

August 2020

# **Integrierte Solaranlagen**

## Handlungsanleitung zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Christian Renken, CRENERGIE SARL

Paolo Corti, Pierluigi Bonomo und Francesco Frontini, SUPSI

Andreas Hekler, SWISSOLAR

Dr. Ruedi Meier, EnWI

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

**Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, [www.infoline.energieschweiz.ch](http://www.infoline.energieschweiz.ch)

[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch), [twitter.com/energieschweiz](https://twitter.com/energieschweiz)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Investitionskosten integrierter Solaranlagen</b> .....	<b>7</b>
2.1	Dachsanierungen mit integrierter Photovoltaik, Magglingen .....	8
2.2	Sanierung Fassadenbrüstungen mit Photovoltaik, Zürich .....	9
2.3	Neubau mit integrierter PV auf Dach und Fassaden, Vacallo .....	10
2.4	Neubau mit Photovoltaik-Fassaden, Zürich .....	11
2.5	Neubau Minergie-A mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin .....	12
<b>3</b>	<b>Wirtschaftlichkeit integrierter Solaranlagen</b> .....	<b>13</b>
3.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	13
3.2	Berechnung der Referenzobjekte .....	14
3.2.1	Dachsanierung mit integrierter Photovoltaik, Magglingen .....	15
3.2.2	Sanierung Fassadenbrüstung mit Photovoltaik, Zürich .....	16
3.2.3	Neubau mit integrierter PV auf Dach und an Fassaden, Vacallo .....	17
3.2.4	Neubau mit Photovoltaik-Fassaden, Zürich .....	18
3.2.5	Neubau Minergie-A mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin .....	19
<b>4</b>	<b>Handlungsanleitung für energetisch und wirtschaftlich integrierte Solaranlagen</b> .....	<b>20</b>
4.1	Renditeberechnung .....	20
4.1.1	Eigenkapitalrendite .....	20
4.1.2	Photovoltaikrendite .....	20
4.2	Sensitivitätsanalyse .....	21
4.2.1	Sanierungen mit integrierter Solaranlage .....	21
4.2.2	Neubauten mit integrierter Solaranlage .....	21
4.2.3	Einfluss der Energiekosten auf die Wirtschaftlichkeit .....	21
4.2.4	Unterhalts- und Betriebskosten .....	22
4.2.5	Finanzierung mit Eigen- und Fremdkapital .....	22
4.2.6	Steuerabzug und Subvention .....	22
4.3	Bessere Wirtschaftlichkeit durch Solarplanung .....	23

4.3.1	Gebäudeintegrierte Solarmodule .....	23
4.3.2	Farbtechnologien für Solarmodule .....	23
4.3.3	Befestigungssysteme .....	23
4.3.4	Leistungseffizienz solarer Flächen .....	23
4.3.5	Orientierung der Solarmodule .....	24
4.3.6	Wechselrichterkonzepte für integrierte Solaranlagen .....	24
4.3.7	Solarer Eigenstromverbrauch .....	24
<b>5</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>26</b>

## Zusammenfassung

Verschiedene Bauten der solaren Architektur haben in der jüngsten Vergangenheit gezeigt, was heute durch die Integration von solaren Komponenten in Gebäuden möglich ist. Die Integration solarer Energie ist aus ökologischer, energetischer und raumplanerischer Sicht sinnvoll und es ist auch möglich solare Architektur gestalterisch zu integrieren. Für Eigentümer, Investoren und Architekten stellt sich grundsätzlich die Frage, wie hoch und wie rentabel die für die solare Energieproduktion notwendigen Zusatzinvestitionen sind. Die vorliegende Handlungsanweisung zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung integrierter Solaranlagen zeigt anhand effektiv realisierter Projekte eine Spannweite von verschiedenen Ausprägungen der Integration. Es wurden fünf Referenzgebäude mit integrierten Solaranlagen zu dem Zweck analysiert und verschiedene solare Ausführungsvarianten berechnet. Es können folgende Resultate auf Grund der Studie zusammengefasst werden:

Die Zusatzinvestitionen für integrierte Solaranlagen betragen rund 30% - 50% im Vergleich zu einer herkömmlichen inaktiven Gebäudehülle.

Wertvermehrende Investitionen für die energetische Sanierung der Gebäudehülle sind aufgrund der Reduktion des Energiebedarfs für Investoren kostendeckend und steigern den Wohnkomfort der Immobilie. Wird bei dem Umbau gleichzeitig eine integrierte Solaranlage realisiert, dann nimmt die Rendite auf ca. 1% - 3% durch den zusätzlichen Eigenstromverbrauch sowie Stromverkauf zu.

Bei Neubauten ist der Einsatz von integrierten Solaranlagen noch attraktiver, da mit dem eingesetzten Eigenkapital Renditen durch Abschreibung und Solarerlös von bis zu 8% erreicht werden können. Die solare Gebäudehülle stellt je nach Art der Ausführung daher bereits heute eine finanziell attraktive Alternative zu herkömmlichen inaktiven Dacheindeckungen oder Fassadenbekleidungen dar.

Die wichtigsten Faktoren zur Erreichung einer hohen Rendite sind die ertragsmaximierte Anlagenauslegung sowie eine maximaler Eigenstromverbrauch, der durch eine optimale Systemintegration in die Gebäudetechnik erreicht wird. Des Weiteren sind die Energiekosten, deren Höhe grundsätzlich politisch geprägt werden, massgebend für die Rentabilität. Steigende Energiekosten für fossile Brennstoffe oder Stromprodukte bewirken automatisch eine Renditesteigerung integrierter Solaranlagen.

Tiefe Investitionen durch Kostenoptimierung sowie niedrige Unterhaltskosten sind weitere Faktoren, die entscheidend für eine hohe Wirtschaftlichkeit sind.

Die Förderbeiträge aus Gebäudeprogramm und Einmalvergütung sind zu nutzen und die Steuerabzugsmöglichkeiten bei energetischen Sanierungen mit Photovoltaik zu berücksichtigen, da diese Renditesteigerungen von 0.5% bis 2% bewirken können.

Die integrale Planung der integrierten Solaranlage, abgestimmt auf Gebäudehülle und Gebäudetechnik, führt zu attraktiven Renditen und steigert die Akzeptanz für die breite Anwendung integrierte Solaranlagen als neue und innovative Technologie.

Das Wichtigste kurz zusammengefasst:

1. Die Höhe der Solarinvestitionen ist durch Produktwahl, Planung und Ausführung zu optimieren.
2. Bei Bestandgebäuden sind grundsätzlich integrierte Solaranlagen in Kombination mit der energetischen Gebäudehüllen-Sanierung zu realisieren.
3. Bei Neubauten können optimal integrierter Solaranlage wirtschaftlicher sein als herkömmliche inaktive Gebäudehüllen.
4. Ein maximaler Eigenstromverbrauch, maximiert auch die Photovoltaikrendite.
5. Tiefe Unterhalts- und Betriebskosten sind Voraussetzung für eine hohe Wirtschaftlichkeit.
6. Die architektonische Gestaltung mit Solarintegration ist bereits in Machbarkeits- und Vorstudien zu prüfen und abzustimmen.
7. Maximierung des Energieertrags durch systematische Anlagenplanung und Auslegung.
8. Förderbeiträge aus Gebäudeprogramm und Einmalvergütung sowie Steuerabzugsmöglichkeiten bei energetischen Sanierungen mit Photovoltaik sind in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen.

# 1 Einleitung

Solaranlagen werden in der Architektur zunehmend als integrales und gestaltbares Bauelement wahrgenommen und genutzt. Die Produktvielfalt und damit die Möglichkeiten der freien Gestaltung hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Insbesondere für mehrgeschossige Gebäude bietet die zusätzliche Nutzung der Fassaden- und Balkonflächen ein grosses Potential zur Bereitstellung benötigter Energie für den Betrieb des Gebäudes. Nachhaltige Plusenergiegebäude oder Gebäude nach Minergie-A-Standard können so realisiert werden. Die Nutzung der Gebäudefassaden zur Stromproduktion verbessert ausserdem die dezentrale Versorgungssicherheit bedingt durch die Zunahme der Solarproduktion in den Randtageszeiten, den Übergangsjahreszeiten sowie in den Wintermonaten. Neben den gestalterischen Möglichkeiten und dem energetischen Nutzen stehen die Zusatzinvestitionen und deren Wirtschaftlichkeit im Mittelpunkt der Entscheidungsprozesse von Bauherren und Investoren. Die vorliegende Handlungsanleitung zeigt, dass Zusatzinvestitionen in eine «aktive» Gebäudehülle bei den meisten Anwendungen zu positiven Eigenkapital- und Solarrenditen führen. Ausserdem, dass die Wirtschaftlichkeit weiter verbessert werden kann, wenn der Bau von Solaranlagen in den Planungs- und Bauprozess seitens Architektur integriert wird. Am Beispiel von fünf Gebäuden werden die Investitionskosten integrierter Solaranlagen inkl. deren Baukonstruktion analysiert und mit alternativen Bauvarianten verglichen. Zudem werden die Renditen der realisierten Solaranlagen und weitere mögliche Ausführungsvarianten berechnet. Bei den Referenzobjekten handelt es sich um zwei Bestandsgebäude und um drei Neubauten, die sich in unterschiedlichen Klimaregionen der Schweiz befinden. In der Handlungsanleitung werden die relevanten Parameter dokumentiert, welche die Wirtschaftlichkeit der Solarintegration beeinflussen. Die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit wurden mit dem Tool «EnWI – Energetisch Wirtschaftlich Investieren» [1] durchgeführt, mit dem unterschiedliche Energiemassnahmen an Gebäuden unter Einbezug aller relevanten Parameter analysiert werden können.

## 2 Investitionskosten integrierter Solaranlagen

Integrierte Solaranlagen sind multifunktionale Systeme. Neben der Produktion des elektrischen Stroms oder von thermischer Energie, müssen sie die Anforderungen des Witterungs- und Schallschutzes, des Brandschutzes sowie der Personensicherheit gewährleisten können. Abhängig vom ProduktHersteller sind die Solarmodule in Form und Farbe für die gewünschte Architektur passend definierbar. Die Produktkosten von eigens gestalteten Modulen sind aber aufgrund der Multifunktionalität und der Individualität um Faktor 2 bis 5 höher im Vergleich zu herkömmlichen Standard-Solarmodulen. Integrierte Photovoltaikmodule bestehen typischerweise aus einem widerstandsfähigen Verbundsicherheitsglas, in dem die Siliziumzellen integriert werden. Der Aufbau gewährleistet die Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich Statik, Brandschutz und den Schutz gegen Berührung elektrischer Spannungen und Ströme. Die gewichtete Nutzungsdauer der Gebäudehülle mit integrierter Solartechnik beträgt rund 40 Jahre [4]. Die Zusatzkosten der integrierten Solartechnik in einem isolierten Steildach, einer hinterlüfteten Vorhangfassade oder

einem Glas-Balkongeländer betragen zwischen 30% bis 50%. Die breite Preisspanne ist durch die Vielfalt an standardisierten oder individuellen Ausführungsmöglichkeiten begründet. Der Wertbestand und damit der Wiederverkaufswert einer Liegenschaft nimmt mit integrierten Solaranlagen zu. Die Höhe der Investition ist planbar. Zu dem Zweck muss die Planung von Beginn an in den Bauplanungsprozess des Gebäudes mit integriert werden, unabhängig davon, ob es sich um einen Neubau oder eine Sanierung handelt. Nachfolgend werden die Investitionskosten integrierter Solaranlagen im Vergleich zu einer herkömmlichen und qualitativ vergleichbaren Gebäudehülle am Beispiel der Referenzgebäude dargestellt.

## 2.1 Dachsanierungen mit integrierter Photovoltaik, Magglingen



Abbildung 1: Dachansicht MFH, Magglingen

An dem Mehrfamilienhaus in Magglingen wurde 2019 das Dach saniert. Die Investitionskosten der energetischen Sanierung mit Wärmedämmung und einer vollflächigen Indach-Photovoltaikanlage inkl. Anpassungen an der Gebäudeelektrik betragen 990 CHF/m<sup>2</sup>. Im Vergleich zu einer Dacheindeckung mit Faserzementziegeln betragen die Zusatzkosten der Photovoltaik 404 CHF/m<sup>2</sup>. Das entspricht 41% der Gesamtinvestitionen. Bei Sanierungen mit Photovoltaik sind allfällige Zusatzkosten für den Umbau des Netzanschlusses oder Anpassungen an der Elektroinstallation vorgängig zu berücksichtigen. Bei dem hier berechneten Objekt betragen diese 14% der Gesamtinvestitionen. Der Kostenanteil der Solarmodule beträgt rund 22%.

### Mehrfamilienhaus Magglingen – Dachsanierung, 2018

#### Kennzahlen

PV Module	Monokristallin, 190Wp
Traditionelle Vergleichsbekleidung	Faserzementschiefer
Dachfläche	433 m <sup>2</sup>
Gesamtkosten BIPV	990 CHF/m <sup>2</sup>
Gesamtkosten Faserzementziegel	586 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	404 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	41 %

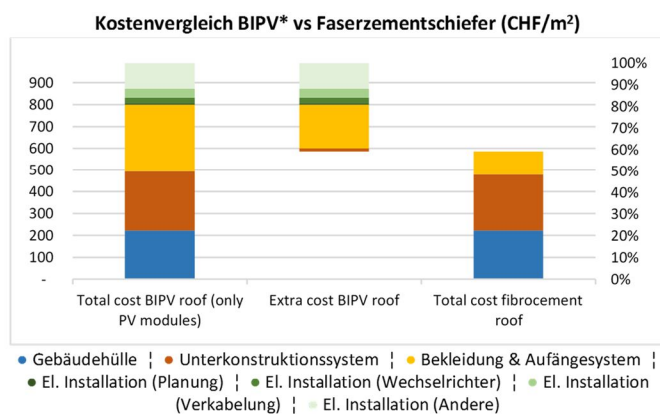


Abbildung 2: Investitionskosten Dachsanierung, Mehrfamilienhaus Magglingen Dachsanierung



## 2.2 Sanierung Fassadenbrüstungen mit Photovoltaik, Zürich



Abbildung 3: Bürogebäude COOP, Letzipark mit Solarfassade

Die Fassadenbrüstungen an dem Bürogebäude des Einkaufsareals Letzipark wurde 2018 saniert. Es wurden vorgängig zwei Varianten geprüft: Die Fassadenbekleidung mit Metall- oder mit Photovoltaikmodulen. Die Zusatzkosten der farbigen Photovoltaikfassade inkl. Planung betragen 498 CHF/m<sup>2</sup>, dies entspricht rund 46% der Gesamtkosten. Der Kostenanteil der farbigen Solarmodule beträgt dabei 320 CHF/m<sup>2</sup>. Die Gesamtkosten der Solarbrüstungen belaufen sich auf 1'079 CHF/m<sup>2</sup>. Der Eigenstromverbrauch mit der Anlage beträgt 100%, da die Energie direkt in das Areal eingespeist wird. Dies wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der integrierten Solaranlage aus.

### Sanierung Fassadenbrüstungen mit Photovoltaik, Zürich

#### Kennzahlen

PV Module	Monokristallin, div., farbig
Traditionelle Vergleichsbekleidung	Metallelemente
Fassadenfläche	1148 m <sup>2</sup>
Gesamtkosten BIPV	1079 CHF/m <sup>2</sup>
Gesamtkosten Metall	582 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	498 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	46 %

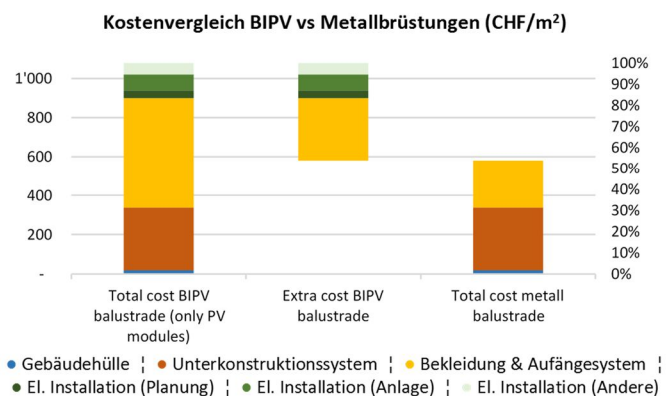


Abbildung 4: Investitionskosten Fassadensanierung Letzipark, Zürich

## 2.3 Neubau mit integrierter PV auf Dach und Fassaden, Vacallo



Abbildung 5: Neubau Delta Rosso in Vacallo (TI) mit integrierten Solaranlagen auf Dach und an den Fassaden. Architekten: deltaZERO SA, Fotograf: L. Carugo

Die Fassaden und das Dach des Neubaus in Vacallo wurden mit anthrazit-farbenen einheitlichen Solarmodulen ausgestattet. Die architektonische Lösung konnte mit vergleichsweise geringen Investitionskosten realisiert werden, da Wärmedämmsteine für den Massivbau verwendet wurden. Die daran befestigte vorgehängte hinterlüftete Photovoltaikfassade konnte mit einer vereinfachten Befestigungskonstruktion realisiert werden. Die Gesamtkosten der PV-Fassaden betragen 710 CHF/m<sup>2</sup> und die des solarintegrierten Daches 776 CHF/m<sup>2</sup>. Die Zusatzkosten der Photovoltaik belaufen sich auf 320 CHF/m<sup>2</sup>, dies entspricht einem prozentualen Anteil von ca. 41% für das Dach und 45% für die Fassaden (Abbildung. 3 und 4).

### Mehrfamilienhaus DeltaRosso Vacallo – Neue Fassade, 2017

#### Kennzahlen

PV Module	Monokristallin, div
Traditionelle	Glas/Glas
Vergleichsbekleidung	
Fassadefläche	487.5 m <sup>2</sup>
Gesamtkosten BIPV	710 CHF/m <sup>2</sup>
Gesamtkosten Glas/Glas	390 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	320 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	45 %

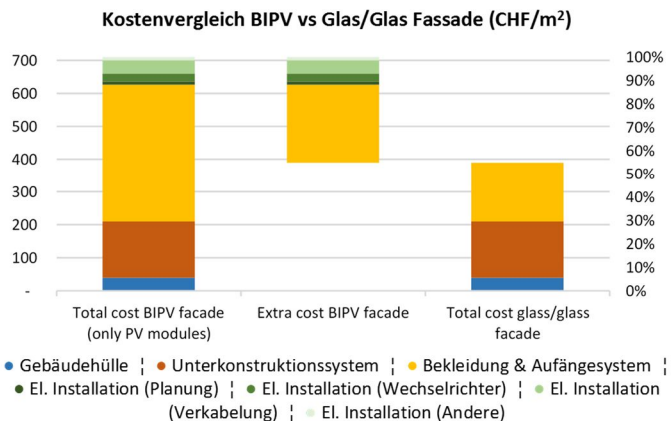


Abbildung 6: Investitionskosten Fassade, Vacallo

## Mehrfamilienhaus DeltaRosso Vacallo – Neue Dach, 2017

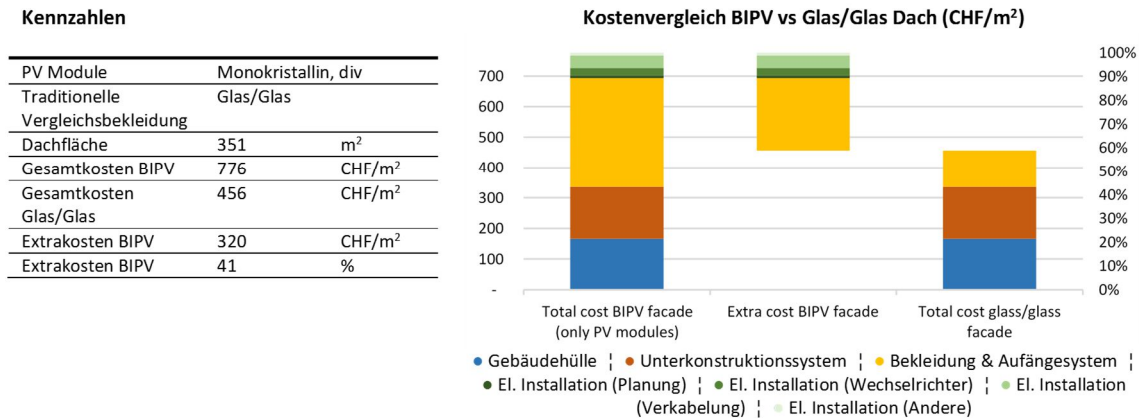


Abbildung 7: Investitionskosten Dach, Vacallo

## 2.4 Neubau mit Photovoltaik-Fassaden, Zürich



Abbildung 8: Mehrfamilienhäuser, ZH Oerlikon mit vollintegrierten Photovoltaikfassaden. BKG Architekten

An den Neubauten wurden vollintegrierte umlaufende Photovoltaikfassaden realisiert. Die Investitionskosten der wärmedämmten, vorgehängten hinterlüfteten Fassade betragen 1'032 CHF/m<sup>2</sup>. Die Zusatzkosten der Photovoltaik im Vergleich zu einer Faserzementfassade betragen 473 CHF/m<sup>2</sup>. Die architektonische Gestaltung der Solarfassade wurde sehr sorgfältig ausgeführt. Die Solarmodule wurden massgefertigt, damit eine vollflächige Bekleidung realisiert werden konnte. Zusätzlich wurden vertikale Metallisenen zur Unterteilung der Fassaden integriert. Der Kostenanteil der Photovoltaik an den Gesamtinvestitionen beträgt ca. 42%.

## Mehrfamilienhäuser Zürich – Neubauten, 2018

### Kennzahlen

PV Module	Monokristallin, div., farbig
Traditionelle Vergleichsbekleidung	Faserzementschiefer
Fassadefläche	1062 m <sup>2</sup>
Gesamtkosten BIPV	1032 CHF/m <sup>2</sup>
Gesamtkosten Faserzementziegel	595 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	437 CHF/m <sup>2</sup>
Extrakosten BIPV	42 %

### Kostenvergleich BIPV\* vs Faserzementschiefer Dach (CHF/m<sup>2</sup>)

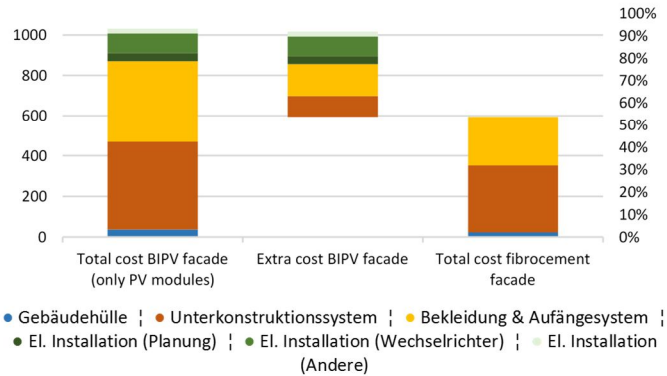


Abbildung 9: Investitionskosten Solarfassaden, Zürich Oerlikon

## 2.5 Neubau Minergie-A mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin



Abbildung 10: Hochhaus C4Tour mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin.

Die Investitionskosten der geschlossenen Metallgeländer mit aussenseitig angebrachten Standard-Solarmodulen betragen 920 CHF/m<sup>2</sup>. Erst durch das solaraktive Geländer konnte bei dem Gebäude der Minergie-A-Standard erreicht werden. Die Kosten eines geschlossenen Glas-Geländers ohne Photovoltaik betragen 590 CHF/m<sup>2</sup>. Die Zusatzinvestition für die Photovoltaik beträgt 330 CHF/m<sup>2</sup>, was lediglich 36% der Gesamtkosten entspricht. Es wurde ein kostengünstiges Standardprodukt als integriertes Solarmodul ausgewählt, was zu der niedrigen Solarinvestition führte. Wären optisch hochwertigere Glas/Glas-Photovoltaikmodule zum Einsatz gekommen, dann würden die Zusatzkosten der Photovoltaik auf rund 50% ansteigen.

## Neubau Minergie-A mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin

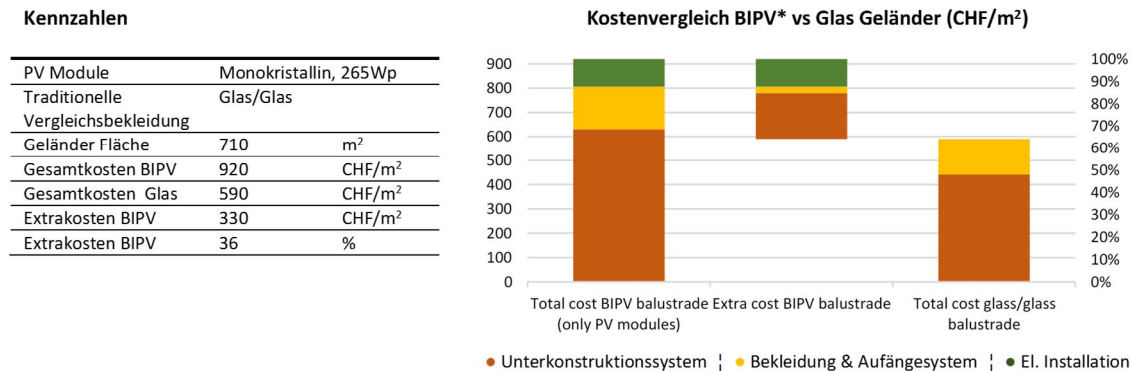


Abbildung 11: Investitionskosten Geländer, Meyrin

## 3 Wirtschaftlichkeit integrierter Solaranlagen

### 3.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit integrierter Solaranlagen kann mit Renditeberechnungen beurteilt und verglichen werden. Dabei werden grundsätzlich die finanziellen Erträge abzüglich des allfälligen Aufwands durch die Investition geteilt.

$$Rendite = \frac{Ertrag - Aufwand}{Investition}$$

Damit Investitionen in die Gebäudehülle bewertet und mit unterschiedlichen Varianten verglichen werden können, ist die Renditeberechnung über das jeweilige gesamte Bauteil zu empfehlen. Dies beinhaltet die Baukonstruktion mit Tragwerk, Isolation sowie dem Eindeckungs- bzw. Bekleidungsmaterial der Gebäudehülle. Bei Einsatz integrierter Solaranlagen werden zusätzlich die Solarkomponenten, wie Solarzellen, elektrische Kabel, Wechselrichter, wechselstromseitige Netzanschluss, etc. berücksichtigt. Allfällige zusätzliche Investitionen ins Gebäudeenergiesystem, wie z.B. dem Einsatz von Wärmepumpen oder Energiespeichern, die den solaren Eigenstromverbrauch beeinflussen, sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Für Eigentümer und Investoren von Mietliegenschaften ist die Eigenkapitalrendite eines der relevanten Entscheidungskriterien für Investition. Am Beispiel der fünf Referenzobjekte wird die Eigenkapitalrendite für verschiedene Varianten wie folgt berechnet:

$$Eigenkapitalrendite = \frac{\text{Überwälzung wertvermehrender Investition} + \text{Erlös PV} - \text{Unterhalt PV} - \text{Annuität Fremdkapital}}{\text{Eigenkapitalinvestition} - \text{Förderbeiträge} - \text{Steuerabzug}}$$

Folgende Werte sind für die Berechnung vorgängig zu ermitteln:

- Investitionskosten für die Baukonstruktion sowie die Zusatzkosten der integrierten Solaranlage
- Anteil des Eigen- und Fremdkapitals der Investition
- Annuitätsfaktor des Fremdkapitals
- Stromkosten für Eigenstromverbrauch und Vergütungssatz für Überschussenergie
- Unterhalts- und Betriebskosten
- Bei Mietobjekten: Überwälzung wertvermehrenden Investition für energetische Einsparmassnahmen am Gebäude
- Bei Neubauten: Abschreibung der Investitionen für Gebäudehülle und Gebäudetechnik
- Förderbeiträge und Steuerabzug

Weitere Informationen zur Renditeberechnung werden in Punkt 4 dokumentiert.

### **3.2 Berechnung der Referenzobjekte**

Bei den Gebäuden handelt es sich um zwei Bestandsgebäude und um drei Neubauten. An allen Gebäuden wurden innerhalb der letzten drei Jahre integrierte Solaranlagen realisiert. Für jedes Gebäude wurden in dieser Studie gesamthaft 4 bis 7 Anlagenvarianten analysiert. Die jeweils erste Variante ist eine herkömmliche Gebäudehülle ohne Solartechnik. Im Weiteren wurden unterschiedliche Ausführungsvarianten berechnet. Die real umgesetzten Anlagen sind mit dem Vermerk «realisiert» gekennzeichnet. Die Berechnungen wurden unter folgenden Grundannahmen durchgeführt:

- Aktuelle Energiekosten und Überschussvergütung im Jahr 2020 des lokalen Energieversorgers
- Eigenkapitalanteil 30%, Fremdkapitalanteil: 70%
- Annuitätsfaktor «Fremdkapital» berechnet mit der gewichteten Nutzungsdauer aus Baukonstruktion und integrierter Solaranlage sowie einem Kalkulationszinssatz von 1%
- Aktuelle Förderbeiträge aus Gebäudeprogramm und Einmalvergütung
- Steuerabzug bei privaten Investoren: 15%
- Unterhaltspauschale Baukonstruktion: 10%, Unterhalt Photovoltaikanlage: 2 Rp./kWh
- Leistungsdegradation Solarmodule: -0.6%/Jahr

Die Berechnungen wurden mit dem Tool «EnWI -Energetisch Wirtschaftlich Investieren» [1] durchgeführt, diese befinden sich im Anhang 7.

### 3.2.1 Dachsanierung mit integrierter Photovoltaik, Magglingen

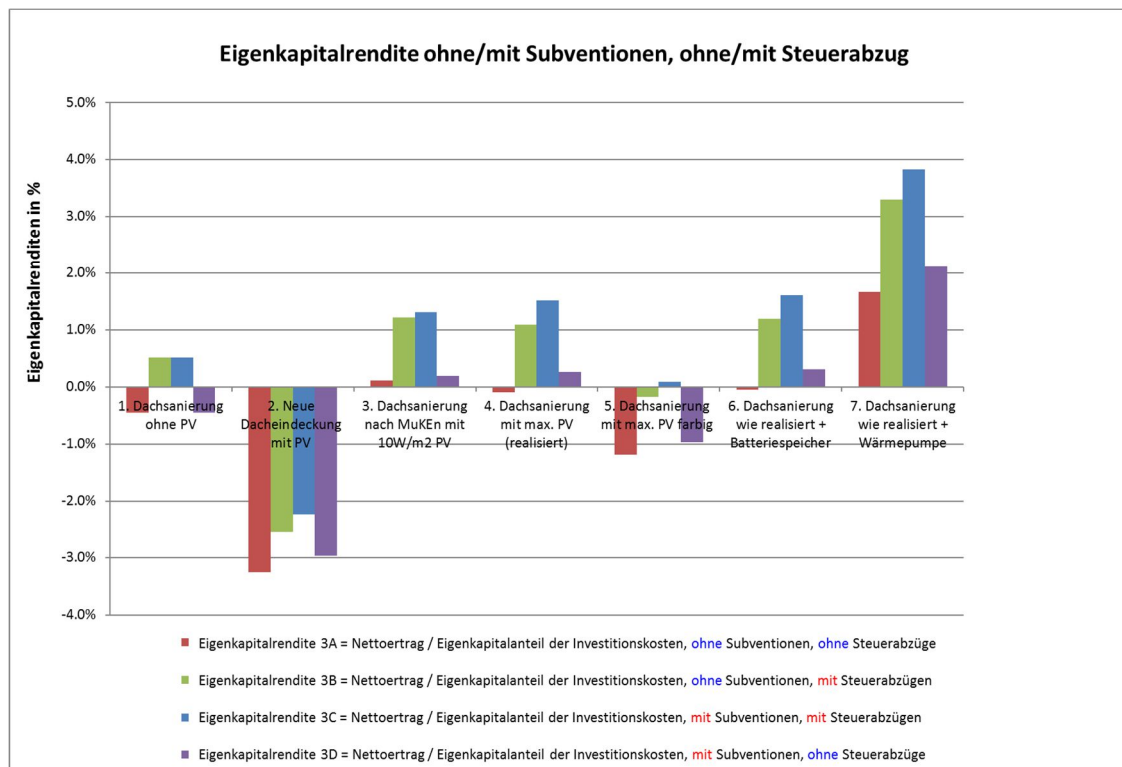


Abbildung 12: EnWI, Variantenvergleich MFH, Magglingen Dachsanierung.

Am Mehrfamilienhaus in Magglingen mit 8 Wohnungen, das Gebäude stammt aus den 70er Jahren, wurde 2019 das Dach mit neuer Wärmedämmung und neuem Unterdach energetisch saniert. Bei der Sanierung wurde als Dacheindeckung eine quasi vollflächige 49 kWp Photovoltaik-Indachanlage installiert. Die Eigenkapitalrendite der Sanierung nach Abzug von Solarförderung und Steuern beträgt ca. 1.5% (Variante 4). Bei einer energetischen Dachsanierung mit herkömmlicher Eindeckung und ohne integrierter Solaranlage wäre die Investitionssumme ca. 100'000 CHF geringer gewesen. Die Eigenkapitalrendite würde jedoch nur 0.5% betragen, da ausschliesslich die Energieeinsparung ohne zusätzlichem Solarerlös als Ertrag in der Renditeberechnung einfließt (Variante 1). Ein reiner Dachziegelaustausch ohne Verbesserung der Wärmedämmung ist ebenfalls nicht zu empfehlen. Diese Massnahme entspricht ausschliesslich einem werterhaltenden Unterhalt, obwohl auch integrierte Solardachziegel verwendet werden. Die Gesamtinvestition wäre unwirtschaftlich, da ausschliesslich der Solarertrag zählt und sich daraus eine berechnete Rendite von -2.2% ergibt (Variante 2). Wird die integrierte Solaranlage nach den Mindestanforderungen gemäss MuKE n 2014 ausgelegt, in diesem Fall wären es 5.7 kWp Anlagenleistung, und mit Faserzementziegeln ergänzt, dann beträgt die Rendite für das Gewerk 1.3% (Variante 3). Der Eigenstromverbrauch beträgt bei der kleinen Anlagenleistung ca. 70%. Wird zukünftig mehr Solarstrom benötigt, z.B. für den Betrieb einer Wärmepumpe oder für E-Mobilität, dann ist mit dieser Minimalvariante das Solarpotential bereits ausgeschöpft. Bei Einsatz farbiger Solarziegel nehmen die Investitionskosten zu und die Solarmodulleistung nimmt ab. Die Eigenkapitalrendite würde um -1.4% auf nur noch 0.1% sinken (Variante 5). Bei Verwendung eines stationären Batteriespeichers kann der Eigenstromverbrauch von ca. 13% auf 25% erhöht werden. Die Eigenkapitalrendite würde

in diesem Fall sogar leicht auf 1.6% zunehmen (Variante 6). Viel effizienter lässt sich jedoch der Eigenstromverbrauch mit dem Ersatz der Ölheizung durch eine Wärmepumpe steigern. Die Kombination Photovoltaik mit Wärmepumpe würde einen Anstieg der Eigenkapitalrendite auf ca. beachtliche 3.8% bewirken. Durch Überwälzung dieser wertvermehrenden Investitionen würde der Bruttomietzins jedoch lediglich um 0.6% steigen (Variante 7).

### 3.2.2 Sanierung Fassadenbrüstung mit Photovoltaik, Zürich

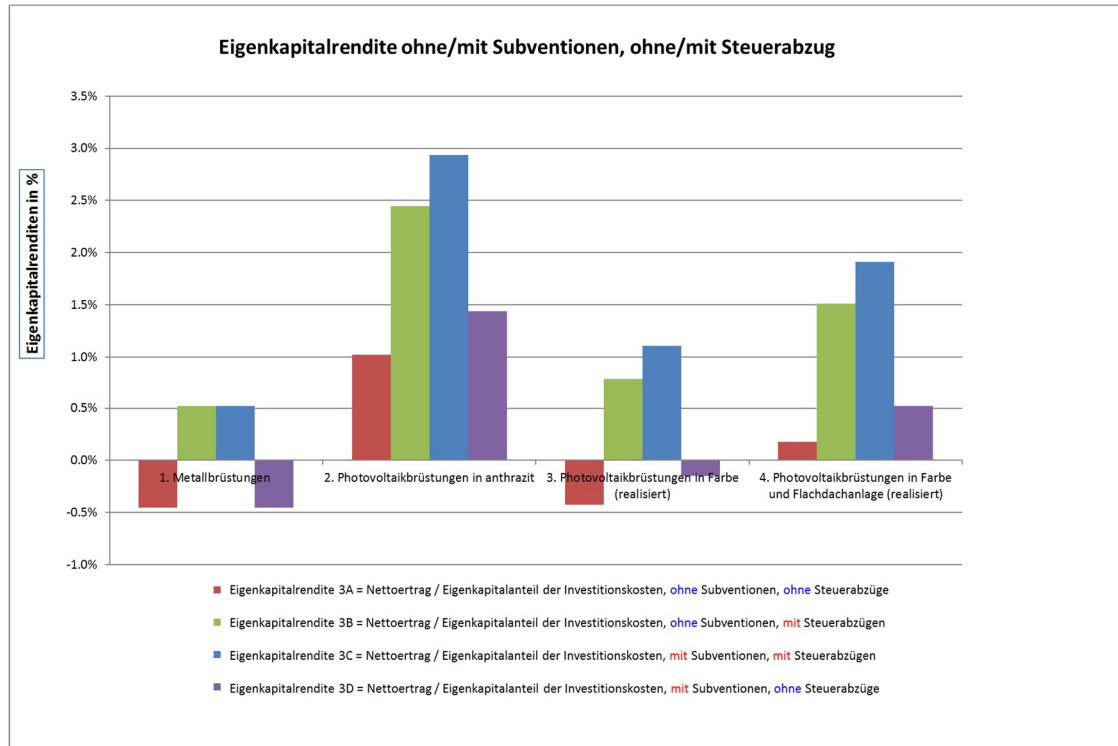


Abbildung 13: EnWI, Variantenvergleich Fassadensanierung Bürogebäude COOP, Letzipark

Die Fassade des Bürogebäude COOP Letzipark wurde 2018 saniert. Es standen zwei Varianten zur Auswahl. Die energetische Sanierung der Brüstungen mit Metallelementen oder mit farbigen Solarmodulen als Bekleidung. Das Projekt wurde mit Solarmodulen mit einer Gesamtleistung von 147 kWp an der Ost- und Westfassade realisiert.

Der Eigenstromverbrauch der Anlagen beträgt 100%, da die Energie im Letzipark direkt genutzt werden kann. Es wird eine Rendite in Höhe von 1.1% bei Vollkostenrechnung erreicht (Variante 3). Bei Verwendung von Solarmodulen ohne Farbbeschichtung würde die Eigenkapitalrendite um +1.8% auf 2.9% zunehmen (Variante 2). Wird die Rendite der Fassadenanlage inkl. der angebauten 24.7 kWp Flachdachanlage berechnet, dann beträgt diese 1.9% (Variante 4). Eine inaktive Metallfassade mit zusätzlicher Wärmedämmung würde nur eine Eigenkapitalrendite von 0.5% erreichen (Variante 1). Insbesondere bei Arealen mit hohem Strombedarf, wo auch ein hoher Eigenstromverbrauch erreicht wird, kann bereits heute die Fassadensanierung mit energieproduzierenden Solarmodulen wirtschaftlicher sein als Fassadenbekleidungen mit inaktiven Elementen.



### 3.2.3 Neubau mit integrierter PV auf Dach und an Fassaden, Vacallo

Das Appartement-Wohnhaus wurde mit integrierten Solaranlagen auf dem Dach und in den Fassaden realisiert. Auf dem Dach befindet sich eine 16.8 kWp Photovoltaikanlage sowie 31m<sup>2</sup> Sonnenkollektoren zur Unterstützung der Heizungsanlage. In den Fassaden wurden Photovoltaikmodule mit einer Gesamtleistung von 29.9 kWp integriert. Es kommen kostengünstige anthrazit-farbige Solarmodule zum Einsatz. Es wurde ausschliesslich ein Modultyp für Dach und Fassade verwendet und auf aufwendige Sonderabmessungen bereits in der Planung verzichtet.

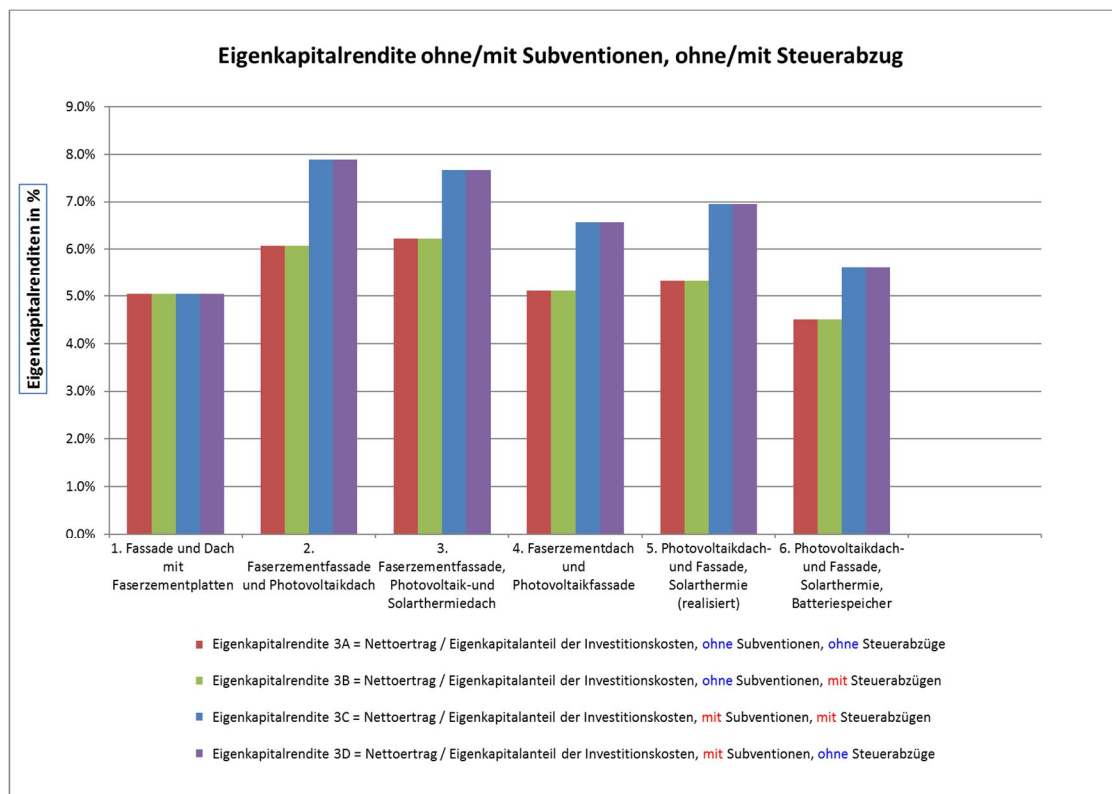


Abbildung 14: EnWI, Variantenvergleich PV und Solarthermie Kollektoren, Neubau Deltarosso in Vacallo (TI)

Die integrierten Solaranlagen erreichen unter Berücksichtigung der Förderbeiträge eine Eigenkapitalrendite von 7.0% (Variante 5). Eine vergleichbare inaktive Gebäudehülle würde lediglich 5.0% Rendite erreichen (Variante 1). Werden ausschliesslich die Dachflächen mit integrierten Solaranlagen, Photovoltaik und Solarthermie genutzt, dann beträgt die Rendite 7.7% (Variante 3). Kommt ausschliesslich Photovoltaik ohne Solarthermie auf dem Dach zum Einsatz, dann steigt die Rendite leicht auf 7.9% (Variante 2). Ausschliesslich die Photovoltaikfassaden erreichen auch beachtliche 6.6% Rendite (Variante 4). Die hohe Eigenkapitalrendite, die mit dem Objekt erzielt wird, ist einerseits im kostenoptimierten Anlagendesign und andererseits durch den sonnenreichen Standort begründet. In Vacallo beträgt der spezifische Jahresenergieertrag der Dachanlage grösser 1'250 kWh/kWp/a und in den Fassaden können Erträge von über 850 kWh/kWp/a erreicht werden. Durch Nutzung eines stationären Energiespeichers kann zwar der Eigenstromverbrauch von 29% auf 60% deutlich erhöht werden. Der berechnete 50 kWh-Speicher wäre für diese Gebäude jedoch überdimensioniert, die Rendite würde um -1.4% auf 5.6% abnehmen

(Variante 6). Das Beispiel zeigt, dass die Dimensionierung der Gesamtsystems massgeblich die Rendite beeinflusst.

### 3.2.4 Neubau mit Photovoltaik-Fassaden, Zürich

An den zwei Neubau-Mehrfamilienhäusern wurden an allen Fassaden massgefertigte farbige Solarmodule mit einer installierten Gesamtleistung von 86 kWp integriert. Zusätzlich befinden sich auf den Dächern angebaute Flachdachanlagen sowie eine integrierte Steildachanlage mit insgesamt 48 kWp.

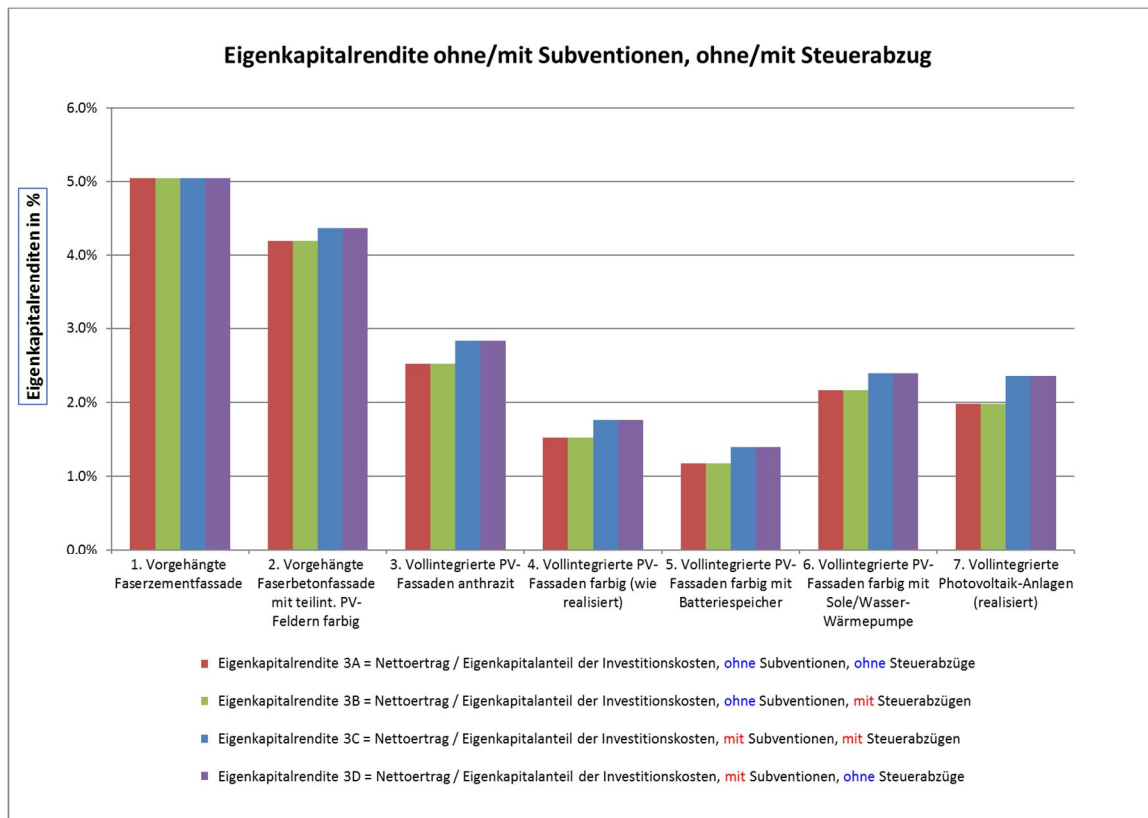


Abbildung 15: EnWI, Variantenvergleich von PV-Fassaden sowie zusätzlichen Dachanlagen, MFHs Oerlikon.

Bei ausschliesslicher Betrachtung der Solarfassaden, wird mit diesen eine Eigenkapitalrendite von 1.8% erreicht (Variante 4). Wird auf die Farbbeschichtung verzichtet und stattdessen werden anthrazitfarbige Solarmodule eingesetzt, dann steigt die Rendite um +1.0% auf 2.8% (Variante 3). Bei einer vereinfachten nicht vollflächigen Ausführungsvariante (Variante 2) mit nur einem Solarmodultyp und mit Belegung der übrigen Flächen mit inaktiven Glas- oder Keramikelementen steigt die Eigenkapitalrendite auf ca. 4.4%. Diese Variante wäre eher eine technische Lösung, die hinsichtlich der architektonischen Gestaltung weniger Potential bietet. Bei Einsatz einer Sole/Wasser-Wärmepumpe anstatt der Nutzung des Fernwärmenetzes würde die Rendite durch Zunahme des Eigenstromverbrauch auf 2.4% zunehmen (Variante 6). Bei Verwendung eines stationärer Batteriespeichers steigt der Eigenstromverbrauch von 34% auf bis zu 85%, die Rendite würde jedoch mit dieser Zusatzinvestition auf 1.4% abnehmen (Variante 5). Bei Betrachtung aller Solaranlagen, die an den Gebäuden realisiert wurden, beträgt die Eigenkapitalrendite 2.4% (Variante 7). Eine herkömmliche Faserzementfassade würde durch die Abschreibung in diesem Fall eine Rendite von 5.0% erreichen (Variante 1).

### 3.2.5 Neubau Minergie-A mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin

Das Minergie-A Hochhaus in Meyrin verfügt über 710 Laufmeter Photovoltaikgeländer auf 11 Stockwerken. Die installierte Leistung der Geländer-Anlage beträgt 114 kWp. Ausserdem verfügt das Gebäude über eine angebaute Flachdachanlage mit 76 kWp. Dank der Geländer-Photovoltaikanlage konnte der Minergie-A-Label für das Gebäude erreicht werden. Die Geländer wurde innenseitig mit Metallblechen abgedeckt. Auf der Aussenseite wurden Standard-Solarmodule verwendet.

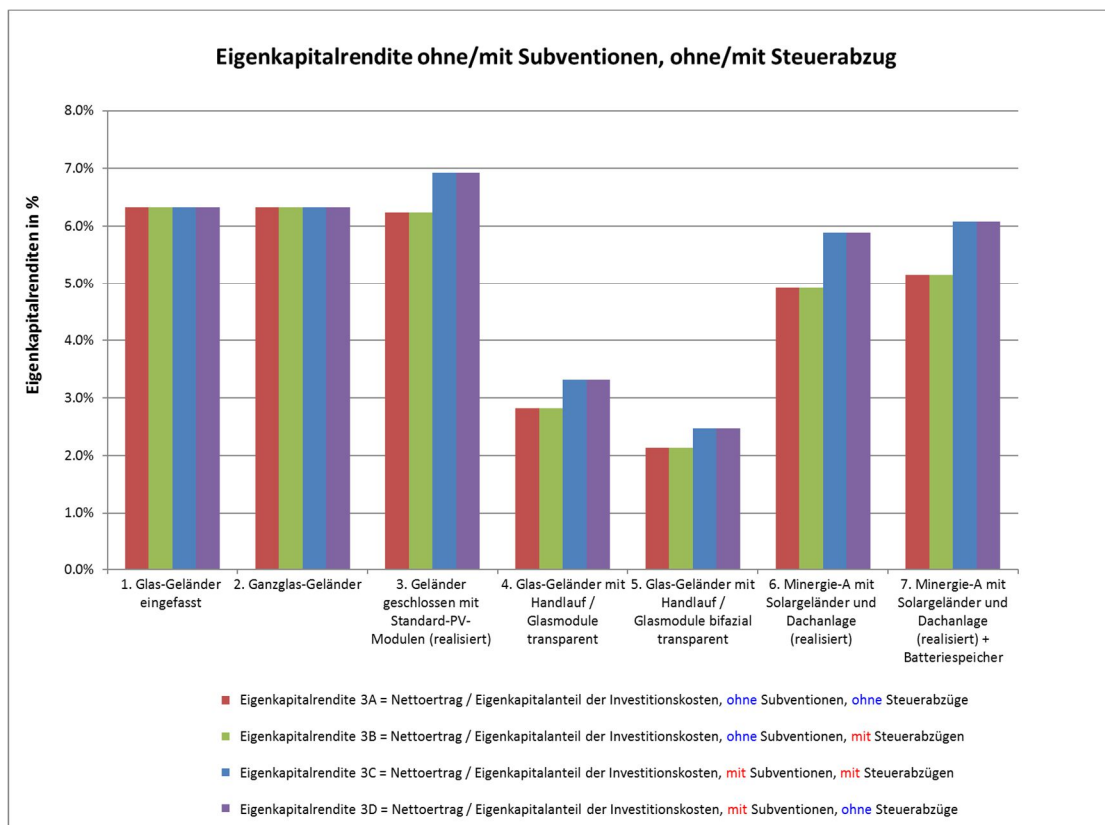


Abbildung 16: EnWI, Variantenvergleich Terrassengeländer an einem Hochhaus, Meyrin.

Die Eigenkapitalrendite der Investition in die aktiven Solargeländer beträgt 6.9% (Variante 3) und ist damit rentabler als ein herkömmliches inaktives Glasgeländer mit nur 6.3% (Variante 1 und 2). Werden semitransparente Glas/Glas-Solarmodule verwendet, dann verringert sich die Rendite deutlich auf 3.3% resp. 2.5% (Variante 4 und 5). Der Grund, sind die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten für semitransparente Glas/Glas-Photovoltaikmodule mit hohen Glasstärken, die für den Personenschutz notwendig sind. In Bezug auf die Ästhetik bieten Glas/Glas-Solarmodule jedoch Vorteile im Vergleich zu den verwendeten Standard-Solarmodulen. Die Eigenkapitalrendite der realisierten Solargeländer inklusive der Dachanlage beträgt 5.9% (Variante 6). Die geringere Rendite bei mehr installierter Anlagenleistung, ist in der Reduktion des Eigenstromverbrauchs von 48% auf 28% begründet (vergleiche Variante 3 und 6). Mit dem Einsatz eines stationären Batteriespeichers kann die Eigenkapitalrendite wieder erhöht werden auf 6.1% (Variante 7), der Eigenstromverbrauch würde von 28% auf 37% zunehmen.

## 4 Handlungsanleitung für energetisch und wirtschaftlich integrierte Solaranlagen

Die nachfolgende Handlungsanleitung dient als Orientierung zur Wirtschaftlichkeitsberechnung integrierter Solaranlagen. Es werden die Berechnungsformeln sowie die relevanten Einflussgrößen erläutert sowie Hinweise für den Planungsprozess gegeben.

### 4.1 Renditeberechnung

#### 4.1.1 Eigenkapitalrendite

Bei Investitionen in Sanierungen und Neubauten ist die Eigenkapitalrendite eines der relevanten Beurteilungsgrößen für Bauherren und Investoren. Da auch der Fremdkapitalanteil berücksichtigt wird, kann die Berechnung sehr praktisch an die Finanzierungssituation des Investors angepasst werden. Bei der Berechnung wird das gesamte Bauteil der Gebäudehülle, d.h. die Kosten der Baukonstruktion inkl. des Solarsystems berücksichtigt. Ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Ausführungsvarianten mit und ohne Solartechnik kann so durchgeführt werden. Allfällige Zusatzinvestitionen ins Gebäudeenergiesystem, wie z.B. dem Einsatz von Wärmepumpen oder Energiespeichern, die den Eigenstromverbrauch massgeblich beeinflussen, können ebenfalls berücksichtigt werden. Die Berechnung der Eigenkapitalrendite wird für Mietliegenschaften angewandt und ermöglicht die Beurteilung der Gesamtinvestition.

Bei Gebäudesanierungen wird neben dem Solarerlös zusätzlich die Überwälzung wertvermehrender Investitionen, die den Energieverbrauch des Gebäudes und damit die Nebenkosten senken im Ertrag berücksichtigt. Die Eigenkapitalrendite wird wie folgt berechnet:

$$\text{Eigenkapitalrendite} = \frac{\text{Überwälzung wertvermehrender Investition} + \text{Erlös PV} - \text{Unterhalt PV} - \text{Annuität Fremdkapital}}{\text{Eigenkapitalinvestition} - \text{Förderbeiträge} - \text{Steuerabzug}}$$

Bei systematischer Projektgestaltung können bei Sanierungen Eigenkapitalrenditen von 1% bis 4% erreicht werden.

Bei Neubauten gilt die gleiche Formel. Neben dem Solarerlös wird jedoch die jährliche Abschreibung der Baukonstruktionskosten anstatt der Überwälzung im Ertrag berücksichtigt:

$$\text{Eigenkapitalrendite} = \frac{\text{Abschreibung Investition} + \text{Erlös PV} - \text{Unterhalt PV} - \text{Annuität Fremdkapital}}{\text{Eigenkapitalinvestition} - \text{Förderbeiträge} - \text{Steuerabzug}}$$

Die Eigenkapitalrendite von integrierten Solaranlagen bei Neubauten beträgt zwischen 2% bis 8%.

#### 4.1.2 Photovoltaikrendite

Eine andere Betrachtung lässt die Renditeberechnung ausschliesslich über die Zusatzkosten der integrierten Solaranlage zu. Mit dieser kann die Effizienz der geplanten Anlage bewertet und eine allfällige Optimierung bei der Anlagenauslegung durchgeführt werden. Die Berechnung eignet sich ebenfalls für angebaute Solaranlagen, wo eine Trennung zwischen den Investitionen in die Gebäudehülle und das Solarsystem besteht.

$$\text{Photovoltaikrendite} = \frac{\text{Ertrag Eigenverbrauch} + \text{Ertrag Überschuss} - \text{Unterhalt} - \text{Amortisation Kapitalkosten}}{\text{Investition Photovoltaik} - \text{Förderbeitrag} - \text{Steuerabzug}}$$

Die Photovoltaikrendite wurde ebenfalls für die Varianten der fünf Referenzobjekte berechnet. Diese erreicht bei Dachanlagen bis zu 12% und bei Fassadenanlagen, die im Verhältnis geringe Erträge liefern, bis zu 4%. Die Berechnungen sind im Anhang 7 zu finden.

## 4.2 Sensitivitätsanalyse

### 4.2.1 Sanierungen mit integrierter Solaranlage

Der Bau integrierter Solaranlagen auf bestehende Gebäude ist eine wirtschaftliche Investition, wenn gleichzeitig die Gebäudehülle darunter energetisch saniert wird. Mit dem Solarerlös plus wertvermehrender Investitionen in die Gebäudehülle, ggf. auch in die Gebäudetechnik, können Renditen von ca. 1% - 4% erreicht werden. Die energetische Gebäudesanierung ohne Solartechnik ist in den meisten Fällen weniger rentabel.

Generell dürfen bei der energetischen Sanierung von Mietliegenschaften wertvermehrende Investitionen, die den Mietern einen zusätzlichen Nutzen bieten, auf den Nettomietzins überwältzt werden. Die Verbesserung der Wärmedämmung oder der Einbau eines erneuerbaren Heizsystems, führt zu einer Senkung der Heiz- und damit der Mietnebenkosten. Sie gelten daher als wertvermehrende Investitionen. Werterhaltende Sanierungen, wie die neue Dacheindeckung, gelten hingegen als Unterhalt und dürfen nicht überwältzt werden. Investitionen in Solaranlagen sind ebenfalls nicht überwältzbar, da dem Eigentümer die Solarerträge zu Gute kommen. Die reine Unterhaltssanierung mit integrierten Solaranlagen stellt ein sehr unwirtschaftliches Szenario dar. Der Solarerlös allein kann die Gesamtinvestition in die integrierte Solaranlage nicht amortisieren. Daher empfiehlt sich, auch gleichzeitig Energiesparmassnahmen, wie das zusätzliche Dämmen, bei Umbau durchzuführen.

Weitere Informationen zum Thema «Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei Sanierungen» sind unter [www.mietrecht.ch](http://www.mietrecht.ch) [3] oder in der BFE-Studie [2] zu finden. Der Kapitalisierungsfaktor, der zur Berechnung der Überwälzung wertvermehrender Investitionen notwendig ist, kann gemäss [3] berechnet werden.

### 4.2.2 Neubauten mit integrierter Solaranlage

Bei Neubauten stellt die integrierte Solaranlage praktisch bei allen Arten der Anwendung eine wirtschaftliche Investition dar. Aus dem Grund empfiehlt sich grundsätzlich die Variante «Solar» im Entwurf oder in der Vorstudie mit der Bauherrschaft zu prüfen. Durch Abschreibung der Baukonstruktion über den Mietzins sowie dem zusätzlichen Solarerlös werden typische Renditen zwischen 2% - 8% erreicht. Zur Berechnung der Abschreibung wird die Investition mit dem Kapitalisierungsfaktor [3] multipliziert und im Ertrag der Renditeberechnung berücksichtigt. Die Höhe der Rendite hängt von verschiedenen Einflussgrössen und Parametern ab, die nachfolgend erläutert werden.

### 4.2.3 Einfluss der Energiekosten auf die Wirtschaftlichkeit

Die Energie- und Stromkosten haben einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen. Bei steigenden Energiepreisen nimmt der Wert des Eigenstromverbrauchs zu und

damit auch die Rentabilität der Solaranlage. Eine Vorhersage der Kostenentwicklung ist kaum möglich, da diese grundsätzlich von politischen Entscheidungen abhängig ist. Um für Solarprojekte dennoch ein mögliches Szenario der Preiskostenentwicklung abzubilden, empfiehlt sich die Berechnung der mittleren jährlichen Energiekosten mit Hilfe des Mittelwertfaktors [4]. Dabei wird der Kalkulationszinssatz, die Teuerung und die Nutzungsdauer der Solaranlage berücksichtigt. Mit diesem Berechnungsmodell liegen die mittleren jährlichen Energiekosten bei einer Nutzungsdauer der Solaranlage von 25 Jahren ca. 10-20% über den aktuellen Strompreisen.

Die Überschussenergie aus Photovoltaikanlagen wird durch das lokale Elektrizitätswerk (EW) für die Energielieferung und für den Herkunftsnachweis (HKN) [5] vergütet. Die Höhe der Vergütung ist ebenso relevant wie der Preis des Eigenstromverbrauchs, da bei typischer Nutzung der Photovoltaik ohne zusätzliche Energiezwischenlagerung ca. 70% - 85% der Energie als Überschuss an das EW abgegeben und lediglich 15% - 30% für den Eigenstromverbrauch genutzt werden. Abhängig vom EW wird der rückgelieferte Strom aktuell mit einem Betrag von 6 bis 13 Rp./kWh vergütet, siehe [www.pvtarif.ch](http://www.pvtarif.ch) [6]. Ein Mindestbetrag von 8 Rp./kWh, d.h. Energiekosten plus HKN wird von der Solarbranche flächendeckend gefordert.

#### **4.2.4 Unterhalts- und Betriebskosten**

Der Einfluss der Unterhalts- und Betriebskosten auf die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen wird zumeist stark unterschätzt. Die typischen Kosten betragen je nach Anlagentyp und -grösse rund 2 - 6 Rp/kWh [7]. Häufige Reparatur- und Unterhaltsarbeiten führen schnell zum unwirtschaftlichen Betrieb der Solaranlage. Insbesondere an Solarfassaden können Reparaturen sehr kostenintensiv werden, da der Zugang nur mit Zusatzgerät möglich ist. Durch die vorausschauende Solarplanung kann ein geringer und einfacher Wartungsaufwand garantiert werden. Der Zielwert für den Unterhalt sollte bei 2 Rp/kWh liegen.

#### **4.2.5 Finanzierung mit Eigen- und Fremdkapital**

Das aktuell niedrige Zinsniveau für Fremdkapital begünstigt die Umsetzung von energetischen Massnahmen und die Investition in erneuerbare Energien. Bei günstiger Fremdkapitalfinanzierung nimmt die Rentabilität der integrierten Solaranlage zu. Rund 50% - 70% der Gesamtkosten sind der Baukonstruktion zuzuordnen. Dieser Anteil kann mit bis zu 80% als Fremdkapital mit tiefen Hypothekarzinsätzen (aktuell <1.5%) finanziert werden. Die Eigenkapitalrenditen können unter den aktuellen Rahmenbedingungen bis zu 8% erreichen.

#### **4.2.6 Steuerabzug und Subvention**

Investitionen in Energiesparmassnahmen und in erneuerbare Energien bei bestehenden Gebäuden können in fast allen Kantonen vollständig von den Steuern abgezogen werden [8]. Bei Neubauten (Baujahr innerhalb der letzten 5 Jahre) kann der Abzug nicht geltend gemacht werden, da die Investition noch keinen Unterhalt darstellt, sondern Teil der Bauinvestition ist. Als steuerabzugsfähiger Betrag gelten die Investitionskosten abzüglich der Förderbeiträge aus dem Gebäudeprogramm und der Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen. Seit dem Jahr 2020 können die Investitionen in der Steuererklärung über 3 Jahren deklariert werden. Je nach Einkommenssituation kann die Rendite der integrierten Solaranlage ausschliesslich durch den

Steuerabzug um ca. 1.0% - 1.5% zunehmen. Im Vergleich, der Anstieg der Rendite durch den Erhalt der Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen beträgt lediglich rund 0.5%.

### **4.3 Bessere Wirtschaftlichkeit durch Solarplanung**

Bei integrierten Solaranlagen können die Investitionskosten, der spezifische Energieertrag und der Eigenstromverbrauch stärker variieren als bei angebauten Solaranlagen. Gestalterische Aspekte werden durch den Architekten hoch gewichtet und die Solarmodule kommen auch an Flächen zum Einsatz, wo sie nicht optimal ausgerichtet sind oder stark beschattet werden. Kurz, das Gesamtkonzept bestehend aus Ästhetik, energetischem Gewinn und der Systemintegration in die Gebäudetechnik ist entscheidend. Die integrale Solarplanung im Bauprozess ist daher wichtig, damit alle Aspekte unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit koordiniert betrachtet werden.

#### **4.3.1 Gebäudeintegrierte Solarmodule**

Die Spanne der reinen Kosten integrierter Solarmodule ist erheblich und reicht von rund 100 CHF/m<sup>2</sup> - 500 CHF/m<sup>2</sup>. Die Wahl von Standard- oder Kleinserie-Produkten garantieren niedrige Anschaffungskosten für integrierte Solaranlagen. Bei Verwendung massgefertigter Solarmodule mit vielen verschiedenen Abmessungen können die Kosten deutlich zunehmen. Sehr grosse und schwere Solarmodule die maschinell transportiert und installiert werden müssen, bewirken hohe Kosten bei Transport und Montage. Die frühzeitige Einteilung und Rasterung der Solarflächen ist zu empfehlen, da auf diese Weise kostenoptimierte Anlagen entstehen können.

#### **4.3.2 Farbtechnologien für Solarmodule**

Die Farbgestaltung von Solarmodulen ist seit einigen Jahren sehr beliebt. Sie bietet vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten für integrierte Solaranlagen. Die Zusatzkosten betragen abhängig von der Farbtechnologie zwischen ca. 50 CHF/m<sup>2</sup> bis 100 CHF/m<sup>2</sup>. Die elektrische Leistung und damit der Energieertrag nehmen durch die Beschichtungen um ca. 10% - 40% ab. Die Farbgebung der Gebäudehülle bewirkt eine Reduktion der Photovoltaikrendite und sollte aus dem Grund als Investition in den Wertbestand der Immobilie betrachtet werden.

#### **4.3.3 Befestigungssysteme**

Die Befestigung der Solarmodule, insbesondere an Fassaden kann in unterschiedlicher Form ausgeführt werden. Von Punkthalterungen bis zu geklebten unsichtbaren Glasbefestigungen gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten. Die Preisespanne für der verschiedenen Befestigungssysteme ist ebenfalls gross, sie bewegt sich zwischen 50 CHF/m<sup>2</sup> – 180 CHF/m<sup>2</sup>. Welches System eingesetzt wird, hängt von der gewünschten Ästhetik, den Sicherheitsanforderungen und dem Baubudget ab.

#### **4.3.4 Leistungseffizienz solarer Flächen**

Standard-Solarmodule verfügen über eine Nominalleistung von ca. 200 Wp/m<sup>2</sup>. Bei Solarmodulen, die objektspezifisch an die Fassade angepasst werden nimmt die Ausnutzungsziffer normalerweise ab. Bedingt durch breite Modulränder, hohe Abstände zwischen den Solarzellen oder Farbbeschichtungen auf Glas oder Zellen kann die Leistung auf unter 100 Wp/m<sup>2</sup> sinken. Dies

bewirkt einen niedrigeren Energieertrag, weshalb auch die finanzielle Rendite entsprechend abnimmt. Die Verwendung von effizienten Standard-Solarmodulen, als teilbelegte Flächen an den Fassaden sind wirtschaftlich vorteilhafter, jedoch in vielen Fällen architektonisch schwer kombinierbar. Die Abstimmung des Designs der Fassadeneinteilung mit den Möglichkeiten der Dimensionierung, der auf dem Markt erhältlichen Solarmodule bietet ein grosses Potential, um ästhetische und rentabel integrierte Solarfassaden realisieren zu können.

#### 4.3.5 Orientierung der Solarmodule

Integrierte Solaranlagen sind an die Flächenausrichtung des Gebäudes gebunden. Solarmodule, die sich nicht in optimaler Südausrichtung befinden, liefern weniger Jahresenergie und damit auch weniger finanziellen Ertrag. Die nicht ertragsmaximierte Ausrichtung z.B. nach Ost und West kann allerdings auch Vorteile bieten, da höhere Erträge in den Randzeiten, morgens und abends, erzielt und der gewünschte Eigenstromverbrauch damit gesteigert werden kann.

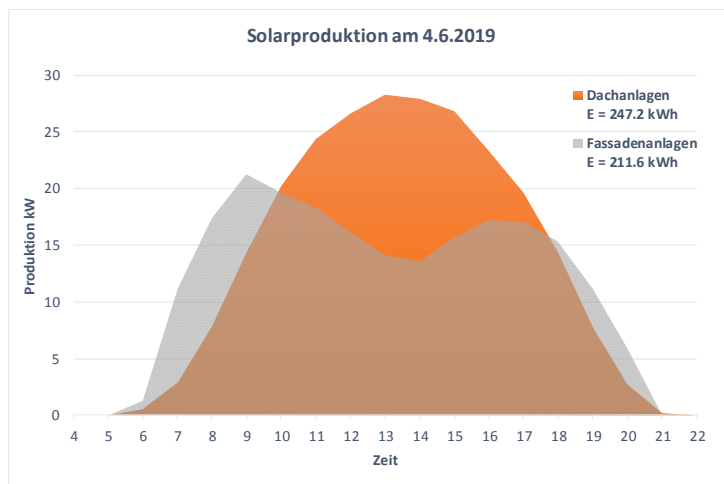


Abbildung 17: Produktionsprofil der 86 kWp gebäudeumlaufenden Solarfassade am Referenzobjekt Zürich und der 48 kWp Dachanlagen auf denselben Gebäuden. In den Randzeiten steht zusätzlicher Solarstrom durch die Fassaden zur Verfügung. Am Mittag entsteht eine Produktionssenke, wenn Überschussenergie von den Dächern kommt.

#### 4.3.6 Wechselrichterkonzepte für integrierte Solaranlagen

Schattenwürfe auf Solarmodulen reduzieren den jährlichen Energieertrag. Besonders bei integrierten Solaranlagen können durch Cheminées, Gebäudevorsprünge, Bäume oder nachbarschaftliche Gebäude Beschattungen auftreten. Durch Energieertragssimulation, Auslegung und Dimensionierung kann die optimale Verkabelung der Solarmodule bestimmt werden, damit ein maximaler Energieertrag erreicht werden kann. Die Wahl des Wechselrichterkonzepts spielt dabei eine zentrale Rolle. Ob String-, Modulwechselrichter oder Power Optimizer verwendet werden, sollte auch unter dem Aspekt der Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten definiert werden.

#### 4.3.7 Solarer Eigenstromverbrauch

Die Höhe des solaren Eigenstromverbrauchs ist sehr relevant für die Wirtschaftlichkeit. Der Wert einer Kilowattstunde im Eigenstromverbrauch entspricht dem Bezugspreis während der Hochtarifzeit des Energielieferanten abzüglich allfälliger Betriebskosten, d.h. ca. 18-23 Rp./kWh. Im



Vergleich dazu sind die Solarproduktionskosten viel niedriger, da keine zusätzlichen Netznutzungskosten beim Eigenstromverbrauch entrichtet werden müssen.

Wird der Solarstrom als Überschussenergie in das Versorgungsnetz abgegeben, vergütet der Energieversorger diesen mit ca. 6 – 13 Rp./kWh. Um eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erzielen, ist möglichst viel Eigenstromverbrauch anzustreben. Der typische Eigenstromverbrauch von Wohngebäuden mit fossilem Heizsystem beträgt rund 15% - 30%. Mit unterschiedlichen Massnahmen kann dieser bis auf ca. 65% - 80% erhöht werden [9]:

1. Einsatz von **Wärmepumpen für Raumwärme und Warmwasser** [10]. Insbesondere bei Bestandsgebäuden bewirkt der Heizungsersatz vom fossilen System auf eine Wärmepumpe einen deutlichen Anstieg der Eigenstromverbrauchs und damit der Rendite der Solaranlage.
2. Geeignete Haushaltsgeräte oder das erneuerbare Heizsystem mittels **Energiemanagementsystem** auf Tagesbetrieb programmieren. Ausschliesslich durch die Betriebsoptimierung kann der Eigenstromverbrauch um bis zu 15% gesteigert werden.
3. Ladenstationen für **E-Mobilität** mit Solarenergie versorgen. In der Gebäudeplanung sind Ladenstationen mit zu berücksichtigen, da von einer deutlichen Bedarfssteigerung in den nächsten Jahren auszugehen ist.
4. Mit **stationären Energiespeichern** [11] kann der Eigenstromverbrauch von Solaranlagen deutlich gesteigert werden. Auf die Wirtschaftlichkeit hat diese Investition bei den aktuellen Preisen für Energiespeicher kaum eine Auswirkung. Kostensenkungspotentiale bei den Batterien, potenzielle Nutzung der Batterien als Regelenergie sowie steigende Energiebezugskosten können dies jedoch bald ändern, sodass auch Investitionen in Batteriesysteme wirtschaftlich sehr interessant werden. Durch den höheren Autarkiegrad können Batterien als Verkaufsargument eingesetzt werden und können so Investitionsentscheidungen beeinflussen.
5. Als einfache Systemtechnik bietet der **Photovoltaik-Heizstab** zur Warmwasseraufbereitung eine kostengünstige Möglichkeit überschüssigen Solarstrom direkt im Gebäude zu nutzen.
6. Unterdimensionierte Solaranlagen erzielen den höchsten Eigenstromverbrauch und sind damit auch sehr wirtschaftlich. Nimmt der Strombedarf durch E-Mobilität und Einsatz von Wärmepumpen in einer Liegenschaft zu, dann bieten zu klein dimensionierte Solaranlagen jedoch kaum zusätzliches Nutzungspotential. Eine weitsichtige Planung der Anlagengrösse über deren zu erwartende Nutzungsdauer ist daher zu empfehlen.

## 5 Quellenverzeichnis

[1] Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungsmassnahmen - Modellrechnungen für Ein- und Mehrfamilienhäuser, Autor: Dr. Ruedi Meier, 15.02.2015 im Auftrag vom Bundesamt für Energie.

[2] Wertvermehrnde und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen, Autoren: Marvin King, Thomas Heim, Urs-Peter Menti, Beat Salzmann, Peter Schwehr, Gianrico Settembrini, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, November 2019, im Auftrag des Bundesamtes für Wohnungswesen (BWO) und des Bundesamtes für Energie (BFE).

[3]

[https://www.mietrecht.ch/fileadmin/files/Investitionen/Dokumente/beispiele\\_ber\\_wertv\\_invest.pdf](https://www.mietrecht.ch/fileadmin/files/Investitionen/Dokumente/beispiele_ber_wertv_invest.pdf)

[4] RAVEL zahlt sich auf, Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Autoren André Müller und Felix Walter, 1992, Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK).

[5] <https://pronovo.ch/de/herkunftsnachweise/>

[6] <https://www.pvtarif.ch>

[7] Broschüre «Betriebskosten von Photovoltaikanlagen», EnergieSchweiz mit Basler & Hofmann

[8] Studie «Besteuerung von Solarstrom-Anlagen», EnergieSchweiz mit VESE (Ende 2020 - Anfang 2021 verfügbar)

[9] Broschüre «Handbuch: Solarstrom-Eigenverbrauch optimieren», EnergieSchweiz mit VESE  
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9323>

[10] Bericht «Wärmepumpen und PV – die clevere Kombination», EnergieSchweiz mit Smart Energy Engineering

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWWRtaW4uY2gvZGUvcHVibGJjYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMTAxNTc=.html>

[11] Broschüre «Stationäre Batteriespeicher in Gebäuden», EnergieSchweiz mit Basler & Hofmann  
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9430>

## 6 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Foto MFH, Magglingen – Dachansicht

Abbildung 2: Mehrfamilienhaus Magglingen, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solaranlagen vs. Faserzementschiefer, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 3: Foto Bürogebäude COOP, Letzipark mit sanierter Fassade

Abbildung 4: Bürogebäude Letzipark, Zürich, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solaranlage vs. Metallfassade, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 5: Foto Neubau Delta Rosso in Vacallo (TI) mit integrierten Solaranlagen auf Dach und an den Fassaden.

Abbildung 6: Mehrfamilienhaus Vacallo, Dach, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solaranlagen vs. Glas/Glas-Dachelemente, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 7: Mehrfamilienhaus Vacallo, Fassade, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solaranlagen vs. Glas/Glas-Fassadenelemente, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 8: Foto Mehrfamilienhäuser, ZH Oerlikon mit vollintegrierten Photovoltaikfassaden und weiteren Anlagen auf den Dächern.

Abbildung 9: Mehrfamilienhäuser Zürich, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solaranlagen vs. Faserzementschiefer, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 10: Foto Wohnhochhaus C4Tour mit Photovoltaik-Geländer, Meyrin.

Abbildung 11: Wohnhochhaus Meyrin, Kennzahlen und Kostenvergleich integrierte Solar-Balkongeländer vs. Glas-Geländer, Kostenanalyse SUPSI.

Abbildung 12: EnWI, Variantenvergleich MFH, Magglingen Dachsanierung.

Abbildung 13: EnWI, Variantenvergleich Fassadensanierung Bürogebäude COOP, Letzipark

Abbildung 14: EnWI, Variantenvergleich Photovoltaik und Solarthermie Kollektoren, Neubau Delta Rosso in Vacallo (TI)

Abbildung 15: EnWI, Variantenvergleich von vollflächig umlaufenden Photovoltaikfassaden sowie zusätzlichen Dachanlagen an den zwei Mehrfamilienhäusern, ZH Oerlikon.

Abbildung 16: EnWI, Variantenvergleich Terrassengeländer am Hochhaus Meyrin.

Abbildung 17: Produktionsprofil der gebäudeumlaufenden Solarfassade