

Mit Unterstützung von



Messdatenanalyse an fünf Liegenschaften, August 2022

Mehr Winterstromproduktion mit PV-Fassaden an MFHs



Quelle: Kämpfen Zinke + Partner AG, Zürich

Autoren

Christian Renken und Pierre-Yves Hubert, CREnergie GmbH, Z.I. En Bovèry 52, 1868 Collombey

Diese Studie wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz und der Gebäudehülle Schweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	4
2.	Mehrfamilienhäuser Affolternstrasse 158 und Oberwiesenstrasse 67/69, ZH Oerlikon	4
2.1	Situationsplan und Anlagendaten	4
2.2	Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf.....	6
2.3	Spezifischer Energieertrag.....	7
2.4	Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden	8
2.5	Winterstromproduktion	9
2.6	Tagesproduktionsverlauf.....	10
3.	Mehrfamilienhaus Segantinistrasse 186, Zürich	11
3.1	Situationsplan und Anlagendaten	11
3.2	Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf.....	12
3.3	Spezifischer Energieertrag.....	12
3.4	Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden	13
3.5	Winterstromproduktion	13
4.	Mehrfamilienhaus Segantinistrasse 188, Zürich	15
4.1	Situationsplan und Anlagendaten	15
4.2	Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf.....	16
4.3	Spezifischer Energieertrag.....	16
4.4	Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden	17
4.5	Winterstromproduktion	18
5.	Mehrfamilienhaus Objekt Obere Wallisellerstrasse 48, Opfikon	19
5.1	Situationsplan und Anlagendaten	19
5.2	Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf.....	19
5.3	Spezifischer Energieertrag.....	20
5.4	Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden	21
5.5	Winterstromproduktion	21
6.	Bewertung der Messresultate und Empfehlung	22
7.	Literaturverzeichnis	24

1. Zusammenfassung

Photovoltaikmodule werden in der Architektur zunehmend als integrales und gestalterisches Bauelement genutzt. Die Produktvielfalt und die Gestaltungsmöglichkeiten haben in den letzten Jahren zugenommen. Individuelle solaraktive Bauwerke können geschaffen werden. Neben der Photovoltaikanlage auf dem Dach, kann mit der Nutzung der Fassaden die Energiebilanz mehrgeschossiger Wohn- oder Gewerbebauten massgeblich verbessert werden. Energielabels und -Nachweise, wie Minergie-A oder GEAK A/A, werden mit Hilfe der Photovoltaik auch bei Gebäuden mittlere Höhe und Hochhäusern erreicht.

Die vorliegende Studie zeigt, dass Photovoltaikfassaden den Energieertrag der Dachanlagen von mehrgeschossigen Wohnbauten mehr als verdoppeln können. Zudem wird mit Fassadenanlagen mehr Solarstrom in den Wintermonaten produziert. Eine höhere energetische Unabhängigkeit durch Eigenstromproduktion dank grosser Photovoltaikanlagen wird erreicht. Im Winter liefern gebäudeumlaufende Solarfassaden ca. 35% - 60%, die übrige Energie produziert die Dachanlage. Die Beschattung der Fassaden im städtischen Raum beeinflusst massgeblich den jährlichen Energieertrag. Der spezifische Energieertrag der Solarfassaden variiert daher viel stärker als bei Dachanlagen. Mit der Auslegung der Strings und der Wahl der Systemtechnik besteht allerdings Optimierungspotential.

Als Grundlage der Studie dienen die effektiv gemessenen Daten der Photovoltaik-Fassaden und Dachanlagen von fünf mehrgeschossigen Wohnbauten während der letzten 2-3 Betriebsjahre. Die Messdaten wurden durch die Wechselrichter oder einem separaten Monitoringsystem erfasst und auf die witterungsbedingte Korrektur der Messdaten wurde verzichtet. Die Praxisstudie zeigt das energetische Potential sowie das unterschiedliche Betriebsverhalten der Teilfassaden. Die Analyse des Eigenstromverbrauchs der Liegenschaften ist nicht Inhalt dieser Studie.

Die Resultate zeigen, dass Südfassaden ca. 40% der Energie im Winterhalbjahr liefern und sie sind damit ideal für die Steigerung der Winterstromproduktion. Die Photovoltaik an Ost- und Westfassaden produziert hauptsächlich Solarenergie in den Morgen- und Abendstunden und deckt damit Bedarfsspitzen, die den Eigenstromverbrauch und den Autarkiegrad steigern. Die Nordfassaden bieten ein oft unterschätztes Ertragspotential, insbesondere wenn das Gebäude leicht nach Ost oder West orientiert ist und die Nordfassade im Sommer direkt besonnt wird. Die Auswertung der Messungen werden nachfolgend dokumentiert und grafisch illustriert.

2. Mehrfamilienhäuser Affolternstrasse 158 und Oberwiesenstrasse 67/69, ZH Oerlikon

Die Ersatzneubauten Affolternstrasse 158 und Oberwiesenstrasse 67/69 in Zürich-Oerlikon wurden mit gebäudeintegrierter Photovoltaik (PV) an allen Fassaden, auf einem Steildach und an einem Geländer sowie mit PV-Aufdachanlagen auf den Flachdächern ausgestattet. Die Inbetriebnahme erfolgte Ende 2018. Die opaken Photovoltaik-Fassadenanlagen der beiden Gebäude liefern pro Jahr bis zu 29'800 kWh und die Flachdachanlagen 42'600 kWh. Die nur teilweise aktiven Solargeländer wurden bei der Messdatenanalyse nicht berücksichtigt. Das Energiekonzept der Ersatzneubauten mit Anschluss am Fernwärmenetz sowie den Photovoltaikanlagen für den Eigenstromverbrauch zeigt exemplarisch wie moderne Mietliegenschaften nachhaltig versorgt werden.

2.1 Situationsplan und Anlagendaten

Die beiden Mietliegenschaften sind um +20° nach Südwesten orientiert. Die Affolternstrasse 158 (OE02774) mit 3 Vollgeschossen verfügt über 8 Appartements und die Oberwiesenstrasse 67/69 (OE02773) ebenfalls mit 3 Vollgeschossen verfügt über 18 Appartements.

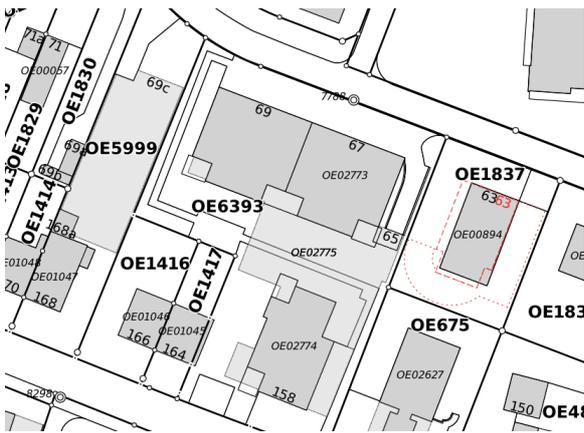


Abb. 2-1: Katasterplan



Abb. 2-2: Luftaufnahme der Liegenschaften

Anlagendaten Affolterstrasse 158

Flachdachanlage:

Monokristalline Glas/Glas-Module rahmenlos, Südwest ausgerichtet, 10° Neigung, installierte Leistung 7.96 kWp, Fläche 45 m², Wirkungsgrad: ca. 17.7%

Fassadenanlagen:

Monokristalline massgefertigte Glas/Glas-Elemente mit blauem Siebdruck, rahmenlos, an allen vier Fassaden, Neigungswinkel 90°, installierte Leistung 32.74 kWp, Fläche 302 m², Wirkungsgrad: ca. 10.8%



Abb. 2-3: Affolterstrasse, Südwest und Südostfassade

Anlagendaten Oberwiesenstrasse 67/69

Flachdachanlage

Monokristalline Glas/Glas-Module rahmenlos, Südwest ausgerichtet, 10° Neigung, installierte Leistung 29.34 kWp, Fläche 166 m², Wirkungsgrad: ca. 17.7%

Fassadenanlagen

Monokristalline massgefertigte Glas/Glas-Elemente mit blauem Siebdruck, rahmenlos, an allen vier Fassaden, Neigungswinkel 90°, installierte Leistung 52.82 kWp, Fläche 481 m², Wirkungsgrad: ca. 10.9%



Abb. 2-4: Oberwiesenstrasse, Südwest- und Südostfassade

Technische Konzept Fassadenanlagen

Die Solarmodule sind jeweils an 2 resp. 3 String-Wechselrichter pro Teilfassade angeschlossen. Jeder String ist mit einem MPP-Tracker verbunden. Es wurden keine Leistungsoptimierer verwendet.

Architekten
 BKG Architekten AG
 Münchsteig 10
 8008 Zürich
 T +41 44 385 93 11
 info@bkg.ch

Solarplaner
 CREnergie GmbH
 Z.I. En Bovéry 52
 1868 Collombey
 T +41 (0)24 557 91 00
 info@crenergie.ch

Unternehmer
 Suntechnics Fabrisolar AG
 Heslibachstrasse 39
 8700 Küsnacht
 T +41 914 28 80
 info@suntechnics.ch

2.2 Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf

Durch die Nutzung der Fassaden nebst der Dachfläche mit Photovoltaik wird der solare Jahresenergieertrag bei mehrgeschossigen Gebäuden deutlich gesteigert. Der energetische Beitrag der Fassadenflächen hängt dabei massgeblich von der Kubatur und damit vom Oberflächenverhältnis Fassaden zu Dach ab. Bei kompakten Baukörpern mit quadratischem Grundriss kann die Solarproduktion der Fassaden die Produktion der Dachanlage übersteigen. Das MFH Affolternstrasse 158 repräsentiert ein solches Beispiel. Die Solarfassaden liefern ca. 55% und die Flachdachanlage ca. 45% der Jahresenergieproduktion bei einer Bruttofläche der Fassaden von 380 m² und einer Dachfläche von 115 m². Bei Bauten mit weniger Vollgeschossen oder einer gestreckten Gebäudeform ergibt sich ein anderes Produktionsverhältnis von Fassaden und Dach, wie das Beispiel MFH Oberwiesenstrasse 67/69 zeigt. Hier liefern die Fassaden lediglich ca. 35% und die Flachdachanlage ca. 65% bei einem Verhältnis der Bruttoflächen von 616 m² Fassade zu 338 m² Dach (Abb. 2-8).

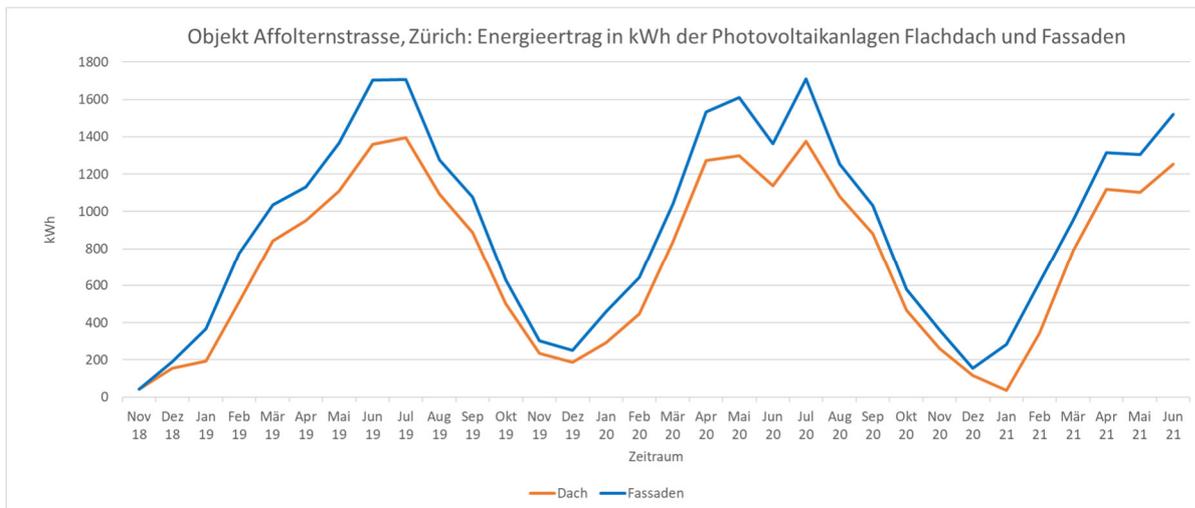


Abb. 2-5: Jahresproduktionsverlauf der PV-Anlagen Affolternstrasse 158

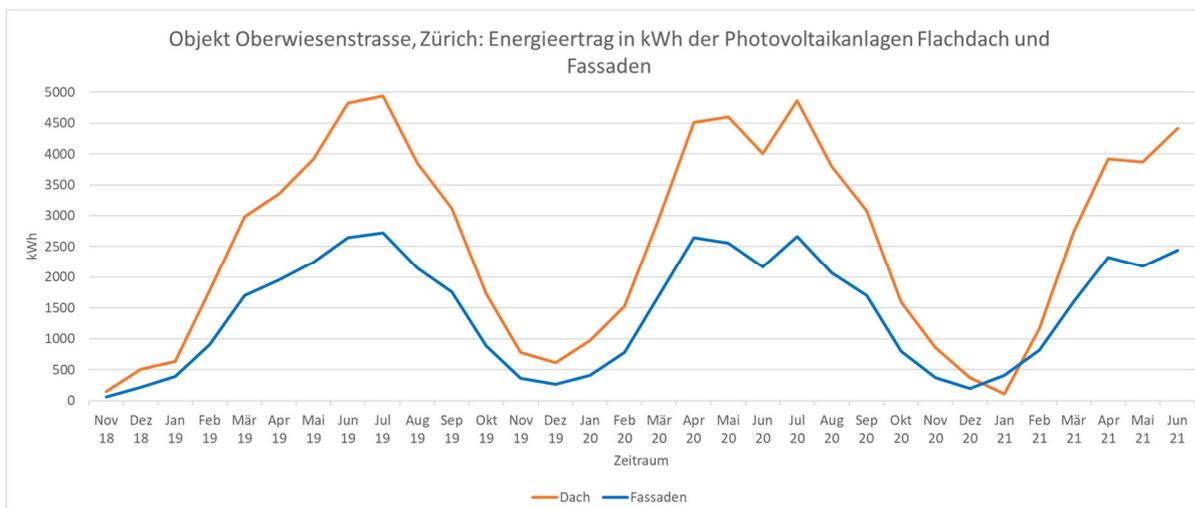
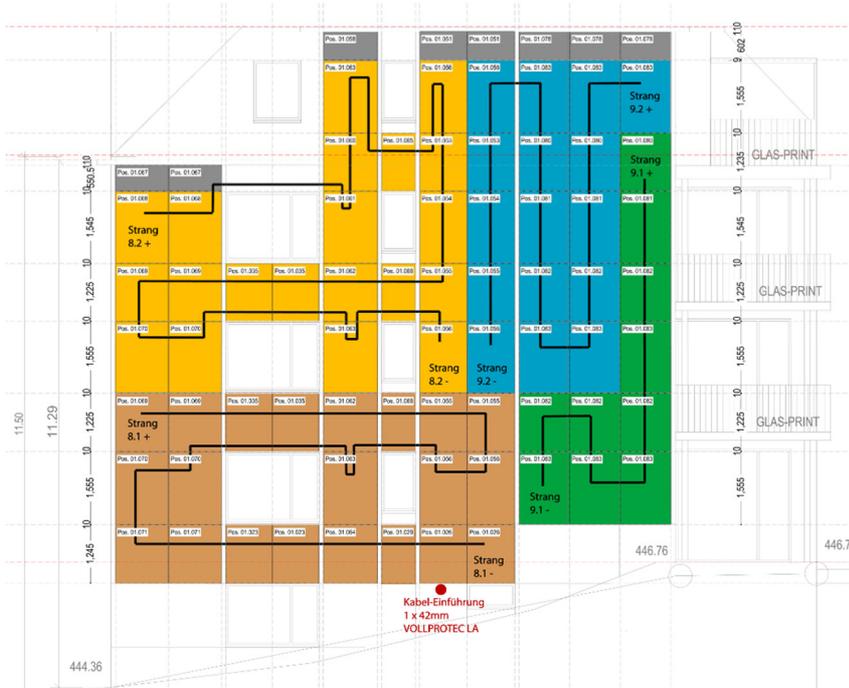


Abb. 2-6: Jahresproduktionsverlauf der PV-Anlagen Oberwiesenstrasse 67/69

Der Verlauf des gesamten Energieertrags von allen Teilfassaden ist mit dem der Dachanlage vergleichbar (Abb. 2-5 und Abb. 2-6). Ein ausgeprägtes Produktionsmaximum im Sommer und ein Minimum im Winter ist vorhanden. Die Produktionsmenge differiert allerdings deutlich. Neben der Ausrichtung der Solarmodule beeinflusst das räumliche Umfeld durch Schattenwürfe die jährliche Energieproduktion der Fassaden. Beschattungen reduzieren massgeblich den solaren Energieertrag. Die Verluste können durch die technische Planung reduziert werden, insbesondere durch die Verschaltung und Platzierung der Modulstrings und dem Einsatz von ausreichend MPP-Trackern (Wechselrichtern) resp. Leistungsoptimierern (Abb. 2-7).



Anlage/ Orientierung	Flachdach +20°	Südwestfassade +20°	Südostfassade -70°	Nordwestfassade +110°	Nordostfassade -160°	Alle Fassaden
Affoltemstrasse						
Produktion Jahr 2020 [kWh]	9'469	3'750	3'698	2'757	1'528	11'732
Spezifischer Ertrag [kWh/kWp/a]	1'189	621	374	313	190	358
Anteil Produktion Fassaden / Dach [%]	45%					55%
Produktion der Teilfassaden [%]	-	32%	32%	23%	13%	100%
Oberwiesenstrasse						
Produktion Jahr 2020 [kWh]	33'130	4'420	5'038	4'589	4'030	18'077
Spezifischer Ertrag [kWh/kWp/a]	1'129	447	425	403	205	342
Anteil Produktion Fassaden / Dach [%]	65%					35%
Produktion der Teilfassaden [%]	-	24%	28%	25%	22%	100%

Abb. 2-8: Vergleich der Energieerträge der Fassaden und Dachanlagen

Die gemessenen Produktionswerte in Abb. 2-8 zeigen den energetischen Beitrag der einzelnen Fassaden, der von der Performance, aber auch von der Grösse der Solarfläche abhängig ist. So liefert die Nordostfassade an der Oberwiesenstrasse annähernd den gleichen Jahresertrag wie die Südwestfassade. Die höchsten Erträge werden von der Ost- und Westfassade erreicht. Grundsätzlich empfiehlt sich, die zu erwartenden Energieerträge aus den Teilfassaden in der Projektplanung zu simulieren, damit eine Entscheidungsgrundlage zur Nutzung der Fassaden mit Photovoltaik geschaffen werden kann. Die Messwerte von den beiden Objekten zeigen, dass Solarfassaden keine Lieferanten von maximalen Energieerträgen sind. Sie bieten vielmehr die Möglichkeit eine ausgewogene Energiebilanz zwischen Verbrauch und Erzeugung, ideal für Plusenergiegebäude und damit eine Zunahme des Autarkiegrads bei mehrgeschossigen Gebäuden zu erreichen. Im Jahr 2019 wurde bei den beiden Liegenschaften ein Eigenstromverbrauch von 28% und ein Autarkiegrad von 45% erreicht.

2.4 Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden

Der Verlauf der Jahresproduktion in kWh/kWp zeigt das Betriebsverhalten der Teilfassaden (Abb. 2-9 und 2-10). Die Photovoltaik an Südfassaden liefert ab Frühjahr bis Herbst vergleichsweise konstante Erträge. Das Produktionsmaximum wird im März/April und im September/Oktobre erreicht. Im Winter ist die Performance der Südfassade gleich wie die der Dachanlage. Der Ertrag der Fassaden wird im Winter durch den eingeschränkten Horizont durch nachbarschaftliche Gebäude begrenzt. An Standorten mit sonnigem Winterwetter, wie z.B. in den voralpinen und alpinen Regionen, ist das Ertragspotential der Südfassade im Winter deutlich höher.

Bei Schnee liefern Solarfassaden weiter Strom und der Ertrag nimmt durch Schneereflektionen sogar noch zu. Dachanlagen mit geringem Neigungswinkel stellen demgegenüber bei Schneebedeckung den Betrieb ein, wie in Abb. 2-9 und 2-10 im Januar 2021 zu erkennen ist.

Der spezifische Energieertrag von Ost- und Westfassaden verläuft in einem Sommermaximum und Winterminimum. Die Erträge sind im Sommer vergleichbar mit den der südorientierten Fassaden. In den übrigen Monaten nimmt die Performance aufgrund längerer Beschattungsperioden ab.

Die Nordfassaden erzielen übers Jahr den geringsten spezifischen Energieertrag. Allerdings verfügen Nordfassaden oft über einen hohen Flächenanteil, da wenig Fensterfläche vorhanden ist. So können sie einen relevanten Anteil an der Gesamtenergiemenge liefern. Ist die Nordfassade leicht nach West oder Ost orientiert, dann liefert sie morgens resp. abends zusätzlich wertvolle Energie für den Strombedarf in den Randzeiten. Das Ertragspotential der nordorientierten Fassaden wird in vielen Fällen unterschätzt und sollte daher bei der Planung vorgängig geprüft werden.

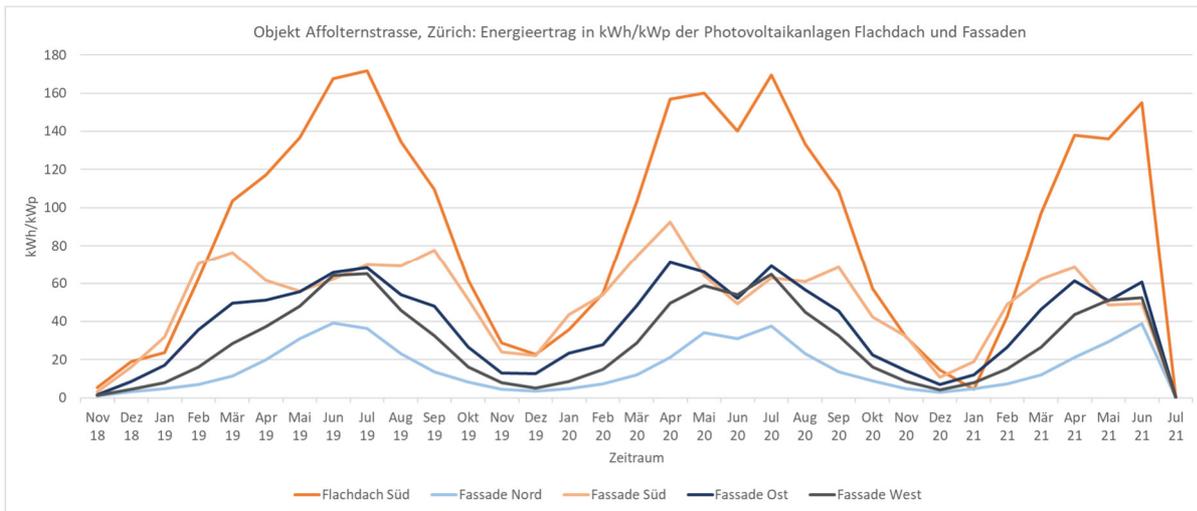


Abb. 2-9: Affolternstrasse: Jahresproduktion umgerechnet in kWh/kWp der Fassaden und des Daches

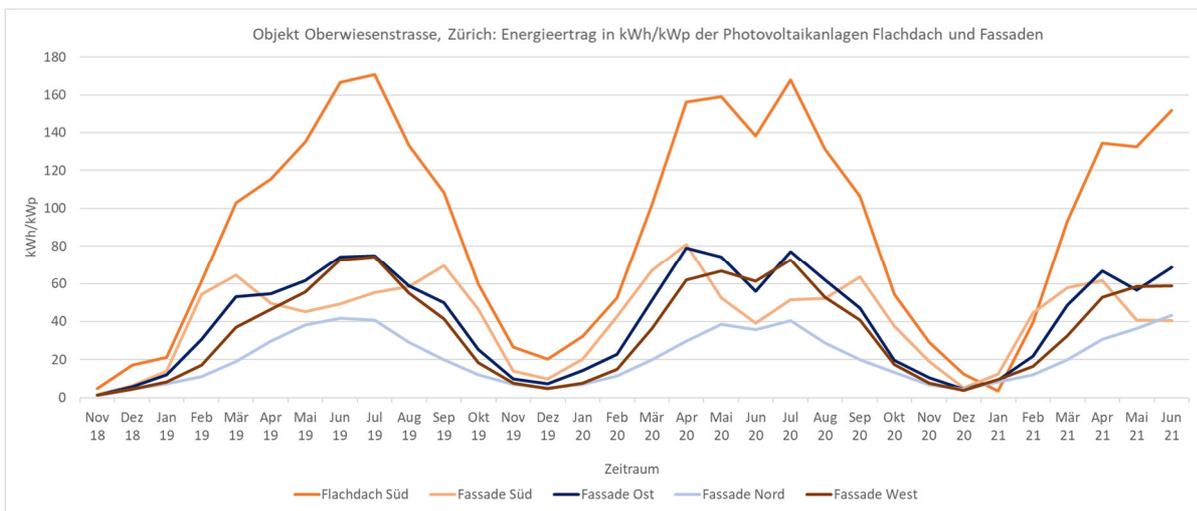


Abb. 2-10: Oberwiesenstrasse: Jahresproduktion umgerechnet in kWh/kWp der Fassaden und des Daches

2.5 Winterstromproduktion

Bei ausschliesslicher Betrachtung der sechs Wintermonate im Jahr 2020, liefern die Fassaden der Affolternstrasse 57% und die Dachanlage 43% des Energieertrags. An der Oberwiesenstrasse erreichen die die Solarfassaden lediglich 34% und die Dachanlage 66%. Die nach Süden orientierten Fassaden tragen am meisten zur Winterstromproduktion bei. Die nördlich orientierten Fassaden befinden sich in der Winterperiode mehrheitlich im Schatten. Der spezifische Energieertrag dieser Fassaden nimmt dadurch deutlich ab (Abb. 2-11).

Anlage/ Orientierung	Flachdach +20°	Südwestfassade +20°	Südostfassade -70°	Nordwestfassade +110°	Nordostfassade -160°	Alle Fassaden
Affolternstrasse						
Winterproduktion 2020 [kWh]	2'422	1'473	854	593	314	3'234
Winterproduktion, Anteil Fassaden / Dach [%]	43%					57%
Winterproduktion der Teilfassaden [%]	-	46%	26%	18%	10%	100%
Oberwiesenstrasse						
Winterproduktion 2020 [kWh]	8'277	1'264	1'128	915	957	4'264
Winterproduktion, Anteil Fassaden / Dach [%]	66%					34%
Winterproduktion der Teilfassaden [%]	-	30%	26%	21%	22%	100%

Abb. 2-11: Winterstromproduktion und der Produktionsanteil der Fassaden

Die Berechnung des Produktionsverhältnisses Sommer- und Wintermonate für das Jahr 2020 von jeder Fassade zeigt am Beispiel der Affolternstrasse in Abb. 2.-12, dass die Südfassade ca. 39% im Winter und

61% im Sommer liefert. Die Dachanlagen erreichen ca. 26% im Winter zu 74% im Sommer. Der Winteranteil der Ost- und Westfassade beträgt mit 28% und 21% leicht unter dem der Dachanlage. Sind Ost- und Westfassade eher südlich orientiert, dann nimmt der Winteranteil zu, ist die Orientierung eher in nördliche Richtung, dann nimmt der Winteranteil ab. Die grösste Differenz in der saisonalen Produktionsverteilung weist die Nordfassade mit nur 20% Winteranteil und über 80% Sommeranteil auf.

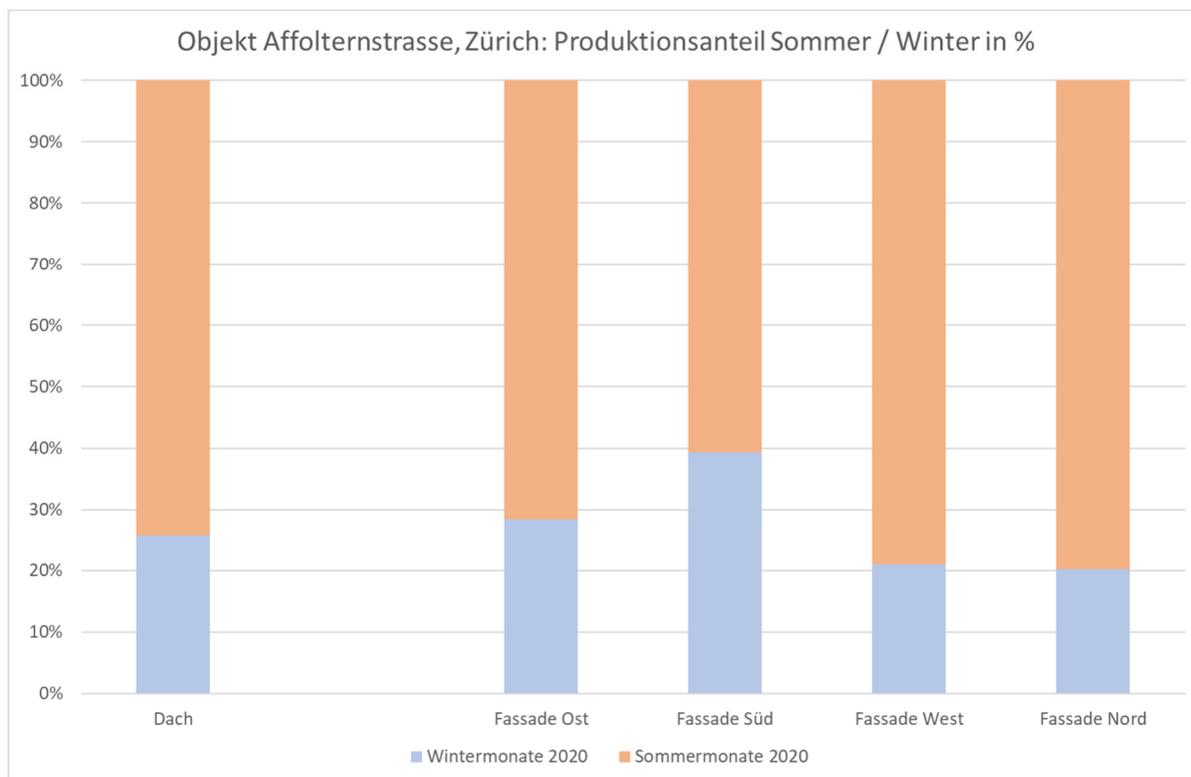


Abb. 2-12: Produktionsverhältnis Sommer/Winter der Teilanlagen

2.6 Tagesproduktionsverlauf

Der Auswertung des spezifischen Ertrags in Wh/kWp von zwei Schönwettertagen im Sommer und im Herbst zeigt, dass im Sommer die Ost- und Westfassaden, die meiste Energie in den Randzeiten liefern (Abb. 2-13). Das deckt sich mit den typischen Bedarfsspitzen in Wohnliegenschaften. Das Produktionsmaximum der Südfassade wird im Hochsommer durch den steilen Einstrahlungswinkel der Sonne zur Mittagszeit deutlich limitiert. Im Frühjahr und Herbst nimmt die Produktion wieder durch den tieferen Sonnenstand zu und übersteigt sogar die Performance der Dachanlage (Abb. 2-14). Im Sommer wird die Nordostfassade morgens direkt besonnt und liefert damit einem Produktionspeak. Der solare Eigenstromverbrauchs und der Autarkiegrad der Liegenschaft wird mit der Nutzung der Fassaden verbessert.

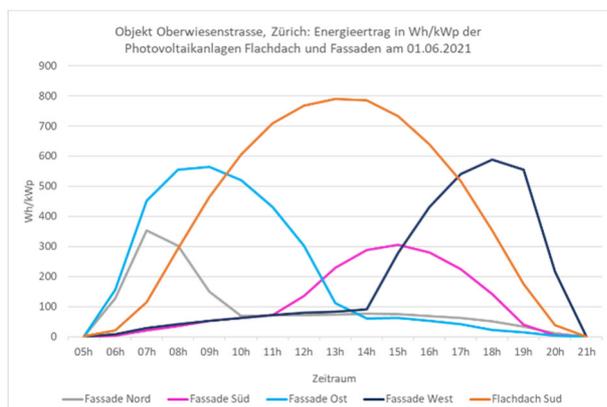


Abb. 2-13: Oberwiesenstrasse: Produktionsverlauf im Sommer

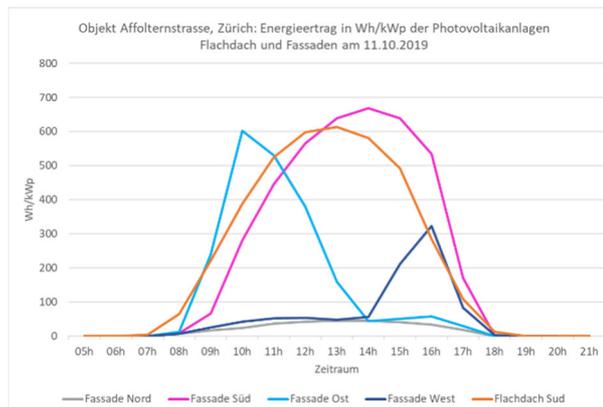


Abb. 2-14: Affolternstrasse: Produktionsverlauf im Herbst

3. Mehrfamilienhaus Segantinstrasse 186, Zürich

Der Minergie-P Neubau Segantinstrasse 186 wurde im Jahr 2019 erstellt. Das Gebäude verfügt über 6 Wohnungen. Alle Fassadenseiten des Holzbaus bestehen aus farbigen Photovoltaikmodulen. Das Flachdach besteht aus einer geschlossenen Fläche von Photovoltaikmodulen mit geringem Neigungswinkel. Dank der zusätzlichen Energieproduktion durch die Photovoltaikfassaden wird die Liegenschaft zu einem Plusenergiegebäude.

3.1 Situationsplan und Anlagendaten

Die Liegenschaft ist um 10° nach Südwest orientiert (HG02793) und verfügt über drei Vollgeschosse.

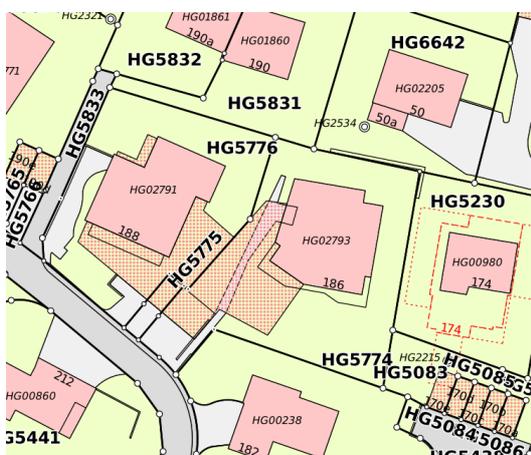


Abb. 3-1: Katasterplan



Abb. 3-2: Luftaufnahme der Liegenschaft

Flachdachanlage

Monokristalline bifaziale Glas/Glas-Module, rahmenlos (85 Stück), ca. 3° Neigung, installierte Leistung 25.08 kWp, Fläche 144.5m², Wirkungsgrad: ca. 17.4%

Fassadenanlagen

Monokristalline massgefertigte Glas/Glas-Elemente zu 50% mit einer karierten Farbstruktur bedruckt, rahmenlos, verschiedene Modulgrößen zwischen 50 Wp und 265 Wp, an allen vier Fassaden vollintegriert. Installierte Leistung 44.13 kWp, verteilt auf die Fassaden Ost: 10.7 kWp, Süd: 6.93 kWp, West: 12.52 kWp, Nord: 13.98 kWp, Gesamtfläche 338m², Wirkungsgrad: ca. 13.1%

Technisches Konzept

Die Solarfelder sind auf jeder Fassade in 4 Strings resp. 3 an der Nordostfassade unterteilt und jeweils mit einem String-Wechselrichter verbunden. Die Solarmodule werden in Serie von 2-5 Stück geschaltet mit Leistungsoptimierern betrieben.

Architekturbüro
Kämpfen Zinke + Partner AG
Badenerstrasse 571
8048 Zürich
T +41 (0)44 344 46 20
info@kaempfen.com

Solarplaner
sundesign
Gamlikon 14
8143 Stallikon
T +41 (0)44 390 14 58
pv@sundesign.ch

Unternehmer
Planeco Solar AG
Tramstrasse 66
4142 Münchenstein
T +41 (0)61 531 48 10
info@planeco.ch

3.2 Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf

Im Jahr 2020 wurde bisher der höchste Energieertrag von 36'609 kWh erzielt. Der Anteil der Energieproduktion der Fassaden betrug 9'630 kWh, dies entspricht rund 26%. Die Dachanlage lieferte 74% der Energie. Die Dachanlage verfügt im Verhältnis zur Fassadenanlage über eine hohe installierte Leistung, da das gesamte Flachdach mit einer geschlossenen Solarmodulfläche belegt wurde. Der Anteil des Energieertrags ist daher deutlich höher als der von den Solarfassaden.

Treten Schneebedeckung im Winter auf, setzt die Produktion der Dachanlage allerdings aus, da der Schnee nicht abrutschen kann. In Abb. 3-3 ist im Januar und Februar 2021 ein solcher Produktionsausfall erkennbar. Die Fassadenanlagen liefern währenddessen weiter Energie. Schneereflektion vom Boden begünstigen zusätzlich die Produktion der PV-Fassaden.

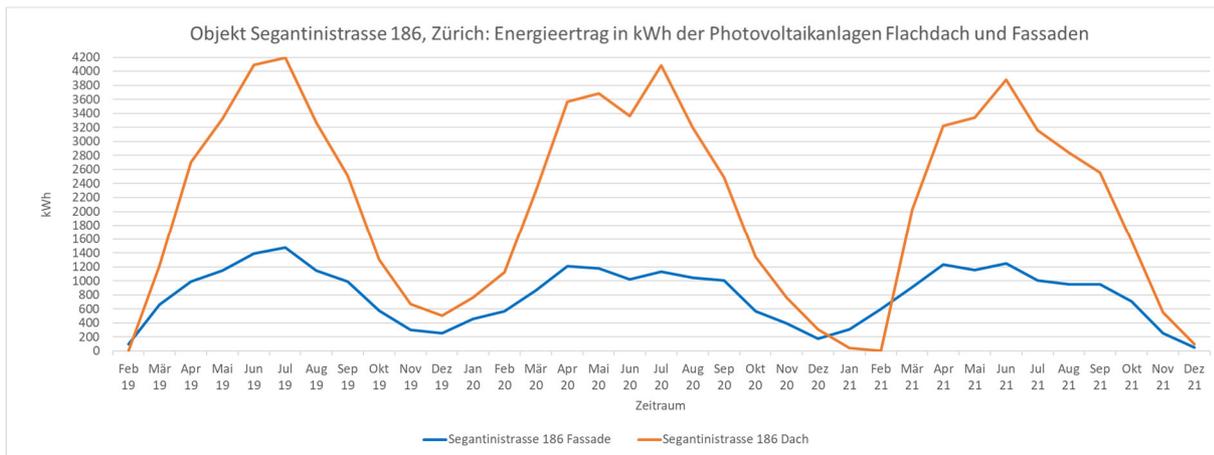


Abb. 3-3: Jahresproduktionsverlauf der PV-Anlagen Segantinistrasse 186

3.3 Spezifischer Energieertrag

Der Jahresenergieertrag ist vom Standort und von der Ausrichtung der Solarmodule abhängig. Für den Vergleich von Dach- und Fassadenanlagen mit unterschiedlicher Modultechnologie und Wirkungsgrad wird die gemessene Energieproduktion als spezifischer Ertrag in kWh/kWp/Jahr umgerechnet (Abb. 3-4). Im Jahr 2020 lieferte die Südfassade von allen Fassaden den höchsten spezifischen Energieertrag mit 476 kWh/kWp/a. Der effizienteste String erzielte 608 kWh/kWp/a. Das Flächenpotential für Photovoltaik an Südfassaden ist bei vielen Gebäuden limitiert, da hier ein hoher Fensteranteil vorhanden ist. Bei der Segantinistrasse 186 verfügt die Südfassade mit 6.93 kWp Anlagenleistung nur über rund die halbe installierte Leistung im Vergleich zu den anderen Fassaden. Die Ost- und Westfassade erreicht 181 und 294 kWh/kWp/a. Die begrenzte Produktion der Ostfassade ist durch Beschattung von Bäumen entlang der nachbarschaftlichen Parzellengrenze begründet (Abb. 3-6). Im Juli 2020 wurden die Bäume entfernt. Im Folgejahr 2021 stieg der Energieertrag auf 304 kWh/kWp/a und war damit sogar höher als der Jahresertrag der Westfassade mit 272 kWh/kWp/a. In der Nordfassade wurden 41 kWh/kWp/a erreicht. Der eingeschränkte Horizont durch den Hang direkt hinterm Gebäude begrenzt die Anlagenproduktion (Abb. 3-5). Die Dachanlage erzielte 1'076 kWh/kWp/a.

Anlage/ Orientierung	Flachdach +10°	Südfassade +10°	Ostfassade -80°	Westfassade +100°	Nordfassade -170°	Alle Fassaden
Segantinistrasse 186						
Produktion Jahr 2020 [kWh]	26'979	3'294	1'942	3'682	713	9'631
Spezifischer Ertrag [kWh/kWp/a]	1'076	476	181	294	41	218
Produktionanteil Fassaden / Dach [%]	74%					26%
Produktion der Teilfassaden [%]	-	34%	20%	38%	7%	100%

Abb. 3-4: Gemessener Energieertrag im Jahr 2020 und Vergleich der Produktion

3.4 Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden

Die Photovoltaik der Südfassade liefert das typische Maximum im März/April und ein weiteres im September/Oktober. Zwischen November bis Februar liegt die Performance der Südfassade über die der Dachanlage. Die monatliche Energieproduktion an Ost- und Westfassade verläuft in einem Sommermaximum und Winterminimum. Der spezifische Energieertrag dieser Fassaden überschreitet im Hochsommer den Ertrag der Südfassade trotz nur halbtägiger Besonnung. Im Winter nimmt der Ertrag aus Ost- und Westfassade ab, da die Eigenbeschattung deutlich zunimmt. Gleiches gilt auch für die Nordfassade (Abb. 3-7).



Abb. 3-5: Ansicht Nord- und Westfassade



Abb. 3-6 Süd- und Ostfassade

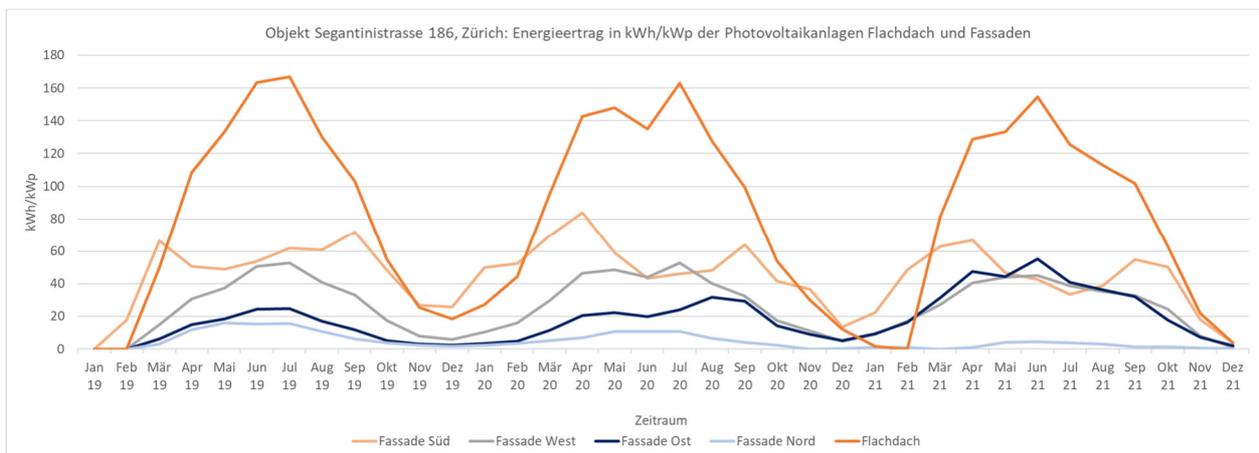


Abb. 3-7: Vergleich der spezifischen Energieerträge der Dach- und Fassadenanlagen

3.5 Winterstromproduktion

Zur Betrachtung der Winterstromproduktion wird das Jahr 2021 in Abb. 3-8 gezeigt, da die Ostfassade ab dem Betriebsjahr nicht mehr durch Bäume beschattet wird und eine bessere Performance aufweist. In den sechs Wintermonaten im Jahr 2021 beträgt der Produktionsanteil der Fassaden ca. 40% und die Dachanlage liefert ca. 60%. Zum Vergleich über das gesamte Produktionsjahr, beträgt das Verhältnis nur 29%/71%. Bei diesem Objekt ist der energetische Winterbeitrag unter den Teilfassaden Süd, West und Ost mit 27% - 35% sehr ausgewogen, d.h. jede Fassade trägt mit rund 1/3 zur Winterproduktion bei. Die Nordfassade befindet sich im Winter mehrheitlich im Schatten und im Jahr 2021 gab es Produktionsunterbrüche.

Anlage/ Orientierung	Flachdach +10°	Südfassade +10°	Ostfassade -80°	Westfassade +100°	Nordfassade -170°	Alle Fassaden
Segantinistrasse 186						
Winterproduktion 2021 [kWh]	4'301	1'058	816	935	28	2'836
Winterproduktion, Anteil Fassaden / Dach [%]	60%					40%
Winterproduktion der Teilfassaden [%]	-	35%	27%	31%	1%	94%

Abb. 3-8: Winterstromproduktion und der Produktionsanteil der Fassaden

Bei Betrachtung der Funktionalität der einzelnen Fassaden in Abb. 3-9, zeigt sich der Produktionsanteil der Südfassade mit 59% Produktion in den Sommermonaten und 41% in den Wintermonaten recht ausgeglichen. Bei der Dachanlage beträgt das Verhältnis im Jahr 2021 nur 18% im Winter und 82% im Sommer. Der geringe Winteranteil ist in der Schneebedeckung im Januar und Februar begründet. Bei Ost- und Westfassade beträgt der Sommerproduktionsanteil 73% - 75% und der Winteranteil 25% - 27%. Die Nordfassade liefert lediglich 18% im Winterhalbjahr.

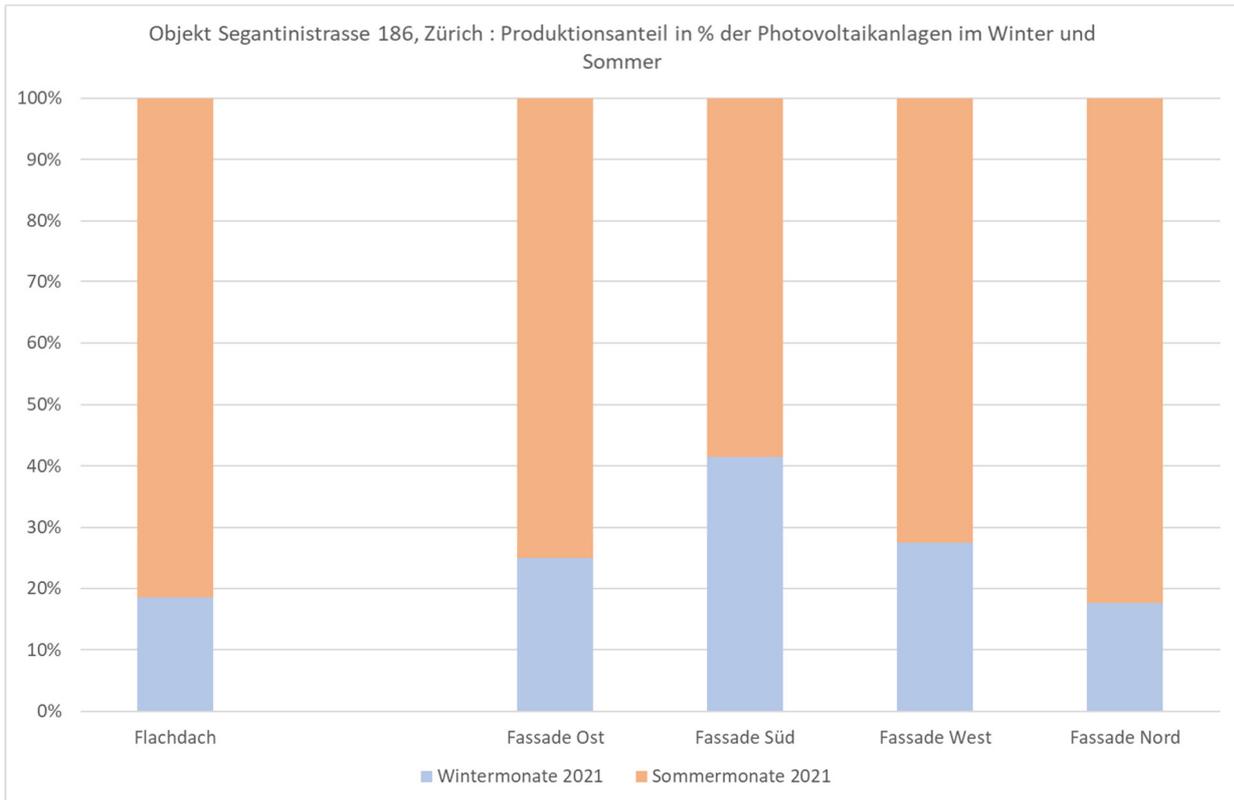


Abb. 3-9: Produktionsverhältnis Sommer/Winter von allen Teilanlagen

4. Mehrfamilienhaus Segantinstrasse 188, Zürich

Der Mehrfamilienhaus Segantinstrasse 188 steht direkt neben dem Mehrfamilienhaus Segantinstrasse 186 und wurde ebenfalls im Jahr 2019 fertiggestellt. Es verfügt über 9 Wohnungen. Alle Fassadenseiten wurden mit blau/grauen Photovoltaik-elementen eingekleidet. Auf dem Flachdach wurde eine Photovoltaik-anlage mit Ost-/West-Aufständigung installiert.

4.1 Situationsplan und Anlagendaten

Die Liegenschaft ist um 24° nach Südwesten orientiert (HG02791) und verfügt über 3 Vollgeschosse.

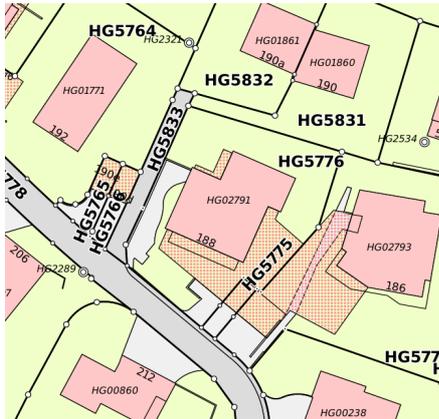


Abb. 4-1: Katasterplan



Abb. 4-2: Aufnahme Südost- und Südwestfassade der Liegenschaft

Flachdachanlage

Monokristalline Solarmodule, 62 Stück 360Wp, Ost-/West ausgerichtet, 10° Neigung, installierte Leistung 22.32 kWp, Fläche 106 m², Wirkungsgrad: ca. 21.06%

Fassadenanlagen

Monokristalline massgefertigte farbige Glas/Glas-Elemente, rahmenlos, an allen vier Fassaden, 90° Neigungswinkel, installierte Leistung 62.8 kWp aufgeteilt auf die Fassaden Ost: 15.7 kWp, Süd: 13.6 kWp, West: 16.1 kWp, Nord: 17.3 kWp, Gesamtfläche 428 m², Flächenwirkungsgrad: ca. 14.7%

Technisches Konzept

Die Solarfelder sind an der Teilfassaden in 4 Strings resp. 3 an der Nordostfassade unterteilt und jeweils mit einem String-Wechselrichter verbunden. Jeweils 2 - 6 Solarmodule werden mit einem Leistungsoptimierern betrieben.

Architekturbüro
Pfister+Koller Architekturbüro
Waldegweg 17
8302 Kloten
T +41 (0)44 815 59 59

Solarplaner
sundesign
Gamlikon 14
8143 Stallikon
T +41 (0)44 390 14 58
pv@sundesign.ch

Unternehmer
Planeco Solar AG
Tramstrasse 66
4142 Münchenstein
T +41 (0)61 531 48 10
info@planeco.ch

4.2 Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf

Im Jahr 2020 betrug die Solarproduktion 43'718 kWh. Dies entspricht in etwa dem kalkulierten Gesamtenergiebedarf der Liegenschaft für Heizen, Warmwasser und Elektrizität. Die Solarfassaden lieferten 18'705 kWh und die Dachanlage 25'013 kWh. D.h. 43% der Energie wird von den Fassaden und 57% von der Dachanlage geliefert (Abb. 4-3). Im Winterhalbjahr liefern alle Fassadenanlagen zusammen etwas mehr Energieertrag als die Dachanlage (Verhältnis 51%/49%).

Die Teilerträge aus den Fassaden sind relativ ausgeglichen. Die Südostfassade lieferte im Jahr 2020 36%, die Südwestfassade 30% und die etwas mehr beschattete Nordwestfassade 25%. Die Nordostfassade, die gegen den Hang orientiert ist, lieferte immerhin noch 9% der Gesamtproduktion der Fassaden. Bei zusätzlicher Nutzung der Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden kann ein Plusenergiegebäude mit ausgeglichener Energiebilanz von Bedarf und Ertrag erzielt werden, wie auch dieses Objektbeispiel zeigt.

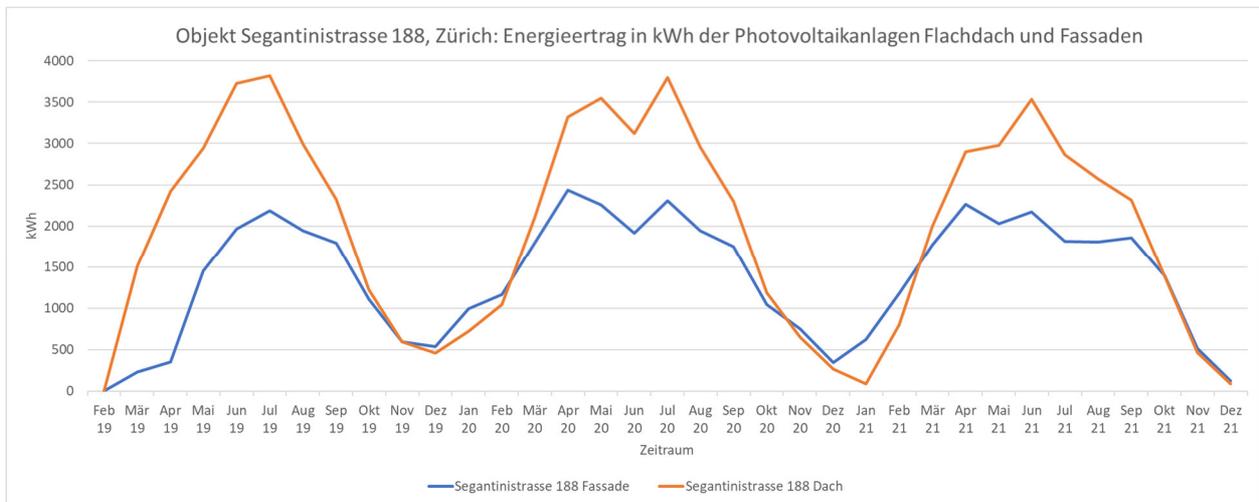


Abb. 4-3: Jahresproduktionsverlauf der PV-Anlagen Segantinistrasse 188

4.3 Spezifischer Energieertrag

Zum Vergleich der Performance von Dach- und Fassadenanlagen mit unterschiedlicher Modultechnologie und Wirkungsgrad wird die gemessene Energieproduktion als spezifischer Ertrag in kWh/kWp/Jahr umgerechnet (Abb. 4-4).

Bei diesem Objekt erreicht die Südwest- und die Südostfassade mit 412 und 428 kWh/kWp/a in etwa die gleiche Performance. Die Südwestfassade müsste eigentlich mehr Ertrag liefern auf Grund der besseren Südausrichtung. Die Solarmodule werden allerdings durch die eigene Gebäudekonstruktion z.T. beschattet. Die effizienteste Modulstring der Südwestfassade produzierte 613 kWh/kWp/a. Die Nordwestfassade ist eher nach West als nach Nord orientiert. Die Solarmodule werden durch Bäume und das angrenzende Gebäude beschattet und liefert dadurch nur 284 kWh/kWp/a. Die Nordostfassade erreicht 102 kWh/kWp/a. Die Dachanlage erzielt im Vergleich 1'121 kWh/kWp/a (Abb. 4-4).

Anlage/ Orientierung	Flachdach	Südwest- Fassade +24°	Südost- Fassade -66°	Nordwest- Fassade +114°	Nordost- Fassade -156°	Alle Fassaden
Segantinistrasse 188						
Produktion Jahr 2020 [kWh]	25'013	5'624	6'735	4'590	1'757	18'705
Spezifischer Ertrag [kWh/kWp/a]	1'121	412	428	284	102	298
Produktionanteil Fassaden / Dach [%]	57%					43%
Produktion der Teilfassaden [%]	-	30%	36%	25%	9%	100%

Abb. 4-4: Vergleich Jahresenergieertrag von Fassaden und Dachanlagen



Abb. 4-5: Teilweise beschattete Nordwestfassade am Nachmittag

4.4 Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden

Die Photovoltaik an der Südwestfassade liefert sehr konstant Energie von Frühjahr bis Herbst mit zwei Peaks im März/April und im September/Oktobre. Im Winter ist der spezifische Energieertrag der Südwestfassade leicht über dem der Dachanlage. Auch bei dieser Anlage ist der Ertragsvorteil der Fassaden gegenüber der Dachanlage bei Schneeaufkommen sichtbar, siehe Abb. 4-6 im Januar 2021.

Die monatliche Energieproduktion der Ost- und Westfassade verläuft von April bis September sehr konstant, auch wenn diese Fassaden in der Tagesproduktion jeweils nur halbtags relevante Energiemengen liefern. Die Nordfassade trägt mit ca. 10% zur Energieproduktion der Fassaden bei. Aus architektonischen Gründen wird oft die gleiche Materialisierung in allen Fassaden gewünscht. Die Zusatzkosten für solaraktive Glaselemente mit Siliziumzellen im Vergleich zu gleichen Glaselementen ohne Siliziumzellen sind kaum höher, daher sollte die solaraktive Nordfassade nicht an den Mehrkosten scheitern und grundsätzlich bei der Projektvorstudie in Betracht gezogen werden.

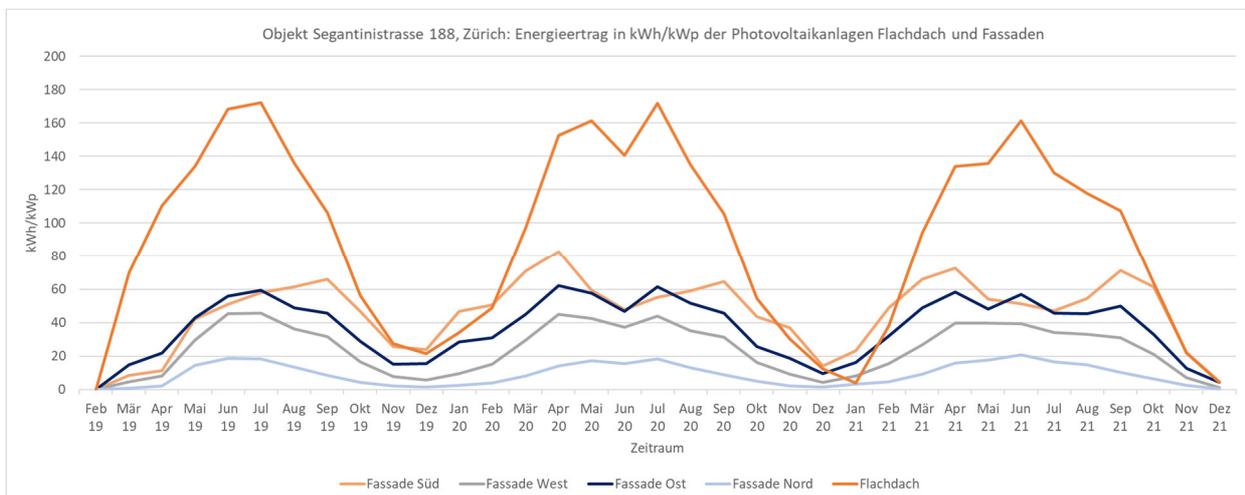


Abb. 4-6: Vergleich der spezifischen Energieerträge der Dach- und Fassadenanlagen

4.5 Winterstromproduktion

Dank der Solarfassaden kann die Winterstromproduktion, hier am Beispiel der Produktionswerte des Jahres 2020, bei diesem Objekt verdoppelt werden. Die Hauptenergielieferanten der Fassaden sind im Winter die Südwest- und Südostfassade. Aus den nördlich orientierten Fassaden wird noch 25% der Winterproduktion «Fassaden» geliefert (Abb. 4-7).

Anlage/ Orientierung	Flachdach +10°	Südwest- Fassade +24°	Südost- Fassade -66°	Nordwest- Fassade +114°	Nordost- Fassade -156°	Alle Fassaden
Segantinstrasse 188						
Winterproduktion 2020 [kWh]	5'961	2'356	2'176	1'171	396	6'099
Winterproduktion, Anteil Fassaden / Dach [%]	49%					51%
Winterproduktion der Teilfassaden [%]	-	39%	36%	19%	6%	100%

Abb. 4-7: Winterstromproduktion und der Produktionsanteil der Fassaden

Das Produktionsverhältnis zwischen Sommermonate und Wintermonate im Jahr 2020 ist am ausgeglichtesten an der Südwestfassade mit ca. 58%/42%. Die Dachanlagen erreichen ca. 76%/24%. Die Produktionsverteilung der Südostfassade beträgt ca. 68%/32% und das Produktionsverhältnis von der Nordwestfassade und Nordostfassade ist ähnlich wie bei der Dachanlage (Abb. 4-8).

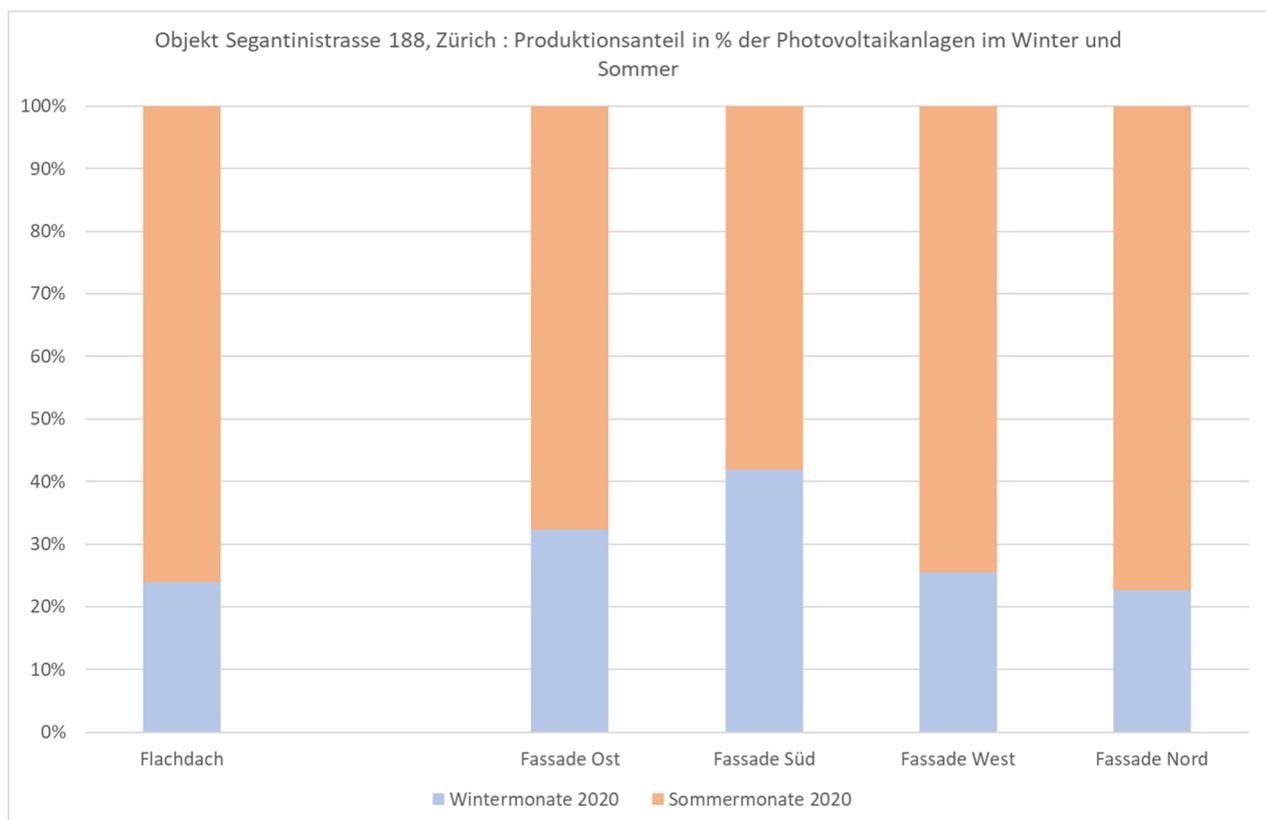


Abb. 4-8: Produktionsverhältnis Sommer/Winter von allen Teilanlagen

5. Mehrfamilienhaus Objekt Obere Wallisellerstrasse 48, Opfikon

Die Liegenschaft Obere Wallisellerstrasse 48 wurde 1971 erbaut. Sie verfügt über 7 Wohnungen. Im Jahr 2019 wurde das Gebäude energetisch saniert und alle 4 opaken Fassaden vollflächig mit Photovoltaik ausgestattet. Auf dem Flachdach der Attika wurde auf eine Photovoltaikanlage verzichtet.

5.1 Situationsplan und Anlagendaten

Die Liegenschaft ist um -23° nach Südost orientiert (1411, Nr. 48) und verfügt über zwei Vollgeschosse (Abb. 5-1 und 5-2).



Abb. 5-1: Katasterplan



Abb. 5-2: Aufnahme Südost- und Nordostfassade der Liegenschaft

Fassadenanlagen

Monokristalline massgefertigte farbige Glas/Glas-Elemente, rahmenlos, auf allen vier Fassaden, 90° Neigungswinkel, installierte Leistung 35.09 kWp, aufgeteilt auf Südost: 6.93 kWp, Südwest: 6.28 kWp, Nordwest: 11.76 kWp, Nordost: 10.12 kWp.

Technische Konzept

Jede Teilfassade verfügt über einen String-Wechselrichter mit jeweils 2 - 3 Modulstrings.

Architekturbüro
RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN AG
Ellen-Widmann-Weg 6
8050 Zürich
T +41 (0)44 317 90 90
architektur@reneschmid.ch

Unternehmer
Alex Gemperle AG
Alte St. Wolfgangstrasse 11
6331 Hünenberg
T +41 (0) 41 725 07 07
mail@gemperle.ch

5.2 Solarstromproduktion und deren Jahresverlauf

Zu diesem Objekt liegt nur ein vollständiger Messdatensatz des Betriebsjahres 2021 vor. Die Fassadenanlagen produzierten 12'113 kWh. Die 10.12 kWp-Nordostfassade lieferte davon den höchsten Anteil mit 4'590 kWh (38%). Die 6.93 kWp-Südostfassade lieferte 2'780 kWh (23%) und die 6.26 kWp-Südwestfassade 2'110 kWh (17%). Die grösste Fassade auf der Nordwestseite lieferte mit 11.76 kWp installierter Leistung 2'635 kWh (22%). Alle Teilfassaden an diesem Objekt liefern einen relevanten Beitrag zur Energiegewinnung, insbesondere auch die nach Nord ausgerichteten Anlagen (Abb. 5-6).

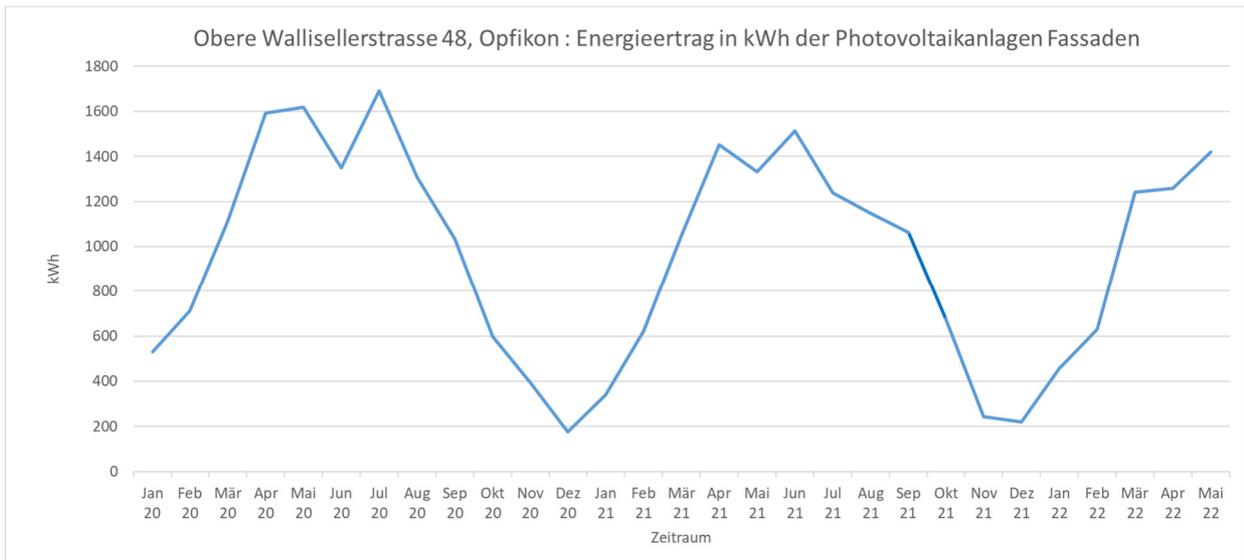


Abb. 5-3: Jahresproduktionsverlauf der PV-Fassadenanlage Obere Wallisellerstrasse 48

5.3 Spezifischer Energieertrag

Zum direkten Vergleich der Fassadenanlagen wird die gemessene Energieproduktion in den spezifischen Energieertrag in kWh/kWp/Jahr umgerechnet (Abb. 5-6).

Die effizienteste Fassade ist bei diesem Objekt die nach Nordost ausgerichtete Fassade mit 454 kWh/kWp/a. Erst danach folgen die Südostfassade mit 401 kWh/kWp/a und die Südwestfassade mit 336 kWh/kWp/a. Die Beschattung der beiden Fassaden durch den Baum (Abb. 5.5) und das nachbarschaftliche Gebäude begrenzen den Energieertrag. Optimierungspotential besteht in solchen Fällen bei der Planung der Stringauslegung unter Berücksichtigung des Verlaufs der Beschattung. Die Nordwestfassade (Abb. 5-6), die am weitesten nach Nord orientiert ist, erreicht 224 kWh/kWp/a und liefert dank ihrer Grösse dennoch 22% von der Gesamtenergieproduktion.

Anlage/ Orientierung	Südostfassade -22°	Nordostfassade -112	Südwestfassade +68°	Nordwestfassade +158°	Alle Fassaden
Obere Wallisellerstrasse					
Produktion Jahr 2021 [kWh]	2'779	4'592	2'108	2'634	12'113
Spezifischer Ertrag [kWh/kWp/a]	401	454	336	224	345
Produktion der Teilfassaden [%]	23%	38%	17%	22%	100%

Abb. 5-4: Vergleich Jahresenergieertrag der Fassadenanlagen



Abb. 5-5: Ansicht Südostfassade



Abb. 5-6: Ansicht Nordwestfassade

5.4 Betriebsverhalten unterschiedlich orientierter Solarfassaden

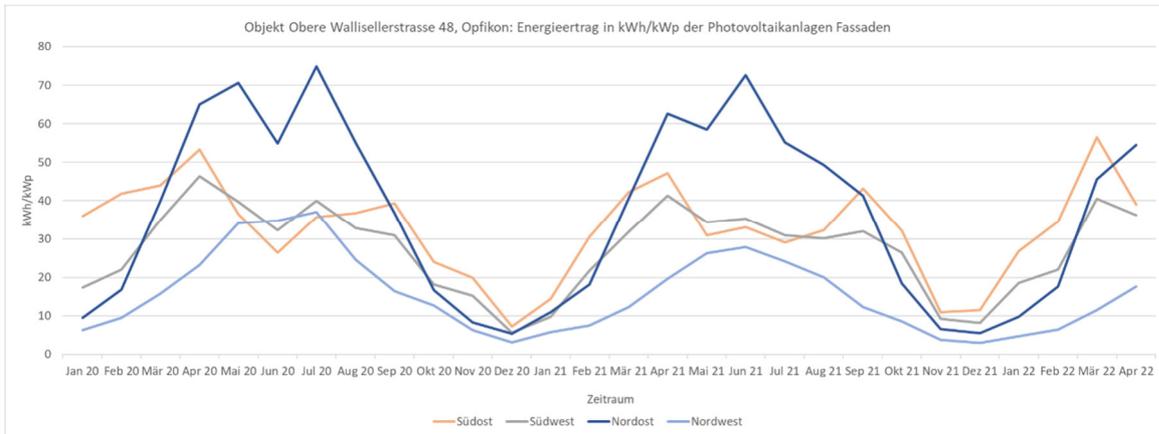


Abb. 5-7: Vergleich der spezifischen Energieerträge der Fassadenanlagen

Die Nordostfassade liefert am effizientesten Energie mit einem flach verlaufenden Maximum während der Sommerperiode. Alle drei anderen Fassaden weisen eine vergleichbare Performance während des Hochsommers auf. Im Frühjahr und Herbst nimmt der Ertrag der Nordwestfassade vergleichsweise stark ab, was in der Nordorientierung begründet ist. Im Winter ist die Südostfassade, die leistungsstärkste Fassade. Die Performance der Nordfassade nimmt wegen hoher Eigenbeschattung im Winter deutlich ab (Abb.5-7).

5.5 Winterstromproduktion

Im Jahr 2021 wurden in den sechs Wintermonaten 3'153 kWh bei einem gesamten Jahresenergieertrag von 12'113 kWh produziert, das entspricht 26%. Den höchsten Beitrag an der Winterstromproduktion lieferte die Südostfassade mit 31% und die Nordostfassade mit 32%. Die durch Baum und nachbarschaftliches Gebäude beschattete Südwestfassade lieferte 21% und die im Winter am wenigsten besonnte Nordwestfassade noch 15% (Abb. 5-8).

Anlage/ Orientierung	Südostfassade -22°	Nordostfassade -112°	Südwestfassade +68°	Nordwestfassade +158°	Alle Fassaden
Obere Wallisellerstrasse					
Winterproduktion 2021 [kWh]	983	1'016	673	480	3'153
Winterproduktion der Teilfassaden [%]	31%	32%	21%	15%	26%

Abb. 5-8: Winterstromproduktion und der Produktionsanteil der Fassaden

Bei Betrachtung der einzelnen Fassaden hinsichtlich des Produktionsverhältnisses Sommer/Winter liefert die Südostfassade 60% im Sommer und 40% im Winterhalbjahr. Die Südwestfassade liefert im Winter noch 34%. Bei den nördlich orientierten Solarflächen nimmt der Winteranteil ab. Es werden noch 24% an der Nordwestfassade und 23% an der Nordostfassade erreicht (Abb. 5-9).

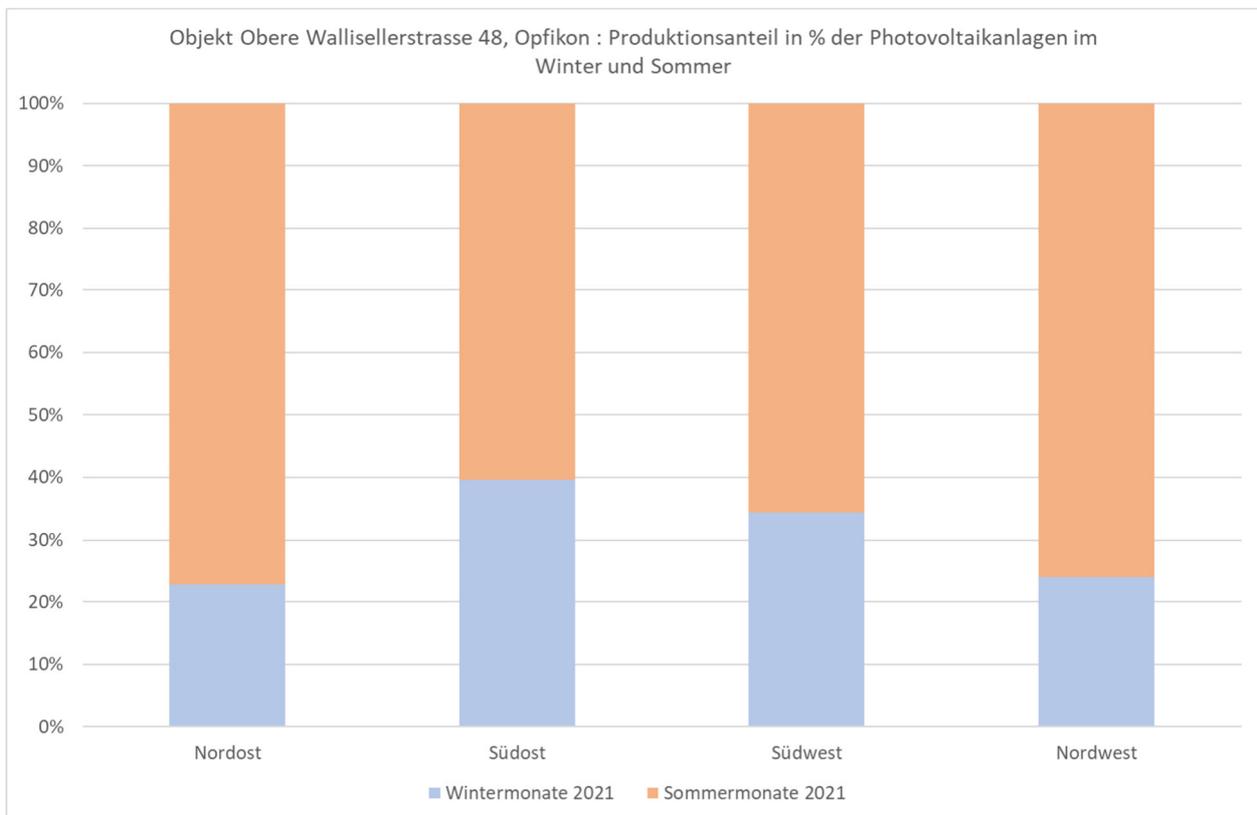


Abb. 5-9: Produktionsverhältnis Sommer/Winter der von allen Teilanlagen

6. Bewertung der Messresultate und Empfehlung

Solarfachleute sollten die Nutzung der Fassaden zur Solarstromproduktion an mehrgeschossigen Gebäuden dem Eigentümer und Investor aus mehreren Gründen empfehlen. Mit umlaufenden Photovoltaikfassaden an allen vier Gebäudeseiten wird der Solarertrag der Dachanlage, abhängig vom Oberflächenverhältnis Fassaden/Dach um ca. 50% - 125% gesteigert. Eine Steigerung der energetischen Unabhängigkeit durch Eigenproduktion dank grosser Photovoltaikanlagen wird erreicht. Moderne energieeffiziente Mehrfamilienhäuser werden mit Solarfassaden zu Plusenergiegebäuden und es können Baustandards, wie z.B. das Minergie-A-Label, erreicht werden. Die Zusatzinvestition für die solaraktive Fassade wird mit Eigenstromverbrauch, Vergütung der Überschussenergie und attraktiven Förderbeiträgen des Bundes amortisiert. Insbesondere bei steigenden Energiekosten nimmt die Rendite der Photovoltaik mit dem Eigenstromverbrauch automatisch zu.

Die Höhe des energetischen Beitrags der einzelnen Fassaden ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Massgebend sind die Ausrichtung, die Besonnung resp. Beschattung der Flächen und die Grösse der nutzbaren Solarfläche. Die südlich orientierten Fassaden eines Gebäudes