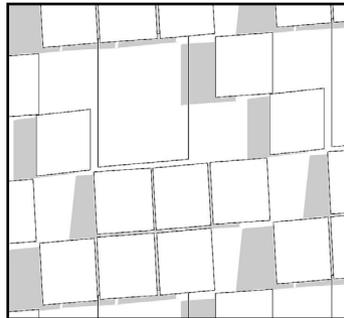
10:45



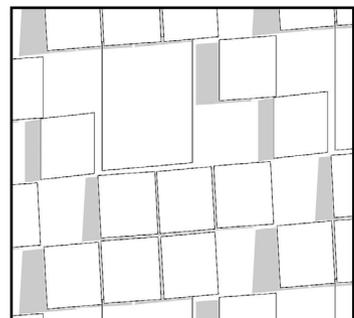
11:45



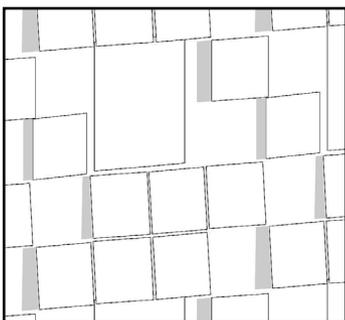
12:45



13:45



14:45



15:45



16:45

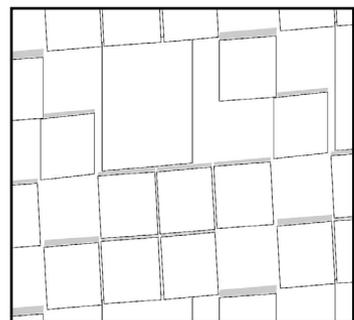


Abbildung 113: Analyse Teilverschattungen Winter Sonnenwende, optimiert

### 6.3.3. ENERGIEERTRAG DER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Das spektral selektiv beschichtete Glas reflektiert nur einen kleinen Spektralbereich des sichtbaren Lichts, wodurch eine Farbe erzeugt wird. Der Rest des Lichtspektrums wird in das Modul übertragen und in Energie umgewandelt. Je nach Farbe ist dadurch mit unterschiedlichen Leistungsverlusten zu rechnen (Schoof, 2017: S. 50).

Aufgrund des hohen Wirkungsgrades werden Module mit monokristallinen Zellen verwendet. Die 32 Zellen je 78 x 156 mm mit spektral selektiv beschichtetem Frontglas in grau, besitzen laut Herstellerinformation (SwissInso) eine Leistung von etwa 70 Wp.

Dies würde einem Modulwirkungsgrad von 14,6 % entsprechen, was etwa 90 % des Wirkungsgrads eines monokristallinen Moduls ohne spektral selektiv beschichtetes Frontglas entsprechen würde, das ca. einen Wirkungsgrad von 16 % aufweist.

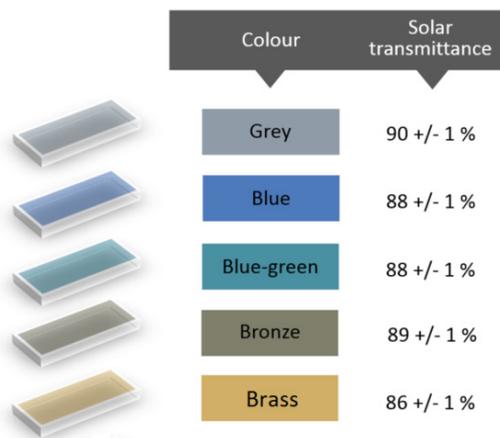


Abbildung 114: Durchlassgrad verschiedener Glasfarben

Bei einer Leistung eines Moduls von 70 Wp beträgt die Maximalleistung bei 1037 Modulen 72,59 kWp.

Daraus lässt sich der ideale Ertrag (theoretischen Gleichstromertrag) der gesamten Solaranlage wie folgt berechnen:

$$P_{\text{STC}} \times I_{\text{Jahr}} / I_{\text{STC}} = I E_{\text{th}}$$

$$72,59 \text{ kW} \times 1.058 \text{ kWh/m}^2 / 1 \text{ kW/m}^2 = 76.800 \text{ kWh pro Jahr}$$

$P_{\text{STC}}$  ... Anlagen-Nennleistung unter Standard-Testbedingungen

$I_{\text{Jahr}}$  ... Jahreseinstrahlung Generatorfläche

$I_{\text{STC}}$  ... Standard-Testbedingungen-Einstrahlung 1 kW/m<sup>2</sup>

$I E_{\text{th}}$  ... theoretischer Gleichstromertrag

Bei einer durchschnittlichen Einstrahlung von 1058 kWh/m<sup>2</sup> würde der theoretische Gleichstromertrag bei 76.800 kWh liegen.

Durch die Generator- und Systemverluste einer Solarstromanlage ist der tatsächliche Ertrag immer etwas geringer. Die Performance Ratio (PR) beschreibt das Verhältnis zwischen theoretisch möglichem Gleichstrom-Ertrag und dem tatsächlich gemessenen Wechselstromertrag, und ist somit ein wichtiges Maß für die Effizienz einer Photovoltaik-Anlage. Die Größe beschreibt die Temperatur- und Schwachlichtverluste der Module, die Wechselrichterverluste, die Mindererträge durch Verschattung, Verschmutzung oder schlecht aufeinander abgestimmte Anlagenkomponenten. Dieser Wert kann auch zur Überwachung der Anlage herangezogen werden, eine ungewöhnlich hohe Abweichung ist meist ein Zeichen einer Störung der PV- Anlage (Hagemann, 2002: S. 31f).

Bei einer PR von 75-85 % kann von einer guten Effizienz gesprochen werden, sehr gute Anlagen erreichen auch Werte bis 90 %.

Gehen wir von einer Effizienz von 80 % aus, würde das folgenden möglichen Ertrag implizieren:

Berechnung:

idealer Ertrag x Performance Ratio = möglicher Ertrag

$$E_{\text{th}} \times \text{PR} = E_{\text{pr}}$$

$$76.800 \text{ kWh} \times 0,80 = 61.440 \text{ kWh}$$

Anlagenleistung	72,59 kWp
Globalstrahlung	1058 kWh/m <sup>2</sup>
idealer Ertrag	76.800 kWh
möglicher Ertrag (PR 0,8)	61.440 kWh

### 6.3.4. SYSTEMKONZEPT DER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Die PV-Anlage soll an das öffentliche Stromnetz angeschlossen werden, wobei der Eigenverbrauch möglichst hoch sein soll, um die Belastung des Stromnetzes gering zu halten. Bei Photovoltaik handelt es sich um eine fluktuierende Stromquelle: Zur Mittagszeit wird am meisten Strom produziert und in der Nacht gar keiner. Das deckt sich jedoch nicht mit dem Bedarf, so ist etwa am Wochenende der Verbrauch zur Mittagszeit gering und am Abend wiederum hoch (Krippner, 2016: S. 29). Die Fassadenbeleuchtung beispielsweise wird erst aktiviert, wenn die Sonne untergegangen ist, sie kann den überschüssigen Strom der PV-Anlage nur indirekt nutzen indem sie den zuvor eingespeisten, überschüssigen Strom aus der PV-Anlage wieder vom Netz bezieht. Die Bewässerungsautomatik für die Fassadenbegrünung hat hingegen am Tag den höchsten Strombedarf. Die Gemeinschaftsflächen des Hauses, wie der Lift oder die Beleuchtung des Stiegenhauses, können zu einem gewissen Teil von der PV-Anlage gedeckt werden.

Wie im Kapitel 4.3. "Systemtypen" beschrieben, ist durch die Novellierung des EIWOG die gemeinschaftliche Nutzung von PV-Anlagen möglich. Dadurch können auch die einzelnen Privathaushalte den Solarstrom nutzen. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass durch die Koppelung von Haushalten und Geschäftslokalen mit unterschiedlichen Verbrauchsprofilen – sogenannte Eigenlast Cluster – der Strom aus PV-Anlagen möglichst effizient genutzt werden kann (Leber, Xypolytou, Prügler u.a., 2016: S. 61).

Durch die Größe und den Nutzungsmix im Georg-Emmerling-Hof mit 208 Wohnungen, Büros und Geschäftslokalen wird mit einem stetig hohen Eigenverbrauch gerechnet. Wie im Kapitel 6.6 "Energieeffizienz" gezeigt wird, beträgt die erzeugte Energie ca. 19 % des Haushaltstrombedarfes. Aus diesem Grund kann mit einem hohen Eigenbedarf gerechnet werden. Dadurch ist ein Stromspeicher, der mit hohen Investitionen und einem etwas geringeren Wirkungsgrad des Gesamtsystems verbunden wäre, nicht angedacht. Auch das öffentliche Stromnetz wird durch den hohen Eigenverbrauch nicht stark belastet.

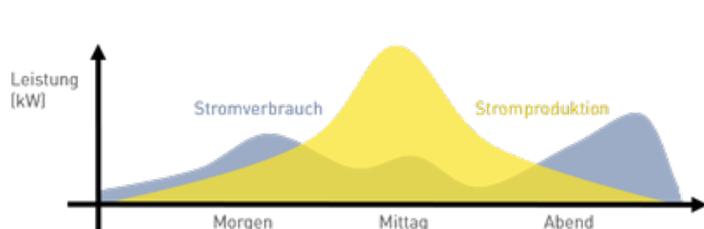


Abbildung 115: exemplarischer Verlauf des Stromverbrauches und der Solarstromproduktion eines Einfamilienhauses

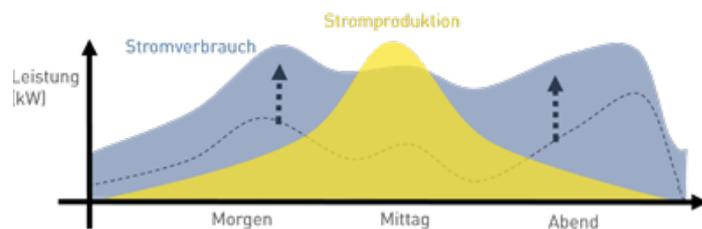


Abbildung 116: durch den Anschluss mehrerer Haushalte an eine PV-Anlage kann der Eigenverbrauch deutlich verbessert werden

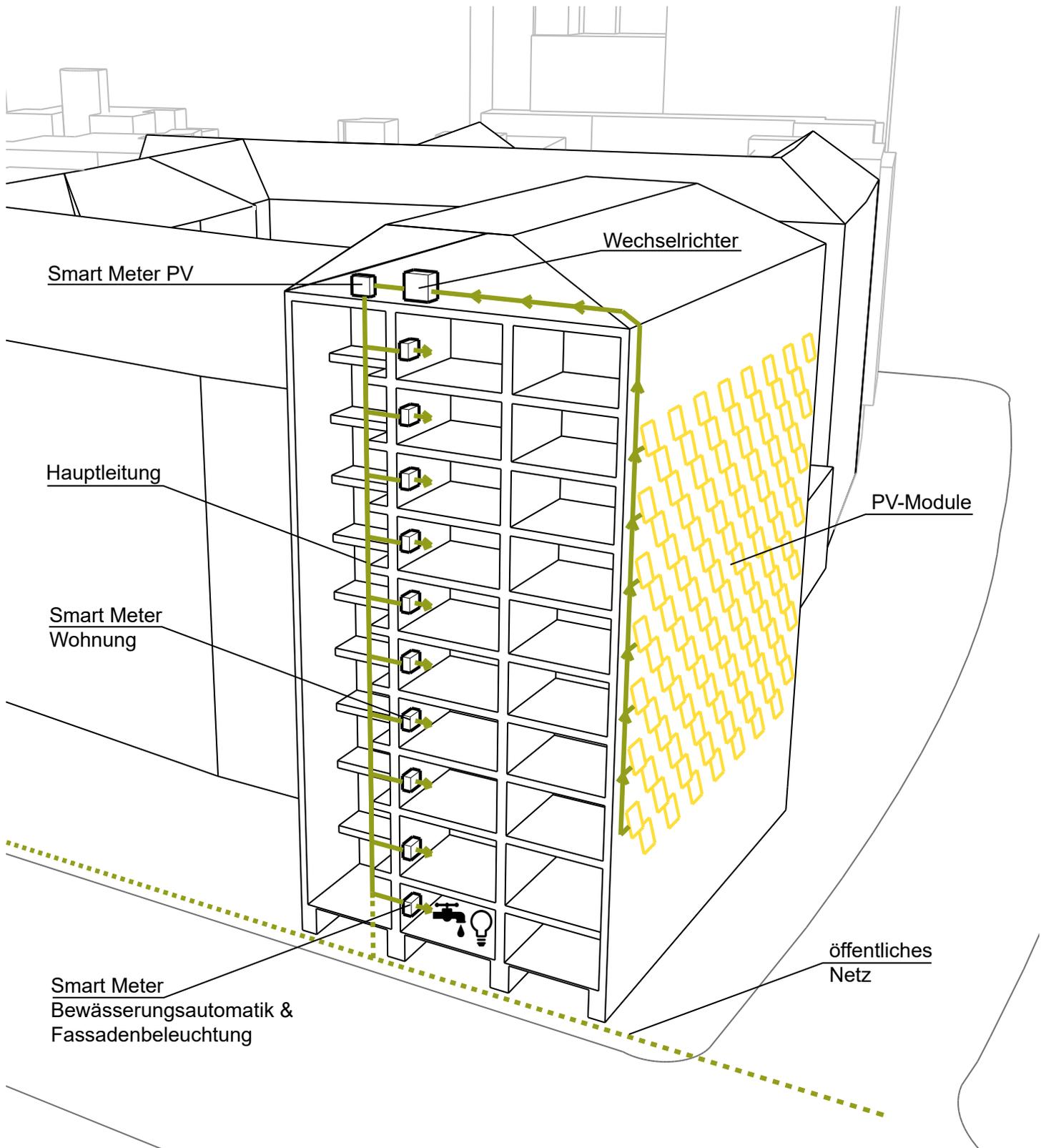


Abbildung 117: Systemkonzept der PV-Anlage

## 6.4. FASSADENBEGRÜNUNG

Besonders im verdichteten städtischen Bereich bietet eine begrünte Gebäudeoberfläche wie im Kapitel 5. " Fassadenbegrünung" beschrieben ökologische Vorteile. Zudem können Bauwerksbegrünungen mit PV-Anlagen sinnvolle Symbiosen bilden, da durch die Wasserverdunstung der Pflanzen die hitzeempfindlichen PV-Anlagen gekühlt werden und so die Effizienz der PV gesteigert werden kann. Die PV Anlage kann wiederum die Energie für eine automatische Bewässerung liefern (Krippner, 2016: S. 68).

Für die Fassaden zur Oberen Donaustraße ist eine fassadengebundene Begrünung mit Vegetationsträgern im Baukastensystem vorgesehen. Die Module der Begrünung haben die gleiche Größe wie die PV-Module von 68 x 71 cm. Auf der Unterkonstruktion der Fassade werden nach einem festgelegten Muster Kassetten mit begrünten Modulen und Photovoltaik-Module montiert.

### 6.4.1. PFLANZEN FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG

Ausgangslage für die Auswahl geeigneter Pflanzen sind die nach Süden orientierten Fassaden mit einer Höhe bis zu 24 m. Da das Gebäude direkt am Donaukanal gelegen ist, werden diese Fassaden kaum verschattet. Zudem ist am Donaukanal mit einem erhöhten Windaufkommen zu rechnen. Die Pflanzen müssen folglich gegenüber starker Sonneneinstrahlung, hohen Temperaturen und starkem Wind robust sein. Da man in unseren Breitengraden auch mit Minusgraden in den Wintermonaten rechnen muss, sollen die Pflanzen auch frostfest sein. Der Pflegebedarf soll möglichst gering sein, da die Pflege in Höhen bis zu 24 m einen hohen Aufwand verursacht. Die Wuchshöhe der Pflanzen soll möglichst gering sein, um angrenzende PV Module nicht zu verschatten. Sie sollen immergrün sein, ein verändertes Aussehen über die Jahreszeiten ist erwünscht.

Für die Bepflanzung werden unterschiedliche Sedum Arten verwendet, die sich neben ihrer Robustheit auch aufgrund ihrer geringen Wuchshöhe sowie ihrem immergrünen Laub gut eignen. Die Pflanzen müssen nicht zurückgeschnitten werden und durch den teppichartigen kriechenden Wuchs sind sie gute Bodendecker. Teilweise ändert sich die Farbe des Laubes im Verlauf des Jahres. In den Sommermonaten bilden sie Blüten. Sie bevorzugen einen sonnigen Standort und haben einen geringen Nährstoffbedarf (Dettmar, Pfoser, 2016: S.29).



Abbildung 118: Rotmoos Mauerpfeffer



Abbildung 119: Blüten Rotmoos Mauerpfeffer



Abbildung 120: Schneeteppich Fettblatt



Abbildung 121: Blüten Schneeteppich Fettblatt

## ROTKMOOS MAUERPFEEFER

(*Sedum album* 'Coral Carpet')

- Wuchsform: teppichartig, kriechend
- Wuchshöhe 5 - 8 cm
- Laub: Immergrün
- Laubform: doldenförmig
- Laubfarbe: rot-grün bis rot-braun
- Blütenfarbe: weiße Blütendolden
- Blütezeit: Juni - August
- Standort: Sonne
- Frosthärte: frosthart
- geringer Nährstoffbedarf  
(Baumschule Horstmann, 2018)

## SCHNEETEPPICH FETTBLATT

(*Album Superbum*)

- Wuchsform: teppichartig, kriechend
- Wuchshöhe 10-15 cm
- Laub: Immergrün
- Laubform: glatt, lederartig, rosettenartig
- Laubfarbe: hellgrün
- Blütenfarbe: weiße Blütendolden
- Blütezeit: Juli - August
- Standort: Sonne bis Halbschatten
- Frosthärte: frosthart
- geringer Nährstoffbedarf  
(Baumschule Horstmann, 2018)



Abbildung 122: Weisser Mauerpfeffer



Abbildung 123: Blüten Weisser Mauerpfeffer



Abbildung 124: Teppich Fettblatt



Abbildung 125: Blüten Teppich Fettblatt

## WEISSER MAUERPFEFFER

(*Sedum album* ‚Murale‘)

- Wuchsform: teppichartig, mattenartig, kriechend
- Wuchshöhe 5-10 cm
- Laub: Immergrün
- Laubform: oval, ganzrandig, matt, glatt
- Laubfarbe: grün bis rot-braun
- Blütenfarbe: rosa
- Blütezeit: Juni – August
- Standort: Sonne
- Frosthärte: frosthart
- Boden: trocken, durchlässig, geringer Humus- und Nährstoffbedarf (Baumschule Horstmann, 2018)

## TEPPICH FETTBLATT

(*Sedum spurium* ‚Fuldaglut‘)

- Wuchsform: teppichartig, kriechend
- Wuchshöhe 10-15 cm
- Laub: Immergrün
- Laubform: rundlich, Blattrand gekerbt, glatt
- Laubfarbe: braunrot
- Blütenfarbe: purpurrot, besonders reichblühend
- Blütezeit: Juni – August
- Standort: Sonne bis Halbschatten
- Frosthärte: frosthart
- Boden: frisch, durchlässig, geringer Humus- Nährstoffbedarf (Baumschule Horstmann, 2018)

## 6.4.2. PFLEGEMASSNAHMEN UND WARTUNG

Abhängig von der Begrünungsart und Pflanzenwahl sind zwei bis vier Pflegedurchgänge pro Jahr notwendig.

Zur Pflege zählt:

- Feststoffdüngergabe  
(wenn keine Düngung über die Bewässerungsanlage erfolgt)
- Rückschnitte
- Entfernung von Fremdvegetation
- Entfernung von ausgefallener Vegetation
- Ergänzung und Austausch von Substrat bzw. Substratersatz

Die Sedum Arten auf der Südfassade wurden unter anderem wegen ihres geringen Pflegebedarfs gewählt. Sie müssen kaum zurückgeschnitten werden und sind sehr konkurrenzstark, weshalb nicht mit Fremdvegetationen zu rechnen ist. Eine zusätzliche Feststoffdüngung ist in der Regel nicht notwendig.

Die technischen Wartungsarbeiten sind bei Fassadengebundenen Begrünungen zumindest alle fünf Jahre durchzuführen. Dabei werden insbesondere die Verankerungen überprüft. Um den Aufwand möglichst gering zu halten, können die Pflege und Wartungsarbeiten der begrünten Fassade und der PV-Anlage zusammen durchgeführt werden.

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 36)

Die Wartung der bis zu 25 m hohen Fassade kann mit einer Arbeitsbühne durchgeführt werden. Hierfür würde sich beispielsweise eine Gelenk-Teleskopbühne mit einer entsprechenden Arbeitshöhe eignen.

## 6.4.3. SUBSTRAT

Die Substrat- bzw. Vegetationstragschicht ist Trägermedium und Nährboden für die Pflanzen. Für die Fassadengebundene Begrünung wird meist ein Substratersatz verwendet, um die Fassaden möglichst leicht und dünn zu halten, dies hat statische und ökonomische Gründe. Die Verwendung von herkömmlicher Erde oder Komposterde ist nicht empfehlenswert, da sie zu viele organische Bestandteile beinhalten, die sich im Laufe der Zeit abbauen und in weiterer Folge Substratsackungen auslösen können. Zudem kann das ungünstige Porenraumverhältnis zu Schäden an den Wurzeln der Pflanzen führen (ÖkoKauf Wien, 2013: S. 32).

Übliche Substratersätze sind Geotextilien, Vliese und Steinwolle. Geotextilien sind wasser- und luftdurchlässige textile Flächengebilde, deren Grundstoff synthetische Materialien hoher Dichte sind. Vliese sind Flächengebilde aus Naturfaser oder Synthefaser, wobei für Fassadenbegrünungen meist Synthefaservliese verwendet werden, da sie bessere technische Werte haben und beständiger sind (ÖkoKauf Wien, 2013: S. 19f).

#### 6.4.4. BEWÄSSERUNGSSYSTEM

Fassadengebundene Begrünung benötigt aufgrund der extremen Standortbedingungen, der vertikalen Lage und der geringen Aufbaudicke der Substrat- bzw. Substratersatzschicht meist eine Zusatzbewässerung. Dies wird meist mit einem Tropf oder einem Sprühschlauch ausgeführt. Für den vorliegenden Entwurf wird ein Niederdrucksystem mit einer Tropfbewässerung verwendet. Es ist das am häufigsten verwendete System, gilt als relativ wartungsarm und verfügt über einen niedrigen Wasserverbrauch.

Die Bewässerungsintensität ist abhängig von der gewählten Pflanze und ihren Ansprüchen: Wie bereits beschrieben, sind die im Entwurf verwendeten Pflanzen der fassadengebundenen Begrünung sehr robust und für den sonnigen und windigen Standort auf der Südfassade geeignet. Die Wasserversorgung dieser Pflanzen sollte gering gehalten werden, was auch ihrer Frostresistenz zugutekommt.

Durch die teilweise hohen Lagen der Pflanzen und der Süd-Orientierung, ist jedoch mit einer erhöhten Sonneneinstrahlung und Verdunstungsintensität durch starken Wind zu rechnen.

Der Nährstoffbedarf der verwendeten Sedum Arten ist sehr gering, eine permanente und bedarfsgerechte Nährstoffversorgung jedoch trotzdem notwendig. Diese erfolgt mit einer an die Bewässerungsanlage gekoppelten Flüssigdüngung. Des Weiteren sollte die Wasserhärte bestimmt werden, um Kalkablagerungen in Vegetationsträgern wie Steinwolle und Vlies zu vermeiden und den PH-Wert an die Pflanzen anzupassen. Dafür kann z.B. ein Wasserenthärter zugeschaltet werden.

Alle Wasseranschlüsse und Leitungen müssen gegen Frosteinwirkungen geschützt werden, dies lässt sich mit einer automatischen Entleerung der Verteilerleitungen bewerkstelligen.

Bei Pflanzungen dieser Größe können die Verdunstungsraten teilweise sehr unterschiedlich sein. Für eine bedarfsgerechte Bewässerung ist deshalb eine Feuchtemessung mittels Sensoren im Substrat notwendig. Um den Wasserverbrauch möglichst gering zu halten, haben sich computergesteuerte Kreislaufsysteme und die Verwendung von Regenwasser bewährt.

(ÖkoKauf Wien, 2013: S. 33f)

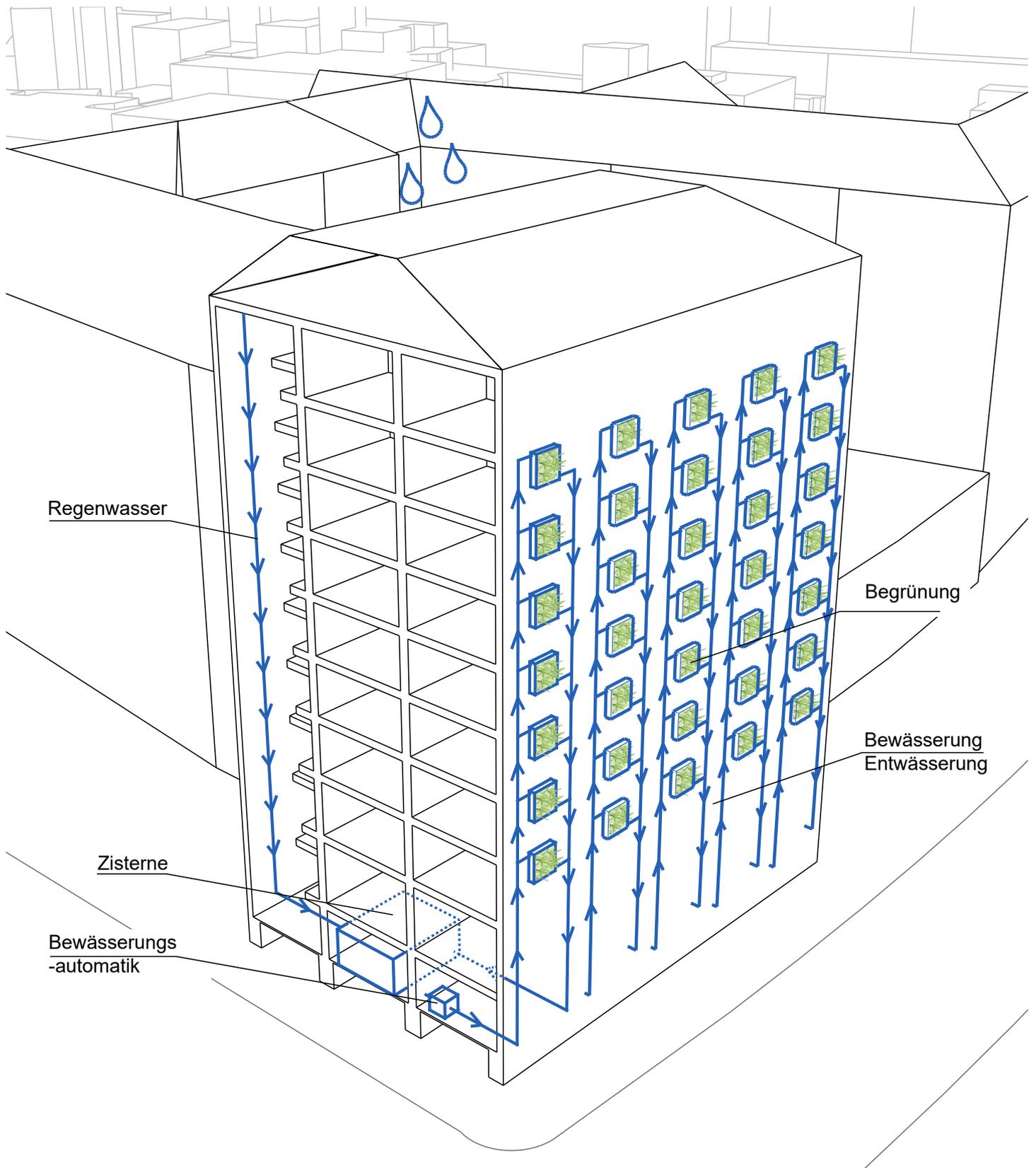


Abbildung 126: Bewässerungssystem

## 6.4.5. PFLANZEN BODENGEBUNDENE BEGRÜNUNG

Für die Fassaden der Höfe sind bodengebundene Begrünungen mit Kletterpflanzen eine einfache Möglichkeit den Hof zu begrünen. In der Grafik der Solaranalyse in Kapitel 2.3.4. "Solaranalyse" ist ersichtlich wie viel Sonne die Flächen der Fassaden erhalten. Die Fassaden des gro'en Hofes sind nach Ost-südost, Südsüdwest (volle Sonne - Halbschatten) und nach Westnordwest (Halbschatten - Schatten) orientiert. Um einen großen Teil der 23 m hohen Fassade zu begrünen wurden Pflanzen gewählt die sehr hoch wachsen.



Abbildung 127: Blauregen



Abbildung 128: Bühender Blauregen

### BLAUREGEN

(Wisteria)

- stark schlingend
- lichtfliehende Triebe
- benötigt geschützte Standorte
- bevorzugt sonnige bis halbschattige Standorte
- kann bis zu 30 m hoch wachsen
- wächst sehr schnell
- Laub von Mai bis November
- Regelmäßiges schneiden notwendig (Mahabadi, Arenz, 2000: S.26)



Abbildung 129: Efeu auf Fassade



Abbildung 130: Blätter Efeu



Abbildung 131: Wilder Wein auf Fassade



Abbildung 132: Blätter Wilder Wein

## EFEU

(Hibernica)

- Immergrün
- flächige Begrünung
- wächst lichtfliehend
- meist hoher schnittaufwand
- benötigt geschützte Standorte
- bevorzugt schattige bis halbschattige Standorte
- auch hängend möglich
- kann bis zu 25 m hoch wachsen
- Selbstklimmer – Wurzelkletterer
- Zuwachs 1-2 m jährlich

Eigentlich ist Efeu ein Selbstklimmer, trotzdem benötigt er oft Kletterseile, Einflechthilfen, Absturzsicherungen und Klettersperren. Ab 6 m Höhe ist eine Absturzsicherung empfehlenswert. (Mahabadi, Arenz, 2000: S.24)

## WILDER WEIN

(Parthenocissus)

- bevorzugt sonnige bis halbschattige Standorte
  - flächige Begrünung
  - auch hängend möglich
  - kann bis zu 20 m hoch wachsen
  - Selbstklimmer – Haftscheibenranker
  - Zuwachs 1-2 m jährlich
  - gutes Haftvermögen
  - gute Blattgesundheit
  - kräftige Herbstfärbung
  - extrem frosthart
- (Mahabadi, Arenz, 2000: S.25)

## 6.5. FASSADENBELEUCHTUNG

Die Lage des Georg-Emmerling-Hofs bietet sich sehr gut für eine beleuchtete Fassade an. Das Gebäude befindet sich in einem verdichteten Gebiet mit einem sehr lebendigem Wirtschafts- und vor allem auch Nachtleben. Der Georg-Emmerling-Hof und die im vorliegenden Entwurf behandelten Südfassaden sind durch die Lage am Ende der Marienbrücke sehr präsent. Auch wäre es eine gute Ergänzung zu den vielen bereits vorhanden Lichtinstallationen. Beleuchtete Brücken, temporäre Kunstinstallationen, kunstvoll beleuchtete Strandbars und bunte Graffiti prägen die Nachtlandschaft in der Umgebung.



Abbildung 133: Ringturm



Abbildung 135: Donaukanal höhe Georg-Emmerling-Hof



Abbildung 134: Raiffaisen Hochhaus



Abbildung 136: Schwedenbrücke



Abbildung 137: Uniqa Tower



Abbildung 138: LEDs Uniqa Tower



Abbildung 139: Greenpix



Abbildung 140: Glasmodule Greenpix

## BEISPIEL UNIQA TOWER

Eine der wenigen Medienfassaden in Österreich befindet sich am Donaukanal. Die Fassade des Uniqa Towers von Heinz Neumann wurde mit 160.000 LEDs ausgestattet, die eine Punktmatrix mit 40.000 Bildpunkten ermöglicht. Die LEDs wurden im Zwischenraum der Doppelglasfassade auf vertikalen Aluminiumleisten installiert. Auf der 7000 m<sup>2</sup> großen Leinwand werden großteils Inhalte von Videokünstlern ohne Werbebotschaft gezeigt. Die leuchtende Fassade soll die Architektur des Turmes unterstützen und gibt ihm eine neue Möglichkeit, um mit seiner Umgebung zu interagieren (Tscherteu, 2008: S. 57f).

## BEISPIEL GREENPIX

Die Vorhangfassade am Entertainment-Center Xicui in Peking ist zugleich PV-Fassade und Medienfassade. Die interaktive Gebäudehülle soll wie ein Organismus funktionieren, der tagsüber Solarenergie absorbiert und bei Nacht mit dieser Energie die 2.200 m<sup>2</sup> große Fläche der Fassade beleuchtet. Die Verkleidung besteht aus transluzenten Glasmodulen. Sie sind unterschiedlich dicht mit polykristallinen PV-Zellen bestückt und bilden auch tagsüber ein anschauliches Muster. Nachts strahlen LEDs von hinten auf das diffuse Glas, das das Licht verteilt (Roberts/Guariento 2009, S. 84).

## BELEUCHTUNG DES GEORG-EMMERLING-HOFS

Für die Beleuchtung der Fassade des Georg-Emmerling-Hofs werden die Randbereiche der PV-Fassade der Stiege 1 beleuchtet. Mit der Beleuchtung soll diese Fassade, die durch ihre Position am Ende der Marienbrücke gut sichtbar ist, in Szene gesetzt werden. Damit kaum Licht in die Wohnräume eindringt, werden die Bereiche um die Fenster ausgespart. Dadurch wird zudem die ursprüngliche Fassadengliederung betont.



Abbildung 141: Position Fassadenbeleuchtung

Umgesetzt wird die Lichtfassade mit LEDs, die auf Montageschienen auf der Unterkonstruktion der neuen Fassade montiert werden. Für jedes Modul wird eine Leuchte installiert. Sie werden so ausgerichtet, dass sie von hinten mittig auf das jeweilige Modul strahlen. Die Glasoberfläche der Module spiegelt das auftretende Licht und verteilt es auf die Flächen rund um das Modul. Das Licht tritt durch die Fugen zwischen den Modulen nach außen. Es entsteht sozusagen eine Negativabbildung der Fassade im Tageslicht. Auch die angrenzenden Begrünungselemente werden durch das reflektierte Licht beleuchtet.

Die Kombination mit der PV ermöglicht, die beleuchtete Fassade mit vor Ort erzeugter, nachhaltiger Energie zu betreiben. Sie wird untertags über die Photovoltaikzellen aufgenommen. Die Energie die nicht im Gebäude gebraucht wird, kann in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden und am Abend wieder für die Beleuchtung vom Netz bezogen werden.



Abbildung 142: Ansicht Nacht

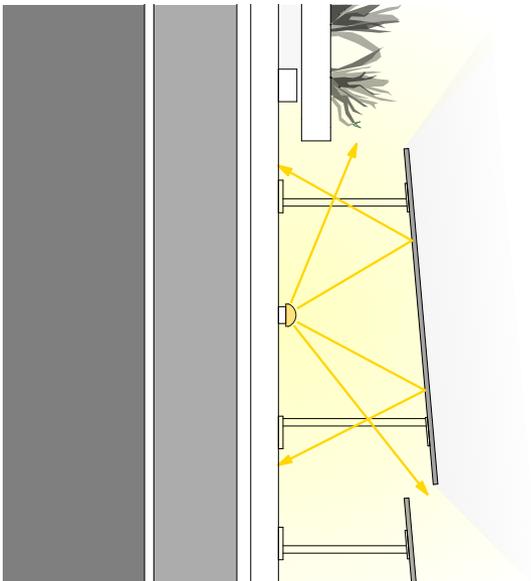


Abbildung 143: Funktionsweise

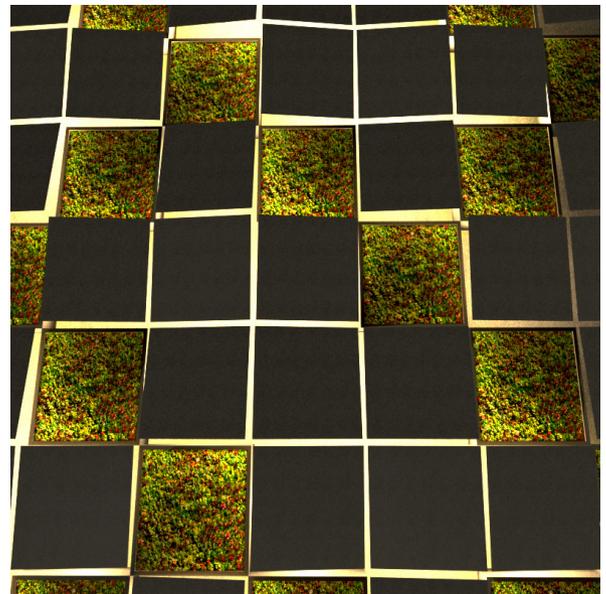


Abbildung 144: Nahaufnahme

## 6.6. ENERGIEEFFIZIENZ

Energieeffizienz bildet auch in Österreich eine zentrale Klimaschutzstrategie. Bei steigender Lebensqualität soll der Energieeinsatz verringert werden. Die energetische Effizienzstrategie baut in weiterer Folge auf drei Säulen – den drei E – auf:

- Energieeinsparung für einen geringeren Nutzenergiebedarf bei gleicher Dienstleistung
- Effizienzverbesserung zur Reduktion von Umwandlungsverlusten zwischen End- und Nutzenergie
- Erneuerbare Energie als wesentliche Primärenergiequelle

Für das Erreichen der in Kapitel 3. Kontext Klimawandel angeführten Klimaziele bildet das Zusammenspiel aller drei Säulen die Grundlage.

(Gralls, Hildebrandt, Möhle, Vagn Philipsen, 2013: S. 162)

Die wichtigste Maßnahme, um ein Gebäude energieeffizienter zu machen, bildet die Reduktion des Energiebedarfes. Dies kann durch Verbesserung der thermischen Hülle, Erhöhung der solaren Gewinne und Reduzierung der Lüftungsverluste erreicht werden.

Die Verbesserung der thermischen Hülle des Georg-Emmerling-Hofs hat ein hohes Potential, um den Energiebedarf zu reduzieren. Die Bauteile im Bestand sind kaum gedämmt. Hier kann bereits durch eine geringe Dämmstärke eine bedeutende Verbesserung erzielt werden. Lediglich die Decke über der Durchfahrt und Teile der obersten Geschossdecke haben eine 5 cm dicke Heraklith Dämmung. Die Außenwände und die Kellerdecke sind nicht gedämmt und auch die Fenster weisen einen hohen Wärmedurchgangskoeffizienten auf.

Die Reduktion der Lüftungsverluste wird meist durch eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung verwirklicht. Die Installation von zentralen Lüftungsanlagen ist in einem bewohnten Gebäude jedoch schwer umsetzbar. Auch die Erhöhung der solaren Gewinne ist bei Bestandsgebäuden nur eingeschränkt möglich, zudem sollte immer auf die Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung geachtet werden.

### 6.6.1. VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

Auf den folgenden Seiten werden verschiedene Möglichkeiten dargestellt, um die Energieeffizienz des Georg-Emmerling-Hofs zu verbessern. Als Orientierung für die zu erreichenden Werte dienen die OIB-Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz), die die aktuellen in Österreich

geltenden Anforderungen beinhaltet sowie das OIB-Dokument „Nationaler Plan“, das die Umsetzung der EU-Richtlinie (Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU) über die zukünftigen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Definition eines Niedrigstenergiegebäudes festlegt.

Diese Ziele bzw. Anforderungen werden über verschiedene Werte definiert, die wichtigsten sind der Heizwärmebedarf, der Gesamtenergieeffizienz-Faktor, der Primärenergiebedarf und die Kohlendioxidemissionen.

## ERKLÄRUNG DER KENNZAHLEN:

Die Qualität der thermischen Gebäudehülle wird unter Berücksichtigung von nutzbaren solaren Wärmegegewinnen und Lüftungswärmeverlusten vom Heizwärmebedarf beschrieben. Der Georg-Emmerling-Hof hat im Bestand eine Heizwärmebedarf von 98,31 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die gesamte Energieeffizienz des Gebäudes wird mit dem Gesamtenergieeffizienz-Faktor (fGEE) beschrieben. Er ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Energiebedarf. Der Endenergiebedarf berücksichtigt den Heizenergiebedarf, den Haushaltstrombedarf, die Endenergieerträge und den dafür notwendigen Hilfsenergiebedarf.

Der Primärenergiebedarf beinhaltet den Endenergiebedarf zuzüglich Energiemengen für vorgelagerte Prozesse der Endenergeträger wie z.B. Gewinnung, Umwandlung, Transport und Übergabe. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB ern.) und einen nicht erneuerbaren (PEB n. ern.) Anteil auf.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beschreiben die gesamten, dem Endenergiebedarf zuzurechnenden Kohlendioxidemissionen, einschließlich jener für vorgelagerte Prozesse.

## KENNZAHLEN BESTAND

Wie in der Bestandsanalyse bereits beschrieben wurde, hat der Georg-Emmerling-Hof folgende Eckdaten:

- HWB Ref,RK: 98,31 kWh/m<sup>2</sup>a
- $f_{GEE}$ : 1,50
- PEB SK: 271,72 kWh/m<sup>2</sup>a
- CO<sub>2</sub> SK: 50,39 kg/m<sup>2</sup>a
- Brutto-Grundfläche: 19.434 m<sup>2</sup>
- Volumen: 62.554 m<sup>3</sup>
- Hüllfläche: 16.684 m<sup>2</sup>
- charakteristische Länge (lc): 3,75 m
- mittlere U-Wert: 1,36 W/m<sup>2</sup>K
- 208 Wohnungen
- Heizung: Fernwärme

## AKTUELLE ANFORDERUNGEN

Um die aktuellen Anforderungen für größere Renovierungen der OIB-Richtlinie 6 (März 2015) zu erfüllen, muss das Gebäude wie bereits beschrieben einen Heizwärmebedarf  $HWB_{Ref, RK}$  von 35 kWh/m<sup>2</sup>a oder einen Gesamtenergieeffizienz-Faktor  $f_{GEE}$  von 1,05 erreichen. Da das Gebäude bereits eine Fernwärmeheizung besitzt, die im Vergleich mit anderen Energieträgern wie z.B. Erdgas einen geringeren (nicht erneuerbaren) Primärenergiebedarf aufweist, ist der  $f_{GEE}$  mit weniger Aufwand zu erreichen, als der Heizwärmebedarf, der die Art der Wärmebereitstellung nicht berücksichtigt. Für einen  $f_{GEE}$  von 1,05 genügt folgende Dämmung:

Bauteil	Dämmstärke	Dämmmaterial	$\lambda$ [W/mK]
Außenwände	10 cm	Steinwolle	0,04
Außenwände Sockelzone	-	-	-
Oberste Geschossdecke	10 cm	Steinwolle	0,04
Kellerdecke	-	-	-
Fenster Verglasung		$g_{\perp} = 0,25$	$U_g = 0,60$ W/m <sup>2</sup> K
Fensterrahmen		Weichholz	$U_f = 1,25$ W/m <sup>2</sup> K

Um die aktuellen Anforderungen der OIB-Richtlinie zu erreichen, genügt eine Fassadendämmung von 10 cm und die Dämmung der obersten Geschossdecke mit 10 cm Steinwolle. Die neuen Fenster erhalten ein Sonnenschutzglas mit einem Wärmedurchgangskoeffizient von 0,6 W/m<sup>2</sup>K und einen Holzrahmen mit 1,25 W/m<sup>2</sup>K. Die etwas aufwendig zu dämmende Rippendecke im Keller müsste nicht gedämmt werden, ebenso die Sockelzone, die durch die vielen Reliefs aufwendig zu dämmen wäre.

Dies würde einen  $f_{GEE}$  von 0,97 ergeben und eine Verbesserung dieses Wertes zum Bestand von 35 % bedeuten. Der HWB beträgt in diesem Fall 40,96 kWh/m<sup>2</sup>a - eine Verbesserung um 58 %.

## NIEDRIGSTENERGIEGEBÄUDE

Laut OIB-Dokument „Nationaler Plan“ liegen die Anforderungen für Niedrigstenergiegebäude bei größeren Renovierungen bei einem HWB von höchstens 17 x (1 + 2,5 / IC) oder einem  $f_{GEE}$  von höchstens 0,95 (OIB-Dokument „Nationaler Plan“: 2014). Um die Anforderungen über den HWB zu erfüllen muss der Georg-Emmerling-Hof einen HWB unter 28,3 kWh/m<sup>2</sup>a erreichen.

Um einen Gesamtenergieeffizienz-Faktor unter 0,95 zu erreichen, können zusätzlich die Kellerdecke gedämmt werden, die Außenwände der Sockelzone mit einem Dämmputz saniert (auch um Wärmebrücken zu minimieren), und die Dämmung der obersten Geschossdecke auf 20 cm Steinwolle erhöht werden.

Bauteil	Dämmstärke	Dämmmaterial	$\lambda$ [W/mK]
Außenwände	10 cm	Steinwolle	0,04
Außenwände Sockelzone	5 cm	Dämmputz	0,06
Oberste Geschossdecke	20 cm	Steinwolle	0,04
Kellerdecke	16 cm	Steinwolle	0,04
Fenster Verglasung		$g_{\text{I}} = 0,25$	$U_{\text{g}} = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fensterrahmen		Weichholz	$U_{\text{f}} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dies würde einen Heizwärmebedarf von 34 kWh/m<sup>2</sup>a ergeben, was eine Verbesserung zum Bestand von 65 % bedeuten würde. Der  $f_{\text{GEE}}$  würde auf 0,90 sinken. Damit würde der Georg-Emmerling-Hof den Anforderungen eines Niedrigstenergiegebäudes (bei größeren Renovierungen) entsprechen.

Will man die Qualität der thermischen Hülle weiter verbessern und die Verluste durch den Heizwärmebedarf unter 28,3 kWh/m<sup>2</sup>a bringen, könnten zusätzlich zur vorherigen Variante die Außenwanddämmung auf 20 cm Steinwolle erhöht und Fensterrahmen mit einem Wärmedurchgang von 0,97 W/m<sup>2</sup>K verwendet werden. Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor  $f_{\text{GEE}}$  liegt dann bei 0,84.

Bauteil	Dämmstärke	Dämmmaterial	$\lambda$ [W/mK]
Außenwände	20 cm	Steinwolle	0,04
Außenwände Sockelzone	5 cm	Dämmputz	0,06
Oberste Geschossdecke	20 cm	Steinwolle	0,04
Kellerdecke	16 cm	Steinwolle	0,04
Fenster Verglasung		$g_{\text{I}} = 0,25$	$U_{\text{g}} = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fensterrahmen		Weichholz	$U_{\text{f}} = 0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$

## VERGLEICH ANFORDERUNG NIEDRIGSTENERGIEGEBÄUDE FÜR NEUBAUTEN

Die Anforderung an Niedrigstenergiegebäude für Neubauten würden für den Georg-Emmerling-Hof eine HWB von 18,00 kWh/m<sup>2</sup>a ( $10 \times ((1 + 3 / \text{Ic}))$ ) oder eine  $f_{\text{GEE}}$  von 0,75 bedeuten (OIB-Dokument „Nationaler Plan“: 2014).

Um einen HWB unter 18,00 kWh/m<sup>2</sup>a zu erreichen, könnte man z.B. die Außenwände und die Decke mit 30 cm Steinwolle dämmen, die Dämmung der Wände der Sockelzone verbessern und die Räume des Georg-Emmerling-Hofs mit einer Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung ausstatten. Der  $f_{\text{GEE}}$  würde mit diesen Maßnahmen bei 0,77 liegen.

## 6.6.2. BERECHNUNGSERGEBNIS DER GEWÄHLTEN VARIANTE

Da eine Wohnraumlüftung bei bewohnten Gebäuden schwer umsetzbar ist und auch eine 30 cm starke Außenwanddämmung zu statischen und konstruktiven Problemen führen würde, wird die Variante mit einer Außenwanddämmung von 20 cm Steinwolle und einem Heizwärmebedarf von 28,3 kWh/m<sup>2</sup>a gewählt. In dieser Variante entspricht das Gebäude den Anforderungen von Niedrigstenergiegebäuden (bei größeren Renovierungen) laut der Österreichischen Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Und somit den OIB 6 Anforderungen für 2020.

Die Kennzahlen verändern sich durch die Sanierung folgendermaßen: Der Heizwärmebedarf ( $HWB_{Ref,RK}$ ) ist mit 28,34 kWh/m<sup>2</sup>a im Vergleich zum Bestand um 71 % geringer. Der Primärenergiebedarf ( $PEB_{SK}$ ) wird um 46 % reduziert er beträgt nur noch 150,28 kWh/m<sup>2</sup>a und liegt somit deutlich unter dem geforderten Maximum von 200 kWh/m<sup>2</sup>a für Niedrigstenergiegebäude. Die Kohlendioxidemissionen ( $CO_{2,SK}$ ) betragen 27,56 kg/m<sup>2</sup>a und liegen damit auch unter den Anforderungen von 32 kg/m<sup>2</sup>a, was im Vergleich zum Bestand eine Reduktion um 46 % bedeutet. Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor  $f_{GEE}$  beträgt 0,84, eine Verbesserung zum Bestand um 45 %. Der durchschnittliche U-Wert der thermischen Oberfläche kann von 0,53 auf 0,35 W/m<sup>2</sup>K gesenkt werden.

	<b>Anforderung NEG Größere Sanierung</b>	<b>Georg- Emmerling-Hof Bestand</b>	<b>Georg- Emmerling-Hof saniert</b>
$HWB_{RK}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	28,34	98,31	28,24
fGEE	0,95	1,54	0,84
$PEB_{SK}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	200	276,24	150,28
$CO_{2,SK}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	32	51,39	27,56

## AUSWIRKUNG DER PHOTOVOLTAIKANLAGE AUF DIE KENNZAHLEN

Der Haushaltsstrombedarf kann zu einem Teil über die neue Photovoltaikanlage gedeckt werden. Die 498 m<sup>2</sup> große PV Anlage hat eine Spitzenleistung von 72,59 kWp und einen möglichen Ertrag von 61.440 kWh/a. Für die Berechnungen des Haushaltstromes wird von einem mittleren Bedarf von 16,43 kWh/m<sup>2</sup>a (Brutto-Grundfläche) ausgegangen, was bei dem 19.434,30 m<sup>2</sup> großen Georg-Emmerling-Hof einen Bedarf von 319.305,55 kWh/a bedeutet. Die erzeugte Energie entspricht also

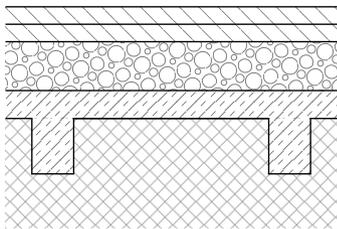
19,25 % des Haushaltsstrombedarfes, oder den Strombedarf von 3741,10 m<sup>2</sup> (Brutto-Grundfläche), was in etwa der Fläche der gesamten Stiegen 5 und 6 entspricht. Dank der großen Brutto-Grundfläche des Georg-Emmerling-Hofs kann auch von einem hohen Eigenverbrauch ausgegangen werden. In dem mit Archiphysik berechneten Energieausweis wird mit einem Eigenverbrauch von 100 % gerechnet.

Auf die Kennzahlen des Energieausweises wirkt sich die PV-Anlage jedoch nur geringfügig aus, so verbessert sich der Endenergiebedarf von 98,58 kWh/m<sup>2</sup>a auf 95,42 kWh/m<sup>2</sup>a, der Primärenergiebedarf von 156,32 kWh/m<sup>2</sup>a auf 150,28 kWh/m<sup>2</sup>a, der CO<sub>2</sub> Ausstoß von 28,44, auf 27,56 kWh/m<sup>2</sup>a und der  $f_{GEE}$  Wert von 0,87 auf 0,84.

Anschließend sind die Aufbauten der wichtigsten Bauteile mit den ermittelten U-Werten zu sehen:

### DE | Betondecke Keller

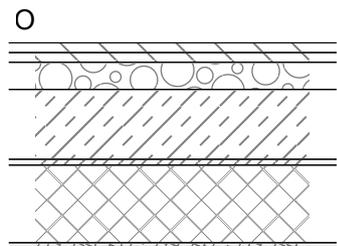
U-O



		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Steinwolle MW(SW)-W (40 kg/m <sup>3</sup> )	0,0800	0,040	2,000
2.0	Stahlbeton-Decke Breite: 0,06 m Achsenabstand: 0,34 m	B 0,0800	2,300	0,035
2.1	Steinwolle MW(SW)-W (40 kg/m <sup>3</sup> )	0,0800	0,040	2,000
3	Stahlbeton-Decke	B 0,0400	2,300	0,017
4	Hochofenschlacke	B 0,0700	0,200	0,350
5	Blindboden	B 0,0250	0,150	0,167
6	Parkettboden	B 0,0250	0,200	0,125
Wärmeübergangswiderstände				0,340
RT <sub>o</sub> =4,486 m <sup>2</sup> K/W; RT <sub>u</sub> =3,181 m <sup>2</sup> K/W;		<b>0,3200</b>	RT =	3,833
				<b>U = 0,261</b>

### DE | Betondecke Durchfahrt

U-O

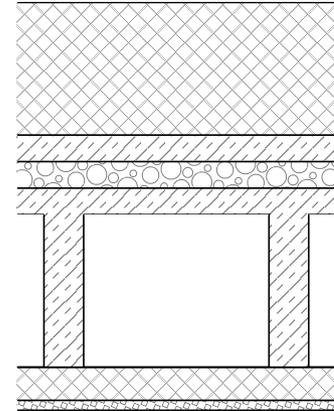


		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Deckenputz	0,0100	1,400	0,007
2	Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m <sup>3</sup> )	0,2000	0,037	5,405
3	Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0150	1,050	0,014
4	Stahlbeton-Decke	B 0,1800	2,300	0,078
5	Hochofenschlacke	B 0,0700	0,200	0,350
6	Blindboden	B 0,0250	0,150	0,167
7	Parkettboden	B 0,0250	0,200	0,125
Wärmeübergangswiderstände				0,210
		<b>0,5250</b>	RT =	6,356
B = Bestand				<b>U = 0,157</b>

## DE | Betondecke Dachboden

O-U

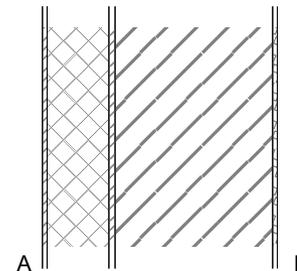
		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Steinwolle MW(SW)-W (60 kg/m <sup>3</sup> )	0,2000	0,040	5,000
2	Estrich (Zement-)	B 0,0400	1,400	0,029
3	Kesselschlacke	B 0,0400	0,330	0,121
4	Stahlbeton-Decke	B 0,0400	2,300	0,017
5.0	Stahlbeton-Decke Breite: 0,06 m Achsenabstand: 0,34 m	B 0,2300	2,300	0,100
5.1	Luftsch. waagr. $\sigma > u20$ cm	0,2300	1,000	0,230
6	Heraklith EPV (5,0 cm)	B 0,0500	0,100	0,500
7	Gipsputz (R = 1200)	B 0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände				0,200
RT <sub>o</sub> =6,095 m <sup>2</sup> K/W; RT <sub>u</sub> =6,076 m <sup>2</sup> K/W;			<b>0,6150</b>	RT = 6,085
				<b>U = 0.164</b>



## WA | Vollziegel

A-I

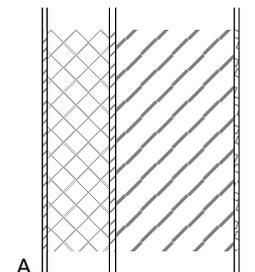
		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	alkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0150	1,050	0,014
2	steinwolle MW(SW)-W (40 kg/m <sup>3</sup> )	0,2000	0,040	5,000
3	alkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	B 0,0200	1,050	0,019
4	vollziegel (R = 1500)	B 0,5100	0,620	0,823
5	gipsputz (R = 1200)	B 0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände				0,170
			<b>0,7600</b>	RT = 6,047
B = Bestand				<b>U = 0,165</b>



## WA | Vibro-Stein

A-I

		d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,0150	1,050	0,014
2	Steinwolle MW(SW)-W (40 kg/m <sup>3</sup> )	0,2000	0,040	5,000
3	Kalkzementmauermörtel (1800 kg/m <sup>3</sup> )	B 0,0200	1,050	0,019
4	Ziegelsplittbeton (R=1200)	B 0,3800	0,390	0,974
5	Gipsputz (R = 1200)	B 0,0150	0,700	0,021
Wärmeübergangswiderstände				0,170
			<b>0,6300</b>	RT = 6,198
B = Bestand				<b>U = 0,161</b>





## 6.7. SOMMERLICHE ÜBERWÄRMUNG

Die PV-Module auf den Südfassaden des Georg-Emmerling-Hofs nutzen die Sonnenenergie aktiv und wandeln sie in elektrische Energie um. Die transparenten und die wärmespeichernden Bauteile nutzen die diffuse und direkte Strahlung passiv. Die Strahlungsenergie wird in Wärme umgewandelt und unterstützt die Gebäudeheizung in den Wintermonaten. In den Sommermonaten kann es durch die Sonneneinstrahlungen jedoch zu hohen Temperaturen und übermäßigen Blendungen in den Räumen kommen. Daher ist für die Fenster ein ausreichender Sonnenschutz notwendig.

### VERSCHATTUNG DURCH DIE NEUE FASSADE

Für die Südfassaden ist eine horizontale Auskragung über den Fenstern eine gute Lösung: Die unterschiedlichen Sonnenhöhen im Sommer und im Winter können genutzt werden, sodass die flach stehende Wintersonne ungehindert in den Raum kann und im Sommer die Glasflächen bei höherem Sonnenstand verschattet werden.

Die PV-Paneele der neuen Fassade besitzen deshalb auch die Funktion einer auskragenden Verschattung. Beim Entwurf der Fassade wurde neben der optimalen Einstrahlung auf die PV-Module darauf geachtet, dass die Fenster im Sommer möglichst gut verschattet werden und im Winter trotzdem Sonnenstrahlen eindringen können. Ausschlaggebend dafür ist der Sonnenhöchststand zur Sommersonnenwende und zur Wintersonnenwende am Standort.

Der Sonnenhöchststand am 21. Juni wird am Standort des Georg-Emmerling-Hofs um 12:56 Uhr erreicht und beträgt  $65,23^\circ$  bei einem Azimut von  $182,05^\circ$ . Am 21. Dezember erreicht die Sonne um 11:52 Uhr ihre höchste Position bei  $18,40^\circ$ , der Horizontalwinkel beträgt  $179,88^\circ$  (sonnenverlauf.de, 2018).

### 6.7.1. VERSCHATTUNGSANALYSE

Für eine genauere Analyse wurde eine Verschattungsstudie am 3D Modell im Programm Revit 2017 gemacht wodurch alle zur Verschattung beitragenden Elemente der Fassade berücksichtigt werden konnten. Zu sehen ist immer ein Fenster mit den angrenzenden PV-Modulen. Es wurde in weiterer Folge der Schattenverlauf zur Winter- und Sommersonnenwende betrachtet.

Wie die Untersuchung zeigt, wird das analysierte Fenster (Stiege 1, Top 18) zur Sommersonnenwende im Großteil des Tagesverlaufes verschattet, nur zwischen 14:56 und 16:56 ist der unterste Teil des Fensters der Sonne ausgesetzt (Abbildung 146). Zur Wintersonnenwende (Abbildung 147) ist das Fenster in den ersten Stunden verschattet und wird bis zur Aufnahme um 12:45 fast verschattungsfrei. Die Verschattung in den Morgenstunden entsteht durch die PV-Module neben den Fenstern. Hier musste ein Kompromiss

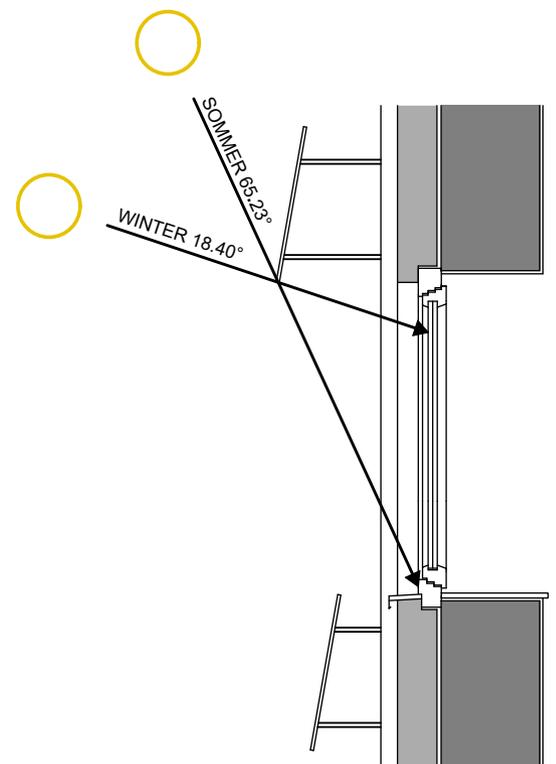
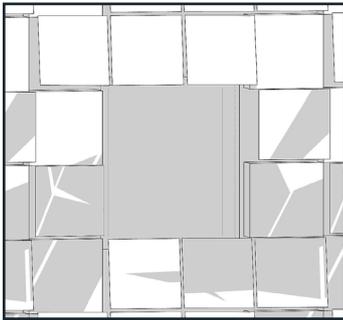


Abbildung 145: Sonnenhöchststand

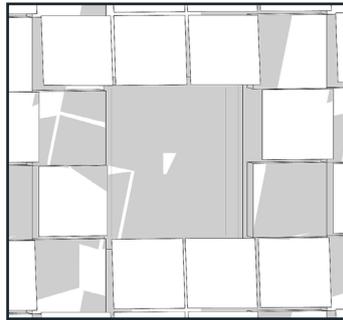
## SOMMERSONNENWENDE

zwischen gutem PV-Ertrag und passiver Sonnennutzung gefunden werden, wobei im Entwurf die Priorität auf eine gute Einstrahlung auf die PV-Module lag. Zudem tragen die seitlichen Module auch zur Verschattung in den Sommermonaten bei.

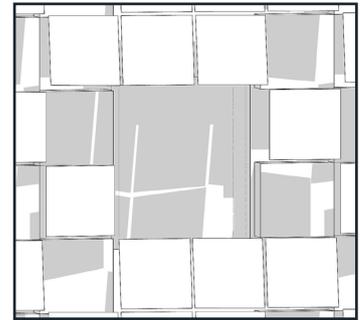
10:56



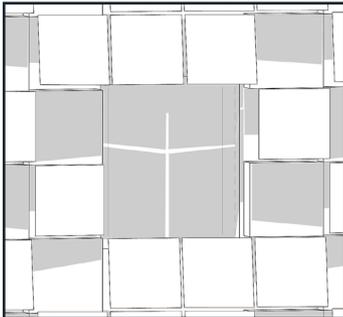
11:56



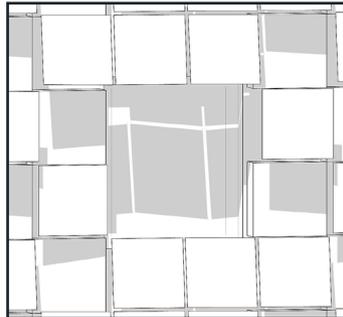
12:56



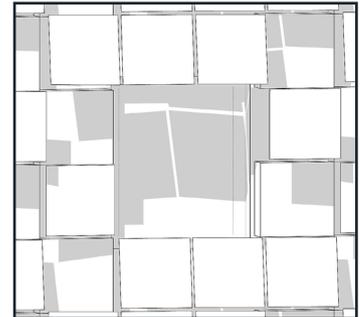
13:56



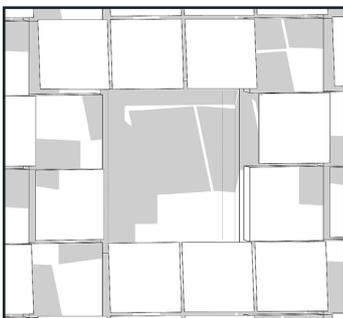
14:56



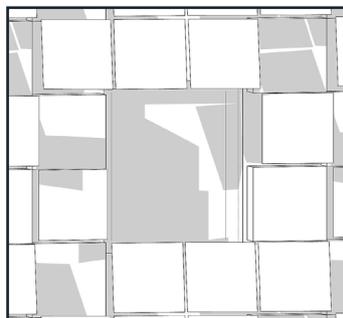
15:56



16:56



17:56



18:56

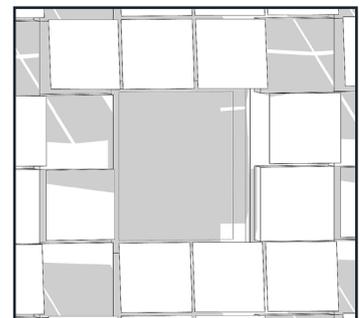
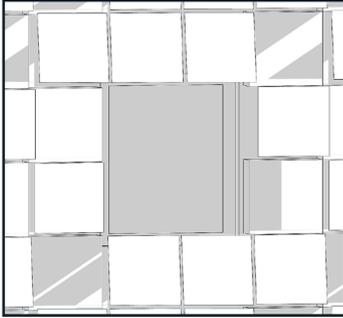


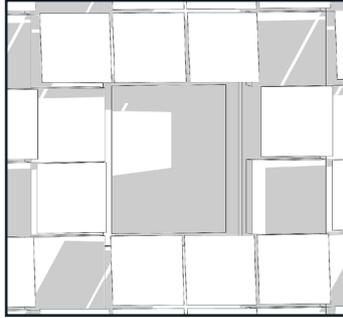
Abbildung 146: Verschattungsanalyse, Sommersonnenwende

# WINTERSONNENWENDE

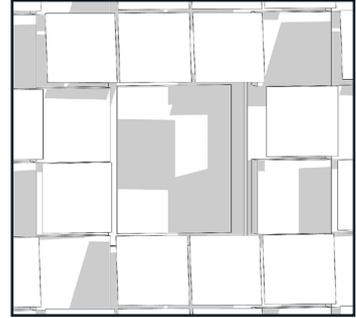
08:45



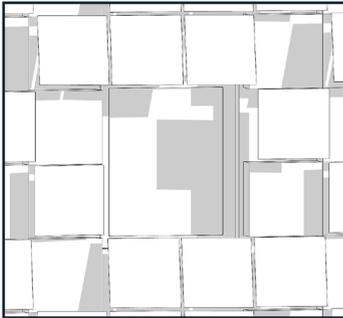
09:45



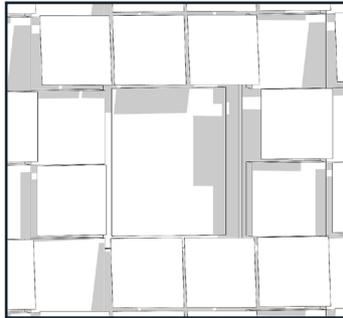
10:45



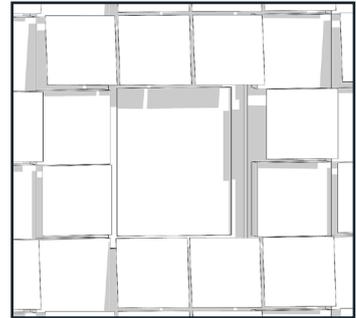
11:45



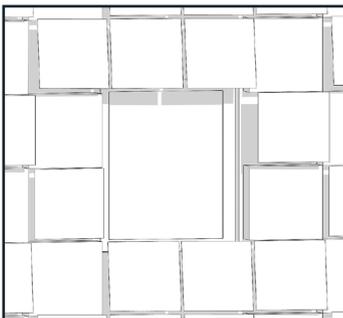
12:45



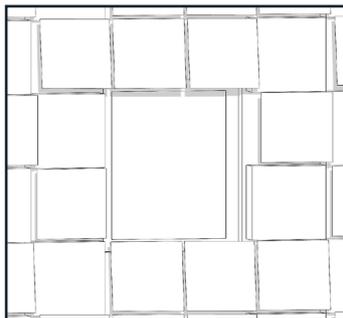
13:45



14:45



15:45



16:45

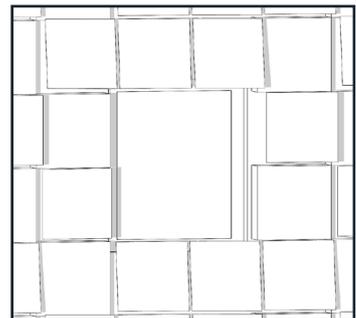


Abbildung 147: Verschattungsanalyse Wintersonnenwende

## 6.7.2. BERECHNUNG MIT ARCHIPHYSIK

Um die Hitzeentwicklung in den Sommermonaten zu beurteilen, wurde die sommerliche Überwärmung mit Hilfe von Archiphysik 15.0 berechnet.

Betrachtet wird wie schon in der Bestandsanalyse im Kapitel 2.3.6. „Sommertauglichkeit“ der Raum auf Stiege 1, Top 18. Er befindet sich im 2. Stockwerk und ist nach Südsüdwesten orientiert. Der Raum hat eine Nutzfläche von 13,08 m<sup>2</sup> und eine Raumhöhe von 2,60 m. Die Fenster sind mit einer Größe von 110 x 150 cm relativ klein. Wie die Bestandsanalyse gezeigt hat, wird der Raum wegen des geringen Raumvolumens jedoch nur als „bedingt sommertauglich“ bewertet.

Die Bestandsanalyse zeigte dass die operative Maximaltemperatur bei 27,89 °C liegt. In der Nacht sinkt die Temperatur auf 25,93 °C. Beide Werte liegen also knapp einen Grad über den Mindestanforderungen.

Für die Berechnung der Sommertauglichkeit des Raumes mit der neuen Fassade wurde folgendes berücksichtigt:

Die PV-Module über den Fenstern besitzen eine Auskrägung von 78 cm, die seitliche Auskrägung beträgt mindestens 40 cm. Für den vorliegenden Entwurf ist der Einsatz neuer Fenster mit einer Sonnenschutzverglasung (Energiedurchlassgrad von 0,25) angedacht. Zusätzlich wird bei den Berechnungen wieder von einem innenliegenden, wenig lichtdurchlässigen, hellen Sonnenschutz ausgegangen. Die Lüftung erfolgt über das Kippen des Fensters. Für die Außenwand wird zudem die neue Dämmung von 20 cm Steinwolle berücksichtigt. Das Ergebnis der Sommertauglichkeitsberechnung ist in Abbildung 150 zu sehen.

Der Raum wird mit der neuen Fassade als „sommertauglich“ (Klasse B) bewertet. Wie im Diagramm zu sehen ist, liegt die operative Maximaltemperatur mit 26,53 °C unter der für diesen Standort angegebenen Höchsttemperatur von 27,00 °C. Im Vergleich zu der Bestandsanalyse sinkt die operative Maximaltemperatur um 1,36 °C. Die minimale operative Temperatur im Nachtzeitraum beträgt 24,87 °C und liegt somit unter den geforderten 25,00 °C der ÖNORM, was eine Verbesserung zum Bestand um 1,06 °C bedeutet.

Diese Ergebnisse entsprechen den detaillierten Berechnungen nach Normverfahren der ÖNORM B8110-3:2012. Hierbei wird der Tagesverlauf der operativen Temperatur eines Raumes an einem Tag, stellvertretend für die gesamte Sommerperiode berechnet.



Abbildung 148: Lage Top 18, Stiege 1

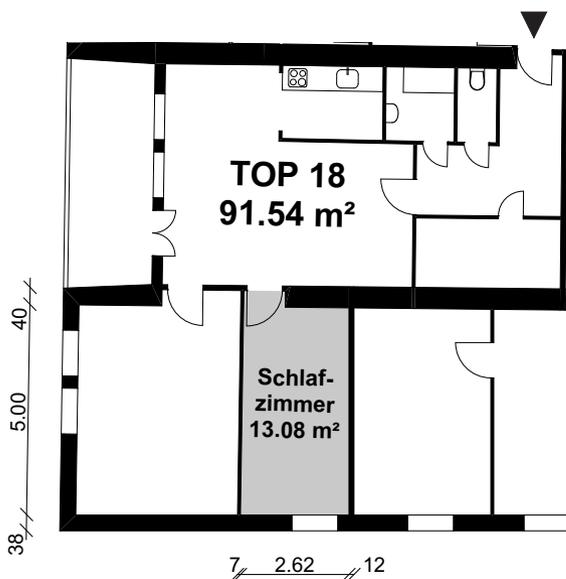
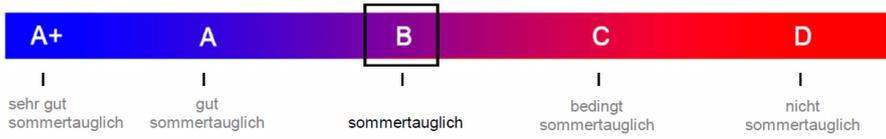


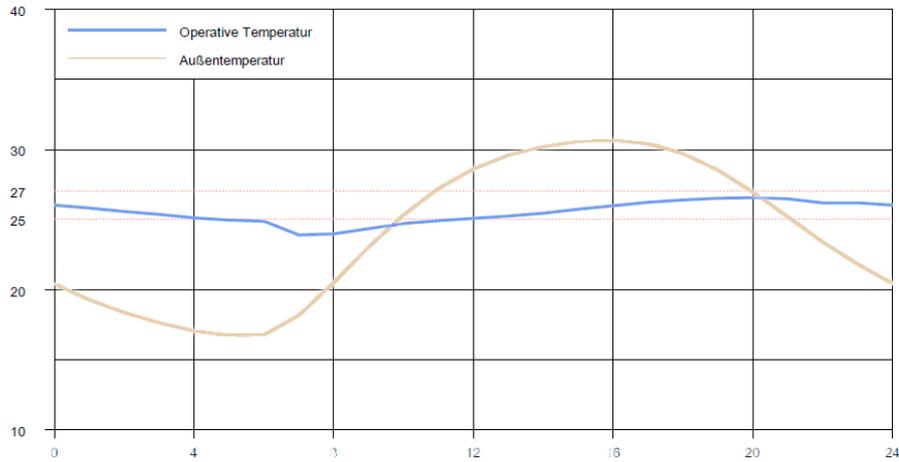
Abbildung 149: Grundriss Top 18, Stiege 1



**Operative Temperatur**

min. operative Temperatur im Nachtzeitraum  
(22:00 Uhr - 6:00 Uhr)

	<b>26,53 °C</b>
erforderlich:	27,00 °C
	<b>24,87 °C</b>
erforderlich:	25,00 °C



Bezeichnung	A m <sup>2</sup>	m <sub>w,B,A</sub> kg/m <sup>2</sup>	Speichermasse kg
Fenster 110/150	1,65	0,00	0,00
WA   Vollziegel 38	4,95	106,22	525,82
DE   Geschossdecke	13,08	49,30	644,84
DE   Geschossdecke	13,08	145,30	1.900,52
WI   Gipswand	13,00	10,31	134,13
WI   Gipswand	13,00	10,31	134,13
WI   Vollziegel 51	6,60	101,76	671,67
		<b>423,23</b>	<b>4.011,13</b>

Abbildung 150: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Archiphysik

### 6.7.3. BERECHNUNG MIT THESIM

Für eine genauere Berechnung mit realitätsnahen Ergebnissen können thermisch dynamische Gebäudesimulationsprogramme angewandt werden. Für die vorliegende Arbeit wird eine Analyse mit Thesim 3D durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein 3D-Online-Simulations-Tool, das durch eine einfache Handhabung schon im Entwurfsstadium zu realistischen Ergebnissen führen kann. Dabei wird das thermische Verhalten des Raumes im periodisch eingeschwungenen Zustand simuliert. Die Periodenlänge entspricht dabei einem als kritisch anzusehenden Tag. Dabei greift das Tool auf den Simulationskern des thermisch dynamischen Gebäudesimulationspaketes von GEBA V10.0 zu (thesim.at, 2018).

Es wurde wieder das Schlafzimmer in Top 18 auf Stiege 1 zur Berechnung herangezogen.

#### BESTAND

Im Bestand unterscheiden sich die eingegebenen Daten zu der Berechnung mit Archiphysik hinsichtlich der innenliegenden Verschattung, die in der aktuellen Version von Thesim 3D (Stand 18.02.2018) nicht angegeben werden kann. Zudem wurden genauere Angaben zu den internen Lasten durch Personen und Speicherbauteile (Möbel) gemacht: Da es sich um ein Schlafzimmer handelt, wurde davon ausgegangen, dass sich einer Person in der Nacht in dem Zimmer aufhält. Die Speicherbauteile wurden mit 10 m<sup>2</sup> (abgewinkelte Fläche) an Holzmöbeln angenommen.

Die Ergebnisse für den Bestand sind in Abbildung 151 zu sehen (Diagramm Linie B1). Die operative Maximaltemperatur beträgt 30,3 °C, die minimale operative Temperatur im Nachtzeitraum beträgt 28,5 °C. Die Ergebnisse sind also deutlich schlechter als jene der Berechnung mit Archiphysik (Maximaltemperatur: 27,89 °C, Minimaltemperatur: 25,93 °C).

Geht man davon aus, dass die Fenster wegen der Lärmbelastung durch die Obere Donaustraße in der Nacht geschlossen bleiben, steigt die Maximaltemperatur sogar auf 34,6 °C und die minimale operative Temperatur im Nachtzeitraum auf 33,5 °C. Wie man an der sehr flachen Linie für die operative Temperatur im Diagramm sehen kann, kühlt der Raum durch die fehlende Nachtlüftung kaum ab. (Diagramm Linie B2).

#### NEUE FASSADE

Die Berechnungen der Daten für die neue Fassade beinhalten wieder eine 20 cm dicke Wärmedämmung aus Steinwolle, eine Auskragung über und neben den Fenstern, Sonnenschutzgläser mit einem g-Wert von 0,25 und das kippen des Fensters in der Nacht. Dadurch sinkt die maximale operative Temperatur auf 27,0 °C und die minimale operative Temperatur

im Nachtzeitraum auf 26,2 °C. Die operative Maximaltemperatur entspricht somit den Vorgaben der ÖNORM B 8110-3:2012 für einen sommertauglichen Raum. Die minimale operative Temperatur im Nachtzeitraum sollte in Schlafräumen jedoch höchstens 25,0 °C betragen (Abbildung 152, Linie S1).

Versuch: Erhalten die Fenster keine Sonnenschutzverglasung beträgt die Maximaltemperatur im Raum 28,4 °C, die Minimaltemperatur 27,2 °C (Abbildung 152, Diagramm Linie S2).

Versuch: Auch mit einem zusätzlichen außenliegenden, wenig durchlässigen Sonnenschutz (FC 0,22), würde die nächtliche Minimaltemperatur nicht unter 25,0 °C sinken. Die operative Maximaltemperatur würde 26,4 °C betragen, die Minimaltemperatur 25,8 °C (Abbildung 152, Diagramm Linie S3).

Um die operativen Temperaturen im Nachtzeitraum zu senken kann u.a. die nächtliche Lüftung verbessert werden.

## 6.7.4. NACHTLÜFTUNG

Das österreichische Klima eignet sich sehr gut für eine passive Kühlung durch die nächtliche Lüftung, da meist auch während der heißesten Sommertage die nächtlichen Temperaturen auf etwa 20 °C fallen. Bei der Nachtlüftung wird die kühle Luft genutzt, um die im Laufe des Tages erwärmten Gebäudemassen in der Nacht zu kühlen. Durch die Fenster oder Lufteinlässe durchströmt die kühle Nachtluft das Gebäude und entzieht dem Gebäude die in der Gebäudemasse gesammelte Wärme. Die Rahmenbedingungen für eine effiziente Nachtlüftung bilden, neben einer begrenzten Wärmelast, eine erhöhte Luftwechselzahl und auch das Vorhandensein einer hohen Speicherkapazität. Die Speichermassen dürfen dabei nicht durch Decken oder Wandverkleidungen vom Rauminnenen entkoppelt sein. Die Luftbewegungen entstehen durch Druckdifferenzen zwischen der Gebäudeaußenhülle und dem Innenraum. Die Druckdifferenzen können infolge von Temperaturunterschieden, durch erhöhten Winddruck oder mechanische Systeme entstehen. Dabei steigt der Luftwechsel bei erhöhtem Luftdruck. Übliche Lüftungskonzepte sind zum Beispiel die Querlüftung über Öffnungen an zwei verschiedene Fassadenseiten: Es entsteht ein Luftstrom durch den Überdruck auf der Windseite und den Unterdruck auf der Windschattenseite. Bei der Nutzung des sogenannten Kamineffektes steigt die warme Luft infolge von Temperaturunterschieden im Inneren des Gebäudes auf und entweicht im Bereich des Daches (Zürcher, Frank, 2014: S.103ff).

In dem analysierten Raum wird die speicherwirksame Masse in den angrenzenden Wänden aus Vollziegel und der Decke gebildet. Die oberste Schicht des Bodens besteht aus Holz und besitzt somit keine hohe Speicherkapazität. Auch die leichten Zwischenwände haben keine hohe speicherwirksame Masse. Insgesamt beträgt sie in diesem Raum

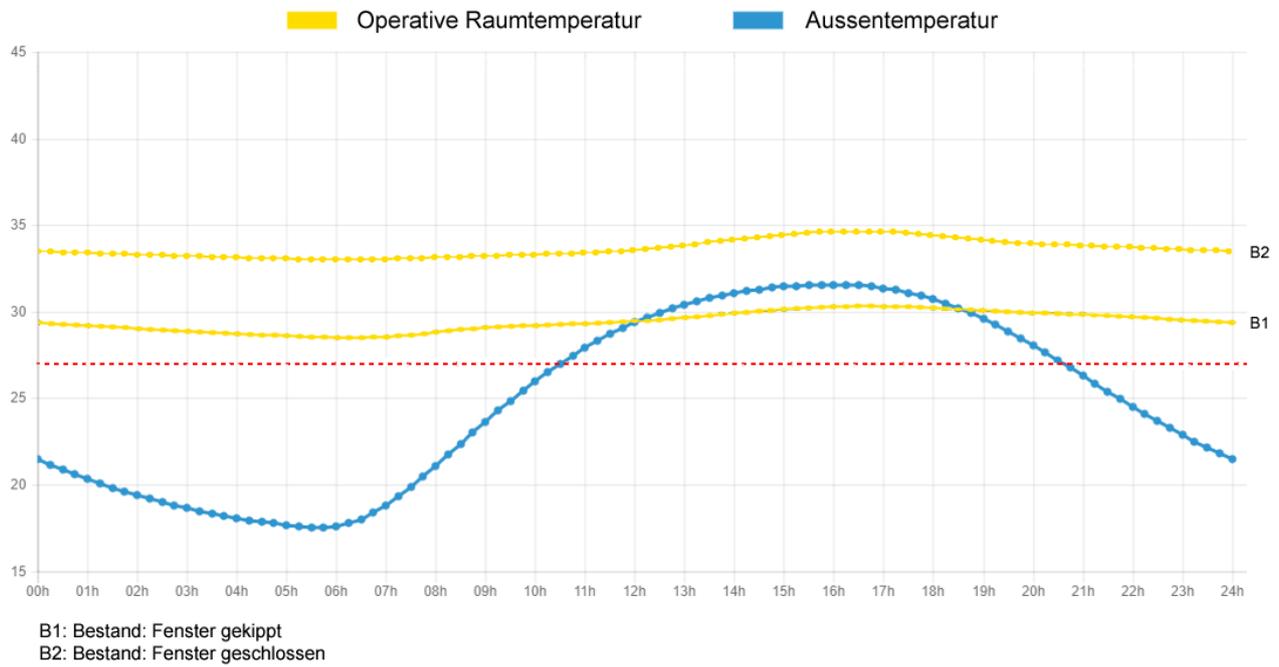


Abbildung 151: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim - Bestand

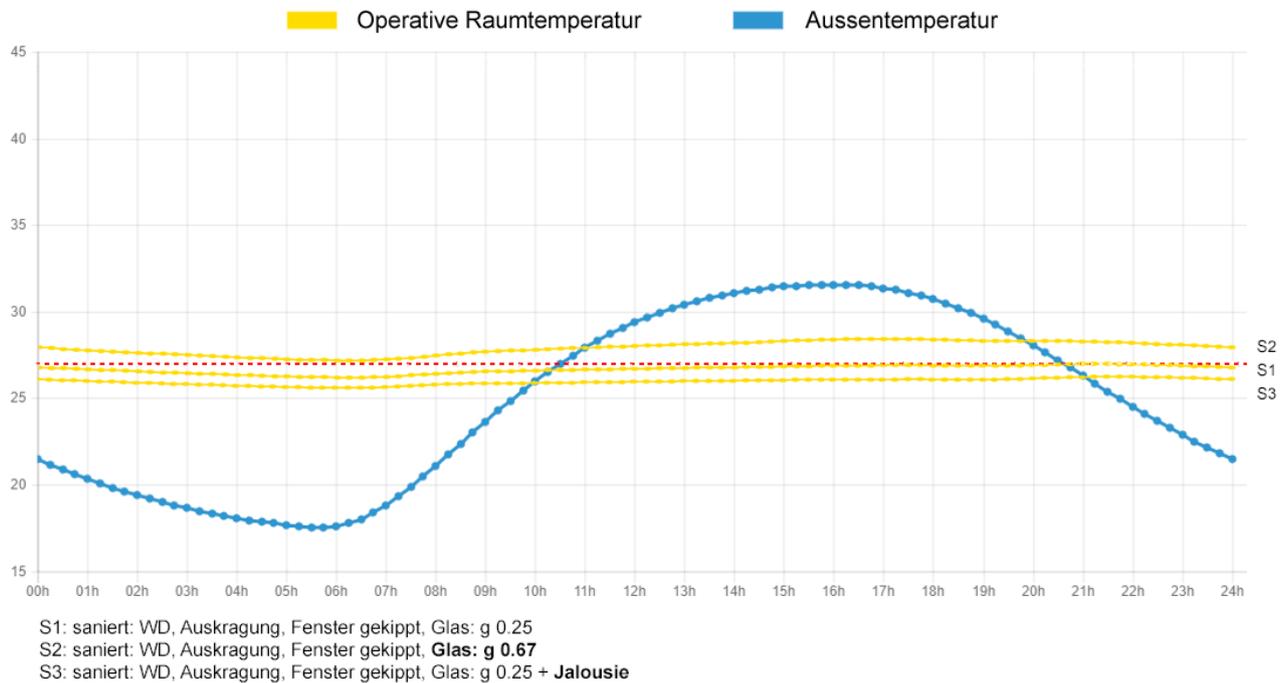


Abbildung 152: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim - Neue Fassade

3987 kg. Da der Umbau der Innenräume nicht geplant wird, ist eine Erhöhung der speicherwirksamen Masse nicht möglich.

Der Luftwechsel ist im Bestand über die geöffneten Fenster möglich. Wären die Fenster in der Nacht nicht gekippt, sondern 90° geöffnet, würden die Temperaturen stark sinken. Die operative Höchsttemperatur würde nur mehr 23,6 °C betragen und in der Nacht auf 21,7 °C fallen (Abbildung 153, Linie S4).

Um die Vorgaben der ÖNORM B 8110-3:2012 zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung in diesem Raum einzuhalten und diesen als sommertauglich beurteilen zu können, muss eine Luftwechselzahl von 2,5 in der Nacht erreicht werden. Die maximale operative Temperatur beträgt dadurch 26,4 °C und die minimale operative Temperatur im Nachtzeitraum sinkt auf 25,0 °C (Diagramm Linie S7).

Werden die Fenster in der Nacht nicht geöffnet, steigen die Temperatur auf 32,5 °C und kann auch in der Nacht kaum noch sinken (Diagramm Linie S5). Die tatsächlichen Temperaturen sind also stark vom Nutzerverhalten abhängig.

Wie die Bestandsanalyse gezeigt hat, ist durch die Lage an der Oberen-Donastraße mit einer erhöhten Lärmbelastung zu rechnen. Um den Raum in der Nacht trotz Lärmbelastung zu kühlen, kann eine Nachtlüftung mit Schalldämmung in z.B. den Blendrahmen der neuen Fenster integriert werden. Hier wird unterschieden zwischen freier Lüftung und mechanischer Lüftung: Bei der freien Nachtlüftung ist die Luftwechselzahl von der Größe der Öffnungen und dem Druckunterschied abhängig. Für einen kontinuierlichen Luftwechsel können selbstregulierende Außenklappen auf Winddruckänderungen reagieren und störende Zugluft verhindern. Bei der mechanischen Lüftung werden hingegen Ventilatoren für den Luftwechsel verwendet. Neben schalldämmten Ausführungen können in diesen Systemen auch Pollen- und Feinstaubfilter installiert werden.

Mit der neuen Fassade können die Temperaturen wie gezeigt deutlich gesenkt werden. Werden die Fenster im Nachtzeitraum jedoch nicht geöffnet, können die Räume nicht abkühlen und die Temperaturen steigen auch mit der neuen Fassade auf 32,5 °C an. Um die Temperaturen im Nachtzeitraum trotz des erhöhten Lärmpegels zu senken ist darum eine Nachtlüftung mit Schalldämmung eine sinnvolle Maßnahme, die außerdem durch Pollen- und Feinstaubfilter die Luftqualität verbessern kann.

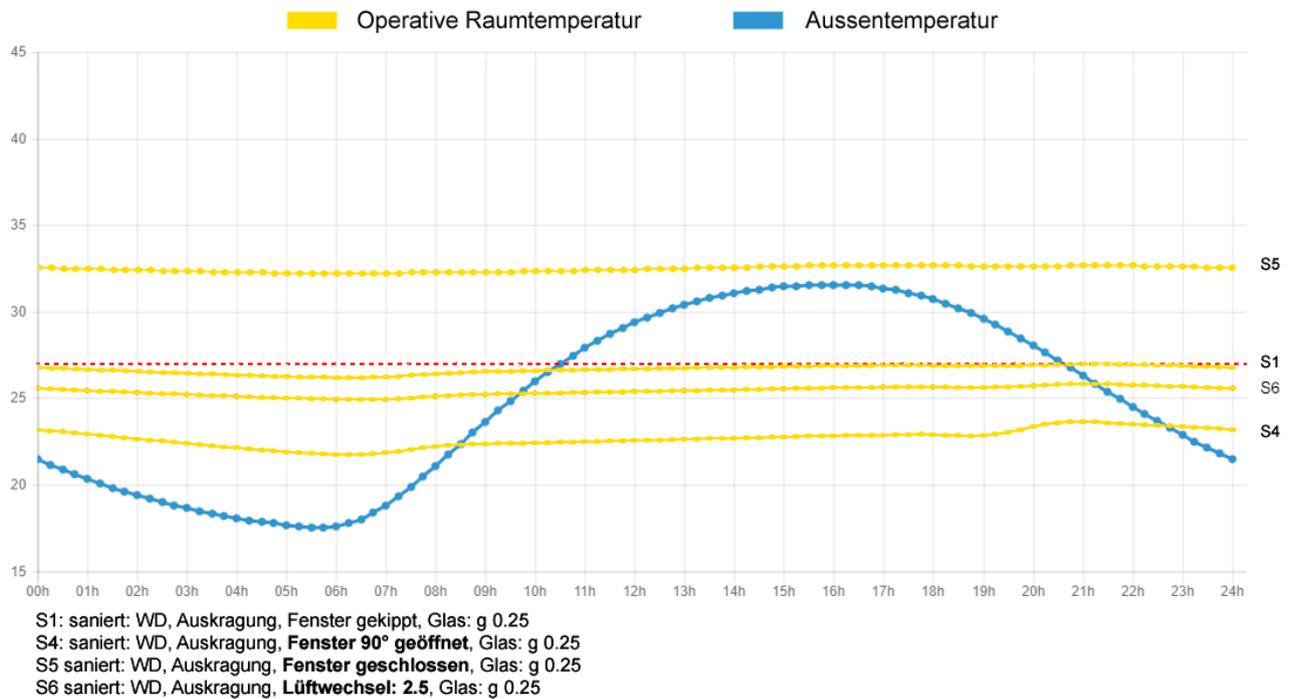


Abbildung 153: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim - Nachtlüftung

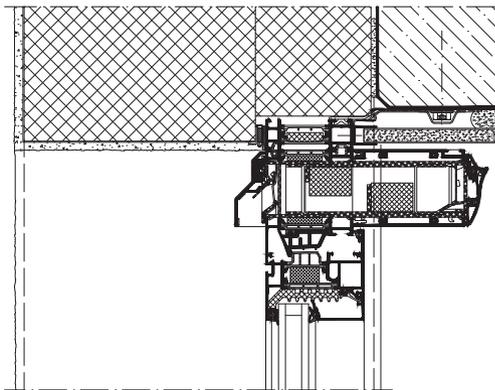


Abbildung 154: Beispiel freie Lüftung mit Schalldämmung im Blendrahmen

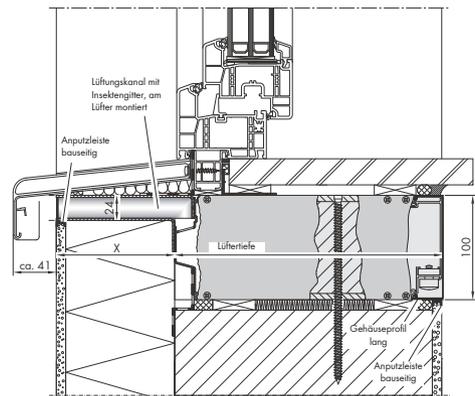


Abbildung 155: Beispiel freie Lüftung mit Schalldämmung im Brüstungsbereich

## 6.8. DETAILS

An der Fassade befinden sich sowohl PV-Module als auch Module für die Fassadenbegrünung. Sie sind auf einer Unterkonstruktion aus vertikalen und horizontalen Tragprofilen montiert. Die Unterkonstruktion wird mit thermisch getrennten Winkelprofilen an dem bestehenden Mauerwerk montiert.

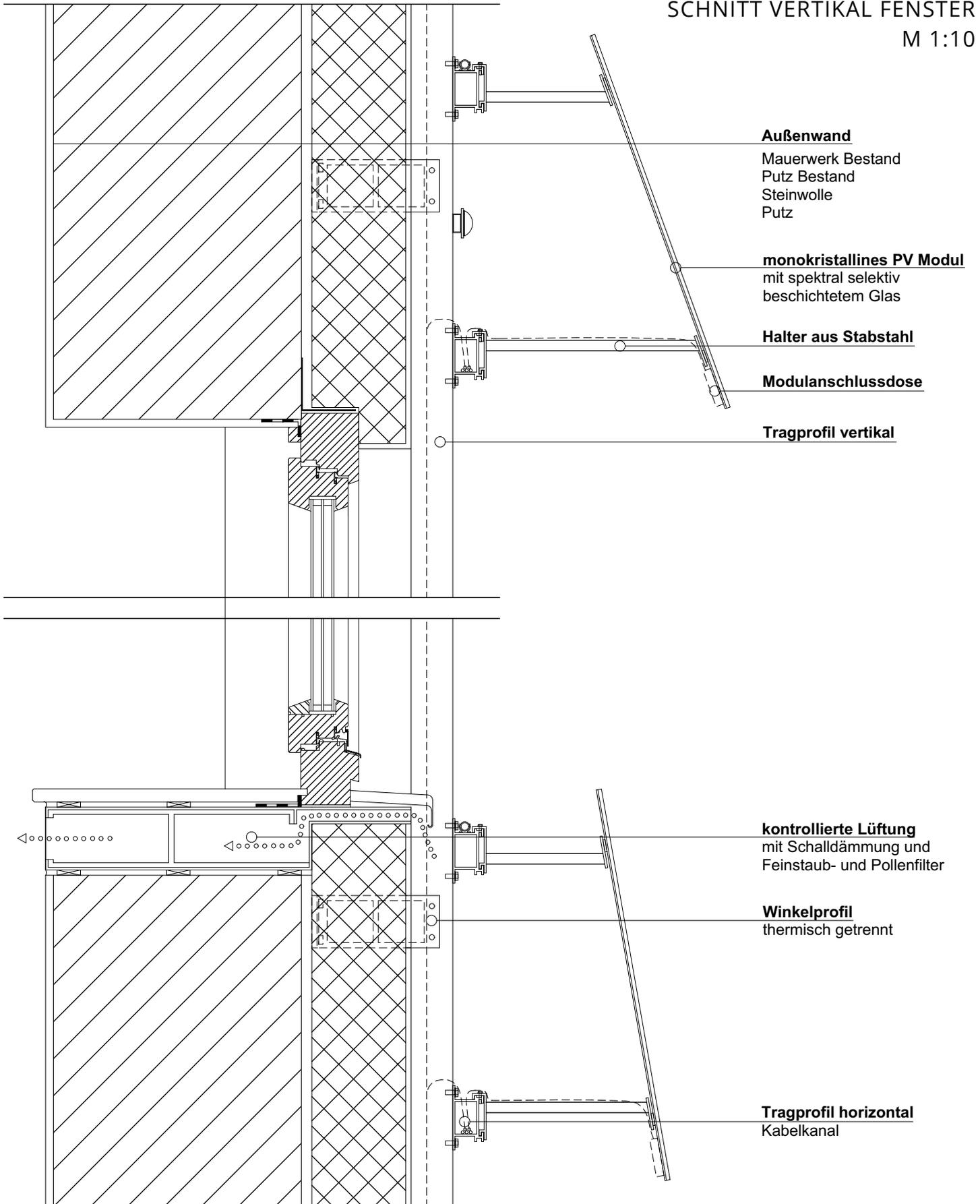
Die rahmenlosen PV-Module aus spektral selektiv beschichtetem Glas sind mittels Haltern aus Stabstahl in unterschiedlichen Winkeln befestigt. Die Tragprofile dienen zusätzlich als Kabelkanal für die Verkabelung der Photovoltaik.

Die Fassadenkörbe aus Aluminium haben eine geflochtene Front mit Aussparungen für Bepflanzungen. Sie sind fertig befüllt (mit einem Kapillarvlies zur Wasserverteilung, einem Substratersatz und einer Deckschicht) in die Unterkonstruktion eingehängt. Auch die Bepflanzung kann schon im Vorfeld erfolgen.

In einer rundumlaufenden Verblendung sind der Bewässerungsschlauch für die Tropfbewässerung und eine Entwässerungsrinne untergebracht. Die Zuleitungen für die Bewässerung verlaufen in Klemmprofilen parallel zu den Tragprofilen. Das Abwasser gelangt von den Entwässerungsrinnen über Schläuche in die vertikalen Tragprofile, die zugleich als Fallrohre dienen.

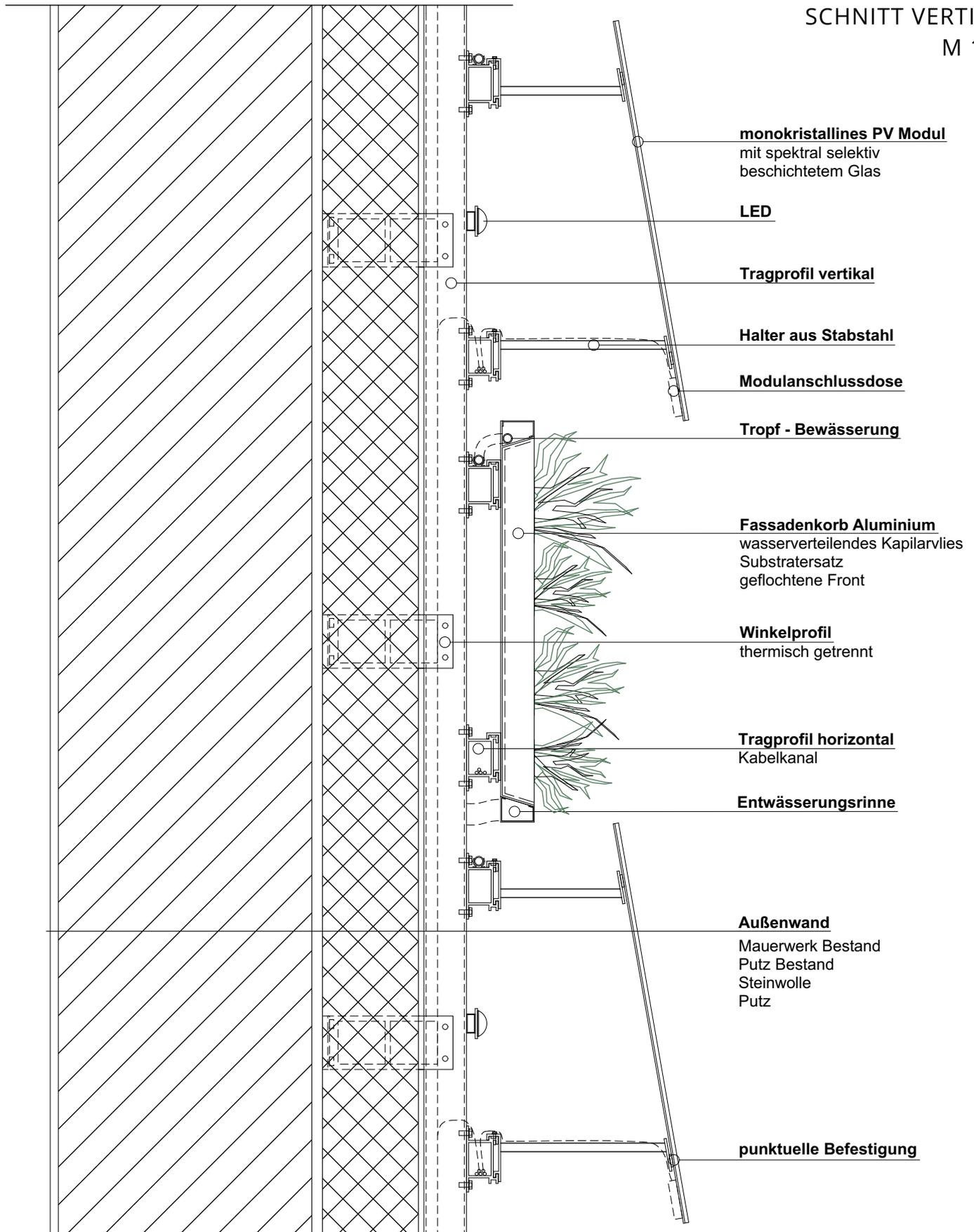
# SCHNITT VERTIKAL FENSTER

M 1:10

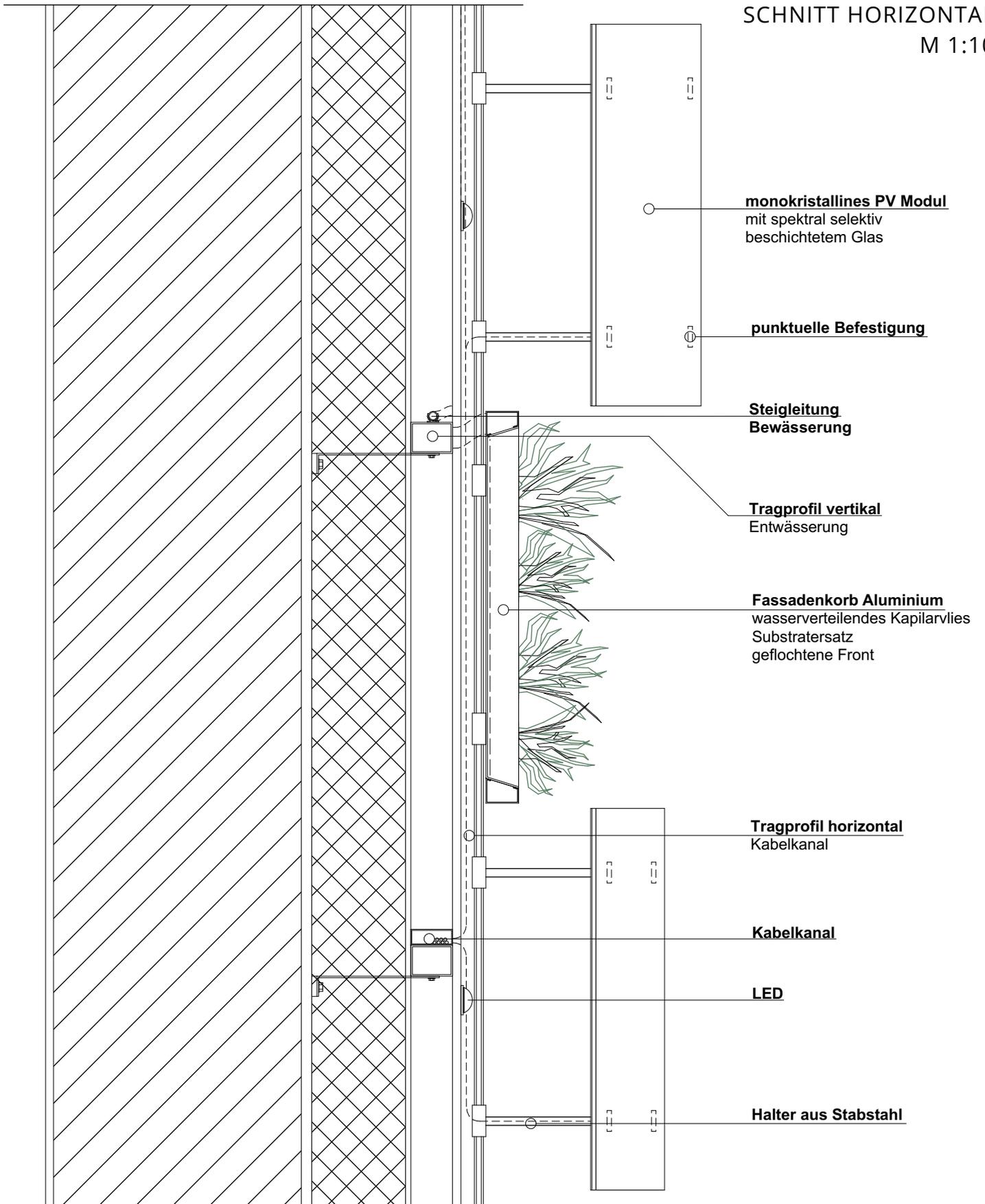


# SCHNITT VERTIKAL

M 1:10



SCHNITT HORIZONTAL  
M 1:10



# 7. ZUSAMMENFASSUNG UND RESÜMEE

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, unter dem Einsatz von Photovoltaik-Modulen und Begrünung die Fassade des im zweiten Wiener Bezirk gelegenen Georg-Emmerling-Hofs neu zu gestalten und dabei den Fokus im Kontext anhaltender Klimaveränderungen auf nachhaltige Energieerzeugung zu legen. Es galt, das Bestandsgebäude hinsichtlich seines Erscheinungsbildes eingebettet in der Umgebung, seiner Energieeffizienz, der baulichen Substanz und der örtlichen Voraussetzungen – wie Verschattung, sommerliche Überwärmung und Lärmimmission – zu analysieren. Darauf aufbauend wurde eine Fassadenlösung entwickelt, die die Technik der Photovoltaik optimal an diese Gegebenheiten anpasst und in einer Symbiose mit Fassadenbegrünung positive Auswirkungen auf das Klima innerhalb des Gebäudes sowie auf das Stadtklima hat.

Ein wesentlicher Fokus wurde in der Arbeit auch auf die Gestaltung der Fassade gelegt: Einerseits, um auf die umliegenden Gebäude zu reagieren und andererseits, um aufzuzeigen, dass mit neuesten Technologien der Photovoltaik-Module gestalterisch individuelle Lösungen möglich sind. Auch die Beleuchtung der Fassade bildet eine gute Ergänzung zu den vielen bereits vorhandenen Lichtinstallationen in der Umgebung.

## BESTANDSGEBÄUDE: DER GEORG-EMMERLING-HOF

Der Georg-Emmerling-Hof ist eine in den 50er Jahren erbaute Wohnhausanlage. Sie umfasst 8 Stiegen mit bis zu 9 Geschossen, in denen sich größtenteils Wohnungen aber auch einige Büros und Geschäftslokale befinden. Die zweigeschossige Sockelzone ist mit vielen Zierelementen versehen. Durch die Lage direkt am Donaukanal vis-a-vis des sehr belebten Schwedenplatzes und die Größe des Gebäudes ist es sehr präsent.

Die Bestandsanalyse des Georg-Emmerling-Hofs zeigte, dass die Fassaden an der Oberen Donaustraße gut für eine PV-Anlage geeignet sind: Sie sind nicht durch umliegende Gebäude verschattet, sind nach Süden ausgerichtet und weisen eine große Fläche auf.

## EINSATZ VON PHOTOVOLTAIK-MODULEN

Wie in der Arbeit dargestellt wurde, erlauben neue Entwicklungen mittlerweile ein großes Spektrum an Gestaltungsmöglichkeiten von PV-Modulen, wodurch sich ihr Einsatz auf Fassaden immer besser mit ästhetischen Ansprüchen vereinbaren lässt. Beim Entwurf wurde versucht, den Georg-Emmerling-Hof zum einen in die von Glasfassaden geprägte Umgebung visuell einzugliedern und zum anderen die Charakteristika des 50er-Jahre-Baues aufrecht zu erhalten. Für die Fassade des Georg-Emmerling-Hofs werden in weiterer Folge rahmenlose Module mit spektral selektiv beschichteten Gläsern in grau angedacht. Diese Gläser nutzen das Prinzip der Interferenz und lassen ihren Farbton je nach Blickwinkel des Betrachters anders erscheinen. Um diesen Effekt zu nutzen, werden die PV-Module mit verschiedenen Neigungswinkeln

montiert, wodurch der Eindruck einer Glasfassade in unterschiedlichen Graustufen entsteht. Die beschichteten Gläser sind zwar mit einem etwas geringeren Ertrag verbunden, durch die Gestaltungsmöglichkeiten kann die Fassade jedoch eine visuelle Aufwertung des Gebäudes sowie des umgebenden öffentlichen Raumes bewirken und somit bestenfalls auch zu einer höheren Akzeptanz der PV-Fassade führen. Ein Vorteil der helleren Moduloberflächen ist außerdem, dass sie sich weniger stark erwärmen, was dem Gebäude und der direkten Umgebung zugutekommt.

Die Ausrichtung der einzelnen PV-Module erfolgte auf Basis verschiedener Anforderungen: Die Module sollen die Fenster ausreichend verschatten, unterschiedliche Farbtöne durch die spektral selektiv beschichteten Gläser erzeugen einen möglichst hohen Ertrag erzielen. Die Analyse zeigte, dass schon eine Neigung von 10° zur Vertikalen eine deutlich erhöhte Effizienz bewirkt. Dabei wurde bei der Anordnung und Ausrichtung der Module und Grünflächen darauf geachtet, Teilverschattungen – die mit hohen Verlusten verbunden sind – zu minimieren.

Bei Photovoltaik handelt es sich um eine fluktuierende Stromquelle: Zur Mittagszeit wird am meisten Strom produziert und in der Nacht gar keiner. Das deckt sich jedoch nicht mit dem Bedarf, so ist etwa am Wochenende der Verbrauch zur Mittagszeit gering und am Abend wiederum hoch. Um die Netze nicht übermäßig zu belasten, wird daher die zeitliche Übereinstimmung von Stromproduktion und Verbrauch immer wichtiger. Um hier Abhilfe zu leisten, werden oft Stromspeichern eingesetzt, was jedoch mit hohen Investitionen und einem etwas geringeren Wirkungsgrad des Gesamtsystems verbunden ist.

Mit der Novellierung des ElWOG (Elektrizitätswirtschafts- und -Organisationsgesetz), wurde die gemeinschaftliche Nutzung von PV-Anlagen in Mehrfamilienhäusern und in weiterer Folge ein deutlich höherer Eigenverbrauch möglich. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass durch die Koppelung von Haushalten und Geschäftslokalen mit unterschiedlichen Verbrauchsprofilen – sogenannte Eigenlast Cluster – der Strom aus PV-Anlagen möglichst effizient genutzt werden kann (Leber, Xypolytou, Prügler u.a., 2016: S. 61). Durch die Größe und den Nutzungsmix des Georg-Emmerling-Hofs mit 208 Wohnungen, Büros und Geschäftslokalen wird deshalb mit einem stetig hohen Eigenverbrauch gerechnet, weshalb kein Energiespeicher vorgesehen ist. Der Strom für die nächtliche Fassadenbeleuchtung muss aus diesem Grund jedoch vom öffentlichen Netz bezogen werden.

## FASSADENBEGRÜNUNG

Der zweite Schwerpunkt der Arbeit lag in der Kombination der PV-Module mit Fassadenbegrünung. Pflanzen tragen wesentlich zur Verbesserung des Stadtklimas bei, insbesondere hinsichtlich des Klimawandels sowie der Ausbildung städtischer Hitzeinseln ist die Begrünung von Gebäuden

zu forcieren. Auch für das Klima des jeweiligen Gebäudes bringt die Begrünung eine Reihe von Vorteilen mit sich: Sie trägt zur Kühlung des Gebäudes und der direkten Umgebung bei, verbessert die Luftqualität, verringert die Kanalbelastung durch den Regenwasserrückhalt, reduziert die Lärmbelastung, schützt die Fassade vor Witterungsverhältnissen, erhöht die Aufenthaltsqualität des angrenzenden öffentlichen Raumes und bietet einen Lebensraum für Vögel und Insekten (Dettmar, Pfoser, Sieber, 2016: S. 11f; Pfoser, 2016: S. 74; ÖkoKauf Wien, 2013: S. 10).

Im vorliegenden Entwurf wurden fassadengebundene Begrünungsmodule verwendet, die die gleichen Abmessungen wie die PV-Module besitzen. Die Photovoltaik-Module und die Fassadenbegrünungen werden innerhalb eines Musters aneinander angrenzend montiert und bilden sozusagen eine Symbiose: Die Photovoltaik-Anlage versorgt die Bewässerungsanlage mit Energie während die Effizienz der PV-Module durch die adiabate Kühlung der Pflanzen erhöht wird.

Wegen der extremen Standortbedingungen – Sonnen- und Windaufkommen sowie Höhe des Gebäudes –, der vertikalen Lage und der geringen Aufbaudicke der Substratersatzschicht benötigt die fassadengebundene Begrünung eine Bewässerungsanlage. Um den Wasserverbrauch möglichst gering zu halten, wird für die Bewässerung Regenwasser in einer Zisterne gesammelt und anhand eines Kreislaufsystems genutzt.

Auch bei der Pflanzenwahl mussten die Standortbedingungen berücksichtigt werden. Für die Bepflanzung werden in weiterer Folge unterschiedliche Sedum Arten verwendet, die sich neben ihrer Robustheit aufgrund ihrer geringen Wuchshöhe – um die angrenzenden PV-Module nicht zu verschatten – und ihres immergrünen Laubs besonders gut eignen. Während die PV-Module je nach Blickwinkel in unterschiedlichen Graustufen erscheinen, ändert die Fassadenbegrünung ihr Aussehen je nach Jahreszeit. Die Farbe des Laubs der Sedum-Arten ändert sich im Jahresverlauf von grün bis rot-braun und in den Sommermonaten wachsen weiße und blassrote Blüten.

## THERMISCHE SANIERUNG

Ein großer Teil des Energieverbrauchs in den Industriestaaten ist noch immer auf den Energiebedarf von Gebäuden zurückzuführen. Dabei bieten Bestandsgebäude aus den 1950er bis in den 1970er-Jahren ein großes Potential für Energieeinsparungen. Um die Energieeffizienz des Georg-Emmerling-Hof zu erhöhen und die damit verbundenen Emissionen zu verringern, wird die Gebäudehülle auch thermisch saniert. Hier können durch das Dämmen des Gebäudes die Anforderungen eines Niedrigstenergiegebäudes (bei größeren Renovierungen) erreicht werden, womit die Anforderungen der OIB 6 Richtlinie für 2020 erfüllt sind. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes kann durch die thermische Sanierung um 71 % reduziert werden. Die Photovoltaikanlage kann einen Teil des Hauses

darüber hinaus mit erneuerbarer Energie versorgen. Auf die Kennzahlen des Energieausweises wirkt sich die PV-Anlage jedoch nur geringfügig aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die durch die PV-Anlage produzierte Energie für die Stromversorgung und nicht für die Wärmebereitstellung eingesetzt wird, die stark ausschlaggebend für die Berechnung der Energieeffizienz-Kennzahlen ist.

Die sommerliche Überwärmung in den Innenräumen kann durch die neue Fassade deutlich gesenkt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden anhand der Analyse eines kritischen Raumes an der Südfassade Berechnungen zur sommerlichen Überwärmung durchgeführt. Dabei wurde das Raumklima im Bestand mit jenem mit der neuen Fassade verglichen. Die Temperaturen sind stark von dem Lüftungsverhalten der Nutzer abhängig. Wird der analysierte Raum in der Nacht nicht belüftet, kann er nicht abkühlen und die Temperaturen steigen trotz der neuen Fassade stark an. Aufgrund der Lärmbelastung durch die Lage an der Oberen Donaustraße und nahe dem Schwedenplatz ist darum eine Nachtlüftung mit Schalldämmung vorgesehen, die zusätzlich durch Pollen- und Feinstaubfilter die Luftqualität verbessert.

## RESÜMEE

Im vorliegenden Entwurf wurde eine Fassadengestaltung für den Georg-Emmerling-Hof entworfen, die unter der Voraussetzung, nachhaltig Strom zu produzieren sowie das Gebäude- und Stadtklima positiv zu beeinflussen auch ästhetischen Ansprüchen genügen soll.

Durch die Kombination von Photovoltaik-Modulen – die durch den aktuellen Stand der Technologie einen großen Spielraum für die visuelle Gestaltung bieten – mit Fassadenbegrünung ist es gelungen, das Erscheinungsbild des Georg-Emmerling-Hofs deutlich aufzuwerten und diesen besser in die Umgebung einzugliedern.

Im Kontext des voranschreitenden Klimawandels ist die nachhaltige Energiegewinnung zu forcieren. Im vorliegenden Entwurf konnte außerdem die Energieeffizienz des Gebäudes durch eine thermische Sanierung verbessert werden. Des Weiteren wirken sich die PV-Module durch Verschattung sowie die Begrünung durch ihre kühlende Wirkung auf positiv das Gebäude- und Stadtklima aus. Auch der Schallschutz konnte erhöht werden. Die Kombination von Photovoltaik und Begrünung scheint sinnvoll, da diese voneinander profitieren.

Alles in allem konnten die gesetzten Ziele erreicht werden. Gleichzeitig wurde im Rahmen der Recherche für die vorliegende Arbeit ersichtlich, dass die Verwirklichung ebendieser Kombination noch am Anfang steht und noch Forschung bezüglich der technischen und wirtschaftlichen Umsetzung notwendig ist.

## LITERATURVERZEICHNIS

Amann, Wolfgang (2007): Massiv-Bauweise im sozialen Wohnbau in Wien. Wien: IIBW - Inst. für Immobilien Bauen und Wohnen.

Bauer, Barbara (Hg.) (2011): Alles plus? Das muntere Sprießen der Gebäudekonzepte ; Tagungsband ; BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, 17.-18. Februar 2011, Messezentrum Wien. Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie; BauZ!; Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen. Wien: IBO-Verl. Online verfügbar unter [http://www.ibo.at/de/publikationen/documents/2011\\_BauZ\\_tagungsband\\_klein.pdf](http://www.ibo.at/de/publikationen/documents/2011_BauZ_tagungsband_klein.pdf).

Baumschule Horstmann: Album Superbum. Online verfügbar unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/9143/Schneeteppich-Fettblatt-Album-Superbum.html>.

Baumschule Horstmann: Sedum album 'Coral Carpet'. Online verfügbar unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11269/Rotmoos-Mauerpfeffer-Coral-Carpet.html>.

Baumschule Horstmann: Sedum album 'Murale'. Online verfügbar unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11272/Weisser-Mauerpfeffer-Murale.html>.

Baumschule Horstmann: Sedum spurium 'Fuldaglut'. Online verfügbar unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/11189/Teppich-Fettblatt-Fuldaglut.html>.

Boeck, Rudolf (1953): Die neue Marienbrücke in Wien. In: Der Aufbau.

Bott, Helmut; Grassi, Gregor (2013): Nachhaltige Stadtplanung. Konzepte für nachhaltige Quartiere. s.l.: DETAIL (DETAIL Spezial). Online verfügbar unter [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbnissn&q\\_0=9783955531942&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783955531942&searchTitles=true).

Böttner, Rudolf; Fischer, Reinhard; Kuhr, Detlef (2012): Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete. Online verfügbar unter <http://docplayer.org/51056620-Abgrenzung-und-intensitaet-der-urbanen-hitzeinsel-und-der-ueberwaermungsgebiete.html>.

Bruckmayer, Friedrich (1952): Ziegelbruchbeton für den Städtischen Wiederaufbau. In: Der Aufbau.

Brunner, Karl; Schneider, Petra (Hg.) (2005): Umwelt Stadt. Geschichte des Natur- und Lebensraumes Wien. Wien: Böhlau (Wiener Umweltstudien, 1).

Buchmann, Bertrand Michael; Sterk, Harald; Schickl, Rupert (1984): Der Donaukanal. Geschichte - Planung - Ausführung. Wien: Magistrat d. Stadt Wien, Geschäftsgruppe Stadtentwicklung u. Stadterneuerung, MA 19 - Stadtgestaltung.

Climate Service Center (2012): Albedo. Online verfügbar unter [http://www.climate-service-center.de/products\\_and\\_publications/publications/detail/062675/index.php.de](http://www.climate-service-center.de/products_and_publications/publications/detail/062675/index.php.de).

Czeike, Felix (1993): Historisches Lexikon Wien. In 6 Bänden. Wien: Kremayr & Scheriau.

Denk, Marcus (2008): Zerstörung als Chance? Städtebauliche Grundlinien, Leitbilder und Projekte in Wien 1945 - 1958. Duisburg: WiKu-Verl.

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (Hg.) (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz.

Dvorak, Eva (2016): PV im dichtverbauten Gebiet – Treiber und Hemmnisse aus Sicht der Stadt Wien. In: Präsentation der MA 20 Energieplanung Wien.

Europäische Kommission (2018): Pariser Übereinkommen. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de).

Gabriele Kaiser (2003): Büro- und Geschäftshaus k47. Hg. v. Architekturzentrum Wien. Wien. Online verfügbar unter <http://www.nextroom.at/building.php?id=3703>.

Hagemann, Ingo Bert (2002): Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2001. - Unveränd. Druck der Dissertationsschrift "Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Systeme. Köln: Müller.

Hermannsdörfer, Ingrid; Rüb, Christine (2005): Solardesign - Photovoltaik für Altbau, Stadtraum, Landschaft. Solardesign - photovoltaics for Old Buildings, Urban Space, Landscapes. Berlin: Jovis.

Hornbachner, Dieter (2009): Elektrische Komponenten. HEI Eco Technology GmbH. Online verfügbar unter [http://www.solarfassade.info/de/grundlagen/komponenten/elektr\\_komponenten.php](http://www.solarfassade.info/de/grundlagen/komponenten/elektr_komponenten.php).

Klein, Dieter; Kupf, Martin; Schediwy, Robert (2005): Stadtbildverluste Wien. Ein Rückblick auf fünf Jahrzehnte. 3. Aufl.

Köhler, Manfred (2012): Historie und positive Wirkungen von Fassadenbegrünungen. Online verfügbar unter <http://www.biotope-city.net/article/historie-und-positive-wirkungen-von-fassadenbegr-nungen>.

Koller, Rudolf (1965): Rückblick und Vorschau. Der Aufbau 1. Wien: Stadtbauamt Wien.

Kos, Wolfgang (1994): Eigenheim Österreich. Zu Politik, Kultur und Alltag nach 1945. Wien: Sonderzahl-Verl.-Ges.

Krippner, Roland (Hg.) (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books).

Kritsch, Josef (1947): Wiener Baustoffverteilung 1946. Der Aufbau 7: Stadtbauamt Wien.

Kühn, Christian (2001): Flach auf dem Bauch. In: Die Presse 2001, 26.05.2001.

Kuttler, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. En vironmental Sciences Europe, Vol. 23, Issue 21.

Kuzmany, Marion (2011): PS1. Hg. v. Architekturzentrum Wien. Wien. Online verfügbar unter <http://www.nextroom.at/building.php?id=34454>.

laerminfo.at (2017): Straßenverkehr. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Online verfügbar unter <http://www.laerminfo.at/laermkarten/strassenverkehr.html>.

Lebhart, Gustav (2015): Wien im Querschnitt der Zeit. Ergebnisse aus der Registerzählung 2011, Teil 1: Gebäude- und Wohnungszählung. Wien: Magistrat der Stadt Wien, MA 23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik (Statistik Journal, 2015,2).

Lichtenberger, Elisabeth; Bobek, Hans (1966): Wien. Bauliche Gestalt und Entwicklung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. Köln/Wien: Böhlau Verlag (Schriften der Kommission für Raumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 1). Online verfügbar unter [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbnissn&q\\_0=9783205100775&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783205100775&searchTitles=true).

Löfken, Jan Oliver (2017): Neuer Rekord: Silizium-Solarzelle erreicht 26,6 Prozent Wirkungsgrad. Prototyp mit Rückkontakten nähert sich dem theoretischen Maximum von 29,1 Prozent. Online verfügbar unter [http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Neuer\\_Rekord\\_\\_Silizium\\_Solarzelle\\_erreicht\\_26\\_6\\_Prozent\\_Wirkungsgrad1771015590339.html](http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Neuer_Rekord__Silizium_Solarzelle_erreicht_26_6_Prozent_Wirkungsgrad1771015590339.html).

Lüling, Claudia (Hg.) (2009): Energizing architecture. Design and photovoltaics. Berlin: Jovis.

Mahabadi, Mehdi; Arenz, Anna (Hg.) (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Aus der Arbeit des AK "Fassadenbegrünungen". Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau; Fachverband Baustoffe und Bauteile für Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden. 2. überarb. Aufl., Ausg. 2000. Bonn: FLL.

Marchart, Peter (1984): Wohnbau in Wien : 1923 - 1983. Wien: Compress Verl.

Nackler, Joachim: Thesim. Online verfügbar unter <http://www.thesim.at/>.

Passivhaus Institut (2018): Qualitätsanforderungen an Passivhäuser. Passivhaus Institut. Online verfügbar unter [http://www.passiv.de/de/02\\_informationen/02\\_qualitaetsanforderungen/02\\_qualitaetsanforderungen.htm](http://www.passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm).

Penaranda Moren, María Soledad; Korjenic, Azra (2017 b): Green buffer space influences on the temperature of photovoltaic modules. In: *Energy and Buildings* 146, S. 364–382.

Penaranda Moren, María Soledad; Korjenic, Azra (2017 a): Hotter and colder – How Do Photovoltaics and Greening Impact Exterior Facade Temperatures. The synergies of a Multifunctional System. In: *Energy and Buildings* 147, S. 123–141.

Pfoser, Nicole (2016): Fassade und Pflanz. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Diss. Fachbereich Architektur. TU Darmstadt.

Preiss, Jürgen (2013): Leitfaden Fassadenbegrünung. Unter Mitarbeit von Verband für Bauwerksbegrünung Österreich und Universität für Bodenkultur Wien, MA 22 Wien. Hg. v. Stadt Wien. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegrueung-leitfaden.pdf>.

PV Austria (2018): Erläuterung zu "Elektrisches Lastmanagement". Bundesverband PHOTOVOLTAIC AUSTRIA. Online verfügbar unter [http://pvaustria.at/sonnenklar\\_rechner/hilfe/elektrischeslastmanagement.htm](http://pvaustria.at/sonnenklar_rechner/hilfe/elektrischeslastmanagement.htm).

PVP Photovoltaik: Fassaden-Modul Bunt im Verbund. PVP Photovoltaik. Online verfügbar unter <http://www.eb-praxis.com/2016/10/26/aktive-glasfassade-in-zuerich/#prettyPhoto/0/>.

Roberts, Simon; Guariento, Nicolò (2009): Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Ein Handbuch. Basel: Birkhäuser. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-0346-0489-5>.

Schoof, Jakob (2014): Die Quadratur des Kreises: weiße Photovoltaikmodule entwickelt. Detail.de. Online verfügbar unter <https://www.detail.de/artikel/die-quadratur-des-kreises-weisse-photovoltaikmodule-entwickelt-12693/>.

Schoof, Jakob (2017): Neue Gestaltungspotenziale für die Solarenergie. In: Detail Green (02/17), S. 48–55.

Schoof, Jakob (2017): Photovoltaik als Pixelbild: Internationale Schule in Kopenhagen. Detail.de. Online verfügbar unter <https://www.detail.de/artikel/photovoltaik-als-pixelbild-internationale-schule-in-kopenhagen-30884/>.

sonnenverlauf.de: Sonnenverlauf. Online verfügbar unter <https://www.sonnenverlauf.de/#/48.2131,16.3781,18/2010.06.21/13:00/1/0>.

strompreisliste.at: Der Strompreis in Österreich. Online verfügbar unter <https://stromliste.at/strompreis>.

Thomas Leber, Evangelia Xypolytou, Wolfgang Prügler, Max Blöchle, Sebastian Möller, Renate Teppner, Bettina Frantes (2016): Machbarkeitsanalyse zur Steigerung des Eigenlastgrads durch Gebäudecluster und aktive Speicher in Großschönau. Hg. v. Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Tscherteu, Gernot (2008): Media Facades Exhibition Berlin 2008. Online verfügbar unter [www.mediaarchitecture.org/files/compagnion08.pdf](http://www.mediaarchitecture.org/files/compagnion08.pdf).

Umweltbundesamt (2017): Klimaschutzbericht 2017. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0622.pdf>.

Umweltbundesamt (2018): Schalldruckpegel, energieäquivalenter Dauerschallpegel und Lärmindizes. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/laerm/schalldruckpegel>.

Umweltbundesamt (2018): Treibhausgas-Bilanz 2016. Online verfügbar unter [http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news\\_2018/Hintergrundinformation\\_THG-Bilanz2016.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news_2018/Hintergrundinformation_THG-Bilanz2016.pdf).

Weller, Bernhard (2009): Photovoltaik. Technik, Gestaltung, Konstruktion. 1. Aufl. München: Edition Detail (Detail Praxis). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=642097>.

Wiener Rathauskorrespondenz (Hg.) (1947): Die Vibroblockstein-Erzeugung. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/rk/historisch/1947/mai.html>.

Zschokke, Walter (2002): Redesign Diana. Rudolf Prohazkas Umgang mit dem Wiener Bauwirtschaftsfunktionalismus der Sechzigerjahre. In: Werk, Bauen + Wohnen (4), S. 54–57.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wettbewerbsergebnisse über Typengrundrisse für den sozialen Wohnungsbau 1950  
Marchart, Peter (1984): Wohnbau in Wien : 1923 - 1983. Wien: Compress Verl.: S. 86.

Abbildung 2: Duplex Wohnungen  
Marchart, Peter (1984): Wohnbau in Wien : 1923 - 1983. Wien: Compress Verl.: S. 86.

Abbildung 3: Wohnungsgrößen und -typen in den ersten Nachkriegsjahren  
Marchart, Peter (1984): Wohnbau in Wien : 1923 - 1983. Wien: Compress Verl.: S. 83.

Abbildung 4: Wohnungsgrößen und -typen 1952  
Marchart, Peter (1984): Wohnbau in Wien : 1923 - 1983. Wien: Compress Verl.: S. 83.

Abbildung 5: Lageplan Wien  
Eigene Darstellung

Abbildung 6: Lageplan Georg-Emmerling-Hof  
Eigene Darstellung

Abbildung 7: Ansicht der Stadt Wien 1490 mit dem Rotenturmtor  
Boeck, Rudolf (1953): Die neue Marienbrücke in Wien. In: Der Aufbau (19): S. 5.

Abbildung 8: Marienbrücke um 1913, Blick Richtung Obere Donaustrasse  
vienna-timeline.com (2013): Marienbrücke am Donaukanal um 1913. Abgerufen am 27.10.2017 unter <http://www.vienna-timeline.com/wp-content/uploads/2013/12/marienbr%C3%BCcke.jpeg>

Abbildung 9: Blick über die Marienbrücke Richtung Franz-Josef-Kai und Herminenhof 1906  
delcampe.net (2015): Ansichtskarte Wien Marien-Brücke, Franz Josef-Kai und Mo. Abgerufen am 12.11.2016 unter <http://imgl.aklex.de/26464a.jpg>

Abbildung 10: Entwurf Lois Wenzelbacher 1946  
Buchmann, Bertrand Michael; Sterk, Harald; Schickl, Rupert (1984): Der Donaukanal. Geschichte - Planung - Ausführung. Wien: Magistrat d. Stadt Wien, Geschäftsgruppe Stadtentwicklung u. Stadterneuerung, MA 19 – Stadtgestaltung.: S. 119.

Abbildung 11: Kriegsschäden um 1946  
wien.gv.at (2017): Wien Kulturgut. Abgerufen unter <https://www.wien.gv.at/kulturportal/public/grafik.aspx?bookmark=4-aFuRIPdK0ZmpQFEviqUQxwZICQ-b&lang=de&bmadr=>

Abbildung 12: Stadtplan 2018  
Eigene Darstellung

Abbildung 13: Kettenbrückensaal. Radierung von Johann Wenzel Zinke nach einer Zeichnung von Johann Christian Schoeller, 1827  
Czeike, Felix (1993): Historisches Lexikon Wien. In 6 Bänden. Wien: Kremayr & Scheriau: Band 3, S. 458.

Abbildung 14: Umgebung des Georg-Emmerling-Hofs  
alamy.com, Markus Schieder (2018). The Schwedenplatz. Abgerufen unter [www.alamy.com](http://www.alamy.com)

Abbildung 15: Lageplan Fassadengestaltung am Donaukanal  
Eigene Darstellung

Abbildung 16: Raiffeisen-Klimaschutz-Haus zwischen den Gebäuden von Georg Lippert  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 17: Dianabad und Marienbrücke vor dem 2. WK  
flickr.com (2014): Wien, Marienbrücke und Donaukanal. Abgerufen unter [https://c2.staticflickr.com/4/3836/14774117646\\_265bbec470\\_o.jpg](https://c2.staticflickr.com/4/3836/14774117646_265bbec470_o.jpg)

Abbildung 18: IBM-Zentrale und Marienbrücke  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 19: Glasfassade Raiffeisen Hochhaus  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 20: Glasfassade IBM-Zentrale  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 21: links der Brücke der Mediatower, rechts das PS1  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 22: PS1 Dachgeschoss  
deluxemedia.at (2014): Hotel Sofitel Vienna Stephansdom. Abgerufen unter <http://deluxemedia.at/hotel-sofitel-vienna-stephansdom-2>

Abbildung 23: PS 1 Beleuchtung  
Wikimedia.org (2017): Sofitel Wien. Abgerufen unter [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Sofitel\\_Wien.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Sofitel_Wien.jpg)

Abbildung 24: K47  
k47.at (2017): Fotos. Abgerufen unter [http://www.k47.at/images/foto\\_presse/aussen2.jpg](http://www.k47.at/images/foto_presse/aussen2.jpg)

Abbildung 25: Orientierungsplan Georg-Emmerling-Hof  
Eigene Darstellung

Abbildung 26: Georg-Emmerling-Hof, Google Earth  
google.at (2017): Google Maps. Abgerufen unter <http://www.google.at/maps>

Abbildung 27: Ansicht von Schwedenbrücke  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 28: Ansicht von Marienbrücke  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 29: Westansicht Stiege 1  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 30: Südfassade Stiege 7  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 31: Stiege 1 und Stiege 8  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 32: Hofansicht Stiege 8  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 33: Hof 3  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 34: Natursteinrelief „Fischer und Schiffer“  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 35: Natursteinrelief „Handel und Gewerbe“  
Eigene Aufnahme, 2018

Abbildung 36: Schnitt Hof  
Eigene Darstellung

Abbildung 37: Ansicht Obere Donaustrasse  
Eigene Darstellung

Abbildung 38: Ansicht Lilienbrunnngasse  
Eigene Darstellung

Abbildung 39: Grundriss Erdgeschoss  
Eigene Darstellung

Abbildung 40: Regelgrundriss  
Eigene Darstellung

Abbildung 41: Vergleich der Kompaktheit verschiedener Baukörper mit der Brutto-Grundfläche des Georg-Emmerling-Hof  
Eigene Darstellung

Abbildung 42: Schalungselemente für Stahlbeton-Rippendecken  
Amann, Wolfgang (2007): Massiv-Bauweise im sozialen Wohnbau in Wien. Wien: IIBW - Inst. für Immobilien Bauen und Wohnen: S. 65.

Abbildung 43: Vibro-Ziegel, Foto aus dem Ziegelmuseum Wien  
Eigene Aufnahme, 2017

Abbildung 44: Vibro-Anlage in Wien  
wien.gv.at (2017): Die Vibro-Blockstein-Erzeugung. Wiener Rathauskorrespondenz 1947. Abgerufen unter <https://www.wien.gv.at/rk/historisch/1947/mai.html>

Abbildung 45: Solare Gewinne des Bestandgebäudes  
Archiphysik 15.0

Abbildung 46: Lageplan  
Eigene Darstellung

Abbildung 47: Verschattungsanalyse Wintersonnenwende  
Eigene Darstellung

Abbildung 48: Verschattungsanalyse Sommersonnenwende  
Eigene Darstellung

Abbildung 49: Lageplan  
Eigene Darstellung

Abbildung 50: Solaranalyse Betrachtungszeitraum: 1 Jahr  
Eigene Darstellung

Abbildung 51: Solaranalyse nach Jahreszeit  
Eigene Darstellung

Abbildung 52: Lärmpegel 24 Stunden  
Lärminfo.at (2018): 2017 Landesstraßen: 24h-Durchschnitt 4m. Abgerufen unter [http://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_17\\_24h](http://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_17_24h)

Abbildung 53: Nacht-Lärmpegel  
Lärminfo.at (2018): 2017 Landesstraßen: Nachtwerte 4m. Abgerufen unter [http://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_17\\_24h#](http://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_17_24h#)

Abbildung 54: Lage Top 18, Stiege 1  
Eigene Darstellung

Abbildung 55: Grundriss Top 18, Stiege 1  
Eigene Darstellung

Abbildung 56: Berechnung zur sommerlichen Überwärmung Top 18 Stiege 1  
Archiphysik 15.0

Abbildung 57: Einflussfaktoren Stadtklima  
Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 10.

Abbildung 58: Das Energie-Budget von Siedlungsgebieten und der HUI-Effekt  
Kuttler W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe, Vol. 23, Issue 21: S. 6.

Abbildung 59: Globalstrahlung in Österreich  
zamg.ac.at (2017): Endbericht 2010. Abgerufen unter [https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok\\_projekte/son-alp/son-alp-endbericht](https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_projekte/son-alp/son-alp-endbericht)

Abbildung 60: Sonnenazimut und Höhenwinkel  
Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 25.

Abbildung 61: Aufbau einer Solarzelle

skpicturesmedia.de (2017): Aufbau und Funktionsweise der Solarzelle. Abgerufen unter <http://www.skpicturesmedia.de/inc/img/solarzelle.jpg>

Abbildung 62: Abhängigkeit des Solarertrages von Exposition und Neigung

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 27.

Abbildung 63: Modulstrom in Abhängigkeit von Spannung und Modultemperatur

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 35.

Abbildung 64: Modulstrom in Abhängigkeit von Spannung und solarer Einstrahlung

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 35.

Abbildung 65: Wirkungsgradiententwicklung: verifizierte Rekorde von laborgefertigten Mini-Solarzellen

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 30.

Abbildung 66: Kennlinien unterschiedlicher Modultypen im Vergleich

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 35.

Abbildung 67: Entwicklung der Fördertarife

Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2017): Mehr Sonnenstrom für Österreich. Neuerungen der „kleinen Ökostromnovelle“: S. 14.

Abbildung 68: Wechselrichterkonzepte

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 39.

Abbildung 69: Zelltypen

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie. 1. Auflage. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG (Edition DETAIL Green Books): S. 31.

Abbildung 70: Fassade, Integration

ertex-solar.at (2017): Kita Marburg. Abgerufen unter <http://www.ertex-solar.at/media/projekte/marburg-ekita.pdf>

Abbildung 71: Glasdach, Integration

ertex-solar.at (2017): Office glass roof. Abgerufen unter [http://www.ertex-solar.at/components/com\\_djclassifieds/images/130\\_mecricky\\_l.jpg.thb.jpg](http://www.ertex-solar.at/components/com_djclassifieds/images/130_mecricky_l.jpg.thb.jpg)

Abbildung 72: Brüstung, Substitution

asola-tech.de (2017): Brüstungssysteme. Abgerufen unter <http://asola-tech.de/wpcontent/uploads/2015/04/asola-Balcony-landingpage.jpg>

Abbildung 73: Sonnenschutz, Substitution

inbalance-energy.co.uk (2017): Solar PV Canopy Designs. Abgerufen unter [http://www.inbalance-energy.co.uk/solar\\_pv\\_mounting\\_systems/solar\\_pv\\_mounting\\_structures.html](http://www.inbalance-energy.co.uk/solar_pv_mounting_systems/solar_pv_mounting_structures.html)

Abbildung 74: Addition Dach

lode.nl (2017): Zonnepanelen. Abgerufen unter <http://www.lode.nl/uploads/media/Zonnepanelen.jpg>

Abbildung 75: Addition Fassade

photovoltaik.eu (2017): Die etwas andere Fassaden-Solaranlage. Abgerufen unter [https://www.photovoltaik.eu/cache/gentner/10021/sames-solar\\_ntu2mzyywg.jpg](https://www.photovoltaik.eu/cache/gentner/10021/sames-solar_ntu2mzyywg.jpg)

Abbildung 76: Farbige Solarzellen

baunetzwissen.de (2017): Farbige PV-Module. Abgerufen unter <https://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-module/farbige-pv-module-165748>

Abbildung 77: Weißes Modul mit Kunststofffolie

detail.de (2014): Die Quadratur des Kreises: weiße Photovoltaikmodule entwickelt. Abgerufen am unter <https://www.detail.de/artikel/die-quadratur-des-kreises-weiße-photovoltaikmodule-entwickelt-12693/>

Abbildung 78: Internationale Schule in Kopenhagen

archdaily.com (2017): Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller. Abgerufen unter <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller/59af6ecdb22e38b8410000c3-copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller-photo>

Abbildung 79: Funktionsweise spektral selektiv beschichtetes Glas

swissinso.com (2018). Kromatix™ Technology. Abgerufen unter <https://www.swissinso.com/technology/>

Abbildung 80: bedruckte PV-Module

ertex-solar.at (2018): New Possibilities. Abgerufen unter <http://www.ertex-solar.at/produkte/vsg-designpv/>

Abbildung 81: Grätzel-Zellen

handelsblatt.com (2014): Durchbruch mit Billig-Solarzelle. Abgerufen unter <http://www.handelsblatt.com/images/solarzellen-epfl-610x4061/11006130/2-format2010.jpg>

Abbildung 82: Umfeldverbesserung durch Begrünung

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 11.

Abbildung 83: Gebäudeoptimierung durch Begrünung

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 12.

Abbildung 84: Testflächen mit vier verschiedenen Fassaden

Penaranda Moren, María Soledad; Korjenic, Azra (2017): Hotter and colder – How Do Photovoltaics and Greening Impact Exterior Facade Temperatures. The synergies of a Multifunctional System. In: Energy and Buildings 147, S. 125.

Abbildung 85: Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfen

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 23.

Abbildung 86: Bodengebundene Begrünung ohne Kletterhilfen

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 23.

Abbildung 87: Arten der Fassadengebundenen Begrünung

Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Technische Universität Darmstadt: S. 25.

Abbildung 88: Beispiel Baukastensystem

sempergreen.com (2018): Vertikale Gärten. Abgerufen unter <https://www.sempergreen.com/de/projektberatung/downloads/60c362b4b50c5e266ac424066902b27e>

Abbildung 89: Baukastensystem, Module

optiguen.de (2016): Referenzsammlung Fassadengarten. Abgerufen unter <https://www.optigruen.de/aktuelles/download-presse/neu-referenzsammlung-fassadengarten/>

Abbildung 90: Baukastensystem, Bepflanzung

optiguen.de (2016): Referenzsammlung Fassadengarten. Abgerufen unter <https://www.optigruen.de/aktuelles/download-presse/neu-referenzsammlung-fassadengarten/>

Abbildung 91: Beispiel vollflächiger Vegetationsträger, Gesamtsystem

verticalgardenpatrickblanc.com (2008): Caixa Forum, Madrid. Abgerufen unter <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/node/1414>

Abbildung 92: Beispiel Gräser: Blaugras

gartengestaltung24.de (2018): Blaugras, Kopfgras - Sesleria caerulea. Abgerufen unter <http://www.gartengestaltung24.de/pflanzen/graeser/blaugras.html#Bilder>

Abbildung 93: Beispiel Kräuter: Katzenminze  
baumschule-horstmann.de (2018): Geaderte Katzenminze. Abgerufen am unter [https://www.baumschule-horstmann.de/geaderte-katzenminze-696\\_45551.html](https://www.baumschule-horstmann.de/geaderte-katzenminze-696_45551.html)

Abbildung 94: Beispiel Sekkulente: Sedum Hybridum  
baumschule-horstmann.de (2018): Immergrünes Fettblatt. Abgerufen unter [https://www.baumschule-horstmann.de/immergruenes-fettblatt-immergruenchen-696\\_60413.html](https://www.baumschule-horstmann.de/immergruenes-fettblatt-immergruenchen-696_60413.html)

Abbildung 95: Konzept Funktionen  
Eigene Darstellung

Abbildung 96: Fassade Raiffeisen Hochhaus  
Eigene Aufnahme

Abbildung 97: Fassade PS 1  
Eigene Aufnahme

Abbildung 98: Fassade IBM  
Eigene Aufnahme

Abbildung 99: Fassadenmuster 50er  
mg-anders-sehen.de (2018): Die verlorene Eleganz. Abgerufen unter [http://mg-anders-sehen.de/wp-content/uploads/2016/01/mg\\_anders\\_sehen-FotoausstellungHausFassade.jpg](http://mg-anders-sehen.de/wp-content/uploads/2016/01/mg_anders_sehen-FotoausstellungHausFassade.jpg)

Abbildung 100: 50er Interieur im "Motto am Fluss" vis-a-vis des Georg-Emmerling-Hofs  
yvonneoswald.at (2018): Motto am Fluss. Abgerufen am unter <http://www.yvonneoswald.at/de/portfolio/interieur-fotografie/motto-am-fluss-wien.html>

Abbildung 101: spektral selektiv beschichtetes Glas  
swissinso.com (2018). Kromatix™ Technology. Abgerufen am 03.03.2018 unter <https://www.swissinso.com/technology/>

Abbildung 102: Position PV-Fassaden  
Eigene Darstellung

Abbildung 103: Sonnenhöchststand  
Eigene Darstellung

Abbildung 104: Ausrichtung Südfassaden  
Eigene Darstellung

Abbildung 105: Versuch Exposition und Neigung  
Eigene Darstellung

Abbildung 106: PV-Modul mit 32 Zellen  
Eigene Darstellung

Abbildung 107: Sich wiederholende Muster zwischen den Fenstern und den Randbereichen  
Eigene Darstellung

Abbildung 108: Jahreseinstrahlung Randbereich  
Eigene Darstellung

Abbildung 109: Jahreseinstrahlung auf den Fassaden der Stiege 1 und Stiege 7  
Eigene Darstellung

Abbildung 110: Analyse Teilverschattungen Sommersonnenwende, Ausgangslage  
Eigene Darstellung

Abbildung 111: Analyse Teilverschattungen Sommersonnenwende, optimiert  
Eigene Darstellung

Abbildung 112: Analyse Teilverschattungen Wintersonnenwende, Ausgangslage  
Eigene Darstellung

Abbildung 113: Analyse Teilverschattungen Wintersonnenwende, optimiert  
Eigene Darstellung

Abbildung 114 : Durchlassgrad verschiedener Glasfarben  
swissinso.com (2018): Kromatix™ Technology. Abgerufen unter <https://www.swissinso.com/technology/>

Abbildung 115: exemplarischen Verlauf des Stromverbrauches und der Solarstromproduktion eines Einfamilienhauses  
evg-zentrum.ch (2018): Was ist Eigenverbrauch?. Abgerufen unter <http://www.evg-zentrum.ch/faq/was-ist-eigenverbrauch>

Abbildung 116: durch den Anschluss mehrerer Haushalte an einer PV Anlage kann der Eigenverbrauch deutlich verbessert werden  
evg-zentrum.ch (2018): Was ist Eigenverbrauch?. Abgerufen unter <http://www.evg-zentrum.ch/faq/was-ist-eigenverbrauch>

Abbildung 117: Systemkonzept der PV-Anlage  
Eigene Darstellung

Abbildung 118: Rotmoos Mauerpfeffer  
baumschule-horstmann.de (2018): Rotmoos Mauerpfeffer 'Coral Carpet'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11269/Rotmoos-Mauerpfeffer-Coral-Carpet.html>

Abbildung 119: Blüten Rotmoos Mauerpfeffer  
baumschule-horstmann.de (2018): Rotmoos Mauerpfeffer 'Coral Carpet'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11269/Rotmoos-Mauerpfeffer-Coral-Carpet.html>

Abbildung 120: Schneeteppich Fettblatt  
baumschule-horstmann.de (2018): Schneeteppich Fettblatt 'Album Superbum'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/9143/Schneeteppich-Fettblatt-Album-Superbum.html>

Abbildung 121: Blüten Schneeteppich Fettblatt

baumschule-horstmann.de (2018): Schneeteppich Fettblatt 'Album Superbum'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/9143/Schneeteppich-Fettblatt-Album-Superbum.html>

Abbildung 122: Weißer Mauerpfeffer

baumschule-horstmann.de (2018): Weißer Mauerpfeffer 'Murale'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11272/Weisser-Mauerpfeffer-Murale.html>

Abbildung 123: Blüten Weißer Mauerpfeffer

baumschule-horstmann.de (2018): Weißer Mauerpfeffer 'Murale'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/696/11272/Weisser-Mauerpfeffer-Murale.html>

Abbildung 124: Teppich Fettblatt

baumschule-horstmann.de (2018): Teppich Fettblatt 'Fuldaglut'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/11189/Teppich-Fettblatt-Fuldaglut.html>

Abbildung 125: Blüten Teppich Fettblatt

baumschule-horstmann.de (2018): Teppich Fettblatt 'Fuldaglut'. Abgerufen unter <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/698/11189/Teppich-Fettblatt-Fuldaglut.html>

Abbildung 126: Bewässerungssystem

Eigene Darstellung

Abbildung 127: Blauregen

fassadengruen.de (2018): Blauregen. Abgerufen unter <https://www.fassadengruen.de/uw/kletterpflanzen/uw/blauregen/blauregen.htm>

Abbildung 128: blühender Blauregen

pinterest.de (2018): Blauregen. Abgerufen unter <https://i.pinimg.com/originals/ca/35/3f/ca353f6dd7ed6d728c2645b178e2acd6.jpg>

Abbildung 129: Efeu auf Fassade

fassadengruen.de (2018): Efeu "Hibernica". Abgerufen unter <https://www.fassadengruen.de/efeu-hibernica.htm>

Abbildung 130: Blätter Efeu

fassadengruen.de (2018): Efeu "Hibernica". Abgerufen unter [https://www.fassadengruen.de/uploads/tx\\_templavoila/efeu-hibernica-b765.jpg](https://www.fassadengruen.de/uploads/tx_templavoila/efeu-hibernica-b765.jpg)

Abbildung 131: Wilder Wein auf Fassade

fassadengruen.de (2018): Wilder Mauerwein "Engelmannii". Abgerufen unter <https://www.fassadengruen.de/uw/kletterpflanzen/uw/mauerwein/mauerwein.htm>

Abbildung 132: Blätter Wilder Wein

fassadengruen.de (2018): Wilder Mauerwein "Engelmannii". Abgerufen unter <https://www.fassadengruen.de/uw/kletterpflanzen/uw/mauerwein/mauerwein.htm>

Abbildung 133: Ringturm

www.wienerstaedische.at (2018): Pressefotos des Ringturms. Abgerufen unter <https://www.wienerstaedische.at/unternehmen/presse/mediathek/pressefotos-ringturm.html#&gid=1&pid=6>

Abbildung 134: Raiffeisen Hochhaus

flickr.com (2018): Raiffeisen Hochhaus. Abgerufen unter [https://farm6.staticflickr.com/5727/20002946083\\_d4ddb6fee\\_h.jpg](https://farm6.staticflickr.com/5727/20002946083_d4ddb6fee_h.jpg)

Abbildung 135: Donaukanal Höhe Georg-Emmerling-Hof

austria.info (2018): Wien - Donaukanal. Abgerufen unter <https://cdn.austria.info/media/17083/thumbnails/wien-donaukanal--oesterreich-werbung-volker-preusser.jpg.3726180.jpg>

Abbildung 136: Schwedenbrücke

flickr.com (2018): Schwedenbrücke. Abgerufen unter [https://farm5.staticflickr.com/4568/26904996639\\_3754dfa84e\\_o\\_d.jpg](https://farm5.staticflickr.com/4568/26904996639_3754dfa84e_o_d.jpg)

Abbildung 137: Uniqua Tower

wikipedia.org (2018): Uniqua Tower. Abgerufen unter [https://upload.wikimedia/commons/6/6b/UNIQA\\_Tower.jpg](https://upload.wikimedia/commons/6/6b/UNIQA_Tower.jpg)

Abbildung 138: LEDs Uniqua Tower

mediaarchitecture.org (2018): Uniqua Tower. Abgerufen unter [http://www.mediaarchitecture.org/wp-content/uploads/sites/4/2006/06/Uniqua\\_Post\\_02.jpg](http://www.mediaarchitecture.org/wp-content/uploads/sites/4/2006/06/Uniqua_Post_02.jpg)

Abbildung 139: Greenpix

archdaily.com (2008): GreenPix: Zero Energy Media Wall. Abgerufen unter <https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall>

Abbildung 140: Glasmodule Greenpix

archdaily.com (2008): GreenPix: Zero Energy Media Wall. Abgerufen unter <https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall>

Abbildung 141: Position Fassadenbeleuchtung

Eigene Darstellung

Abbildung 142: Ansicht Nacht

Eigene Darstellung

Abbildung 143: Funktionsweise

Eigene Darstellung

Abbildung 144: Nahaufnahme

Eigene Darstellung

Abbildung 145: Sonnenhöchststand

Eigene Darstellung

Abbildung 146: Verschattungsanalyse, Sommersonnenwende

Eigene Darstellung

Abbildung 147: Verschattungsanalyse, Wintersonnenwende

Eigene Darstellung

Abbildung 148: Lage Top 18, Stiege 1  
Eigene Darstellung

Abbildung 149: Grundriss Top 18, Stiege 1  
Eigene Darstellung

Abbildung 150: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Archiphysik  
Archiphysik 15.0

Abbildung 151: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim – Bestand  
Thesim 3D. Abgerufen unter <http://www.thesim.at/>

Abbildung 152: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim – Neue Fassade  
Thesim 3D. Abgerufen unter <http://www.thesim.at/>

Abbildung 153: Berechnung der sommerlichen Überwärmung mit Thesim – Nachtlüftung  
Thesim 3D. Abgerufen unter <http://www.thesim.at/>

Abbildung 154: Beispiel freie Lüftung mit Schalldämmung im Blendrahmen  
schueco.com (2018): Fensterlüfter VentoFrame. Abgerufen unter [https://www.schueco.com/web2/de/verarbeiter/produkte/luftungssysteme/aluminium/schueco\\_ventoframe](https://www.schueco.com/web2/de/verarbeiter/produkte/luftungssysteme/aluminium/schueco_ventoframe)

Abbildung 155: Beispiel freie Lüftung mit Schalldämmung im Brüstungsbereich  
siegenia.com (2018): AEROMAT VT. Abgerufen unter <https://www.siegenia.com/de/products/comfort-systems/window-ventilators/aeromat-vt>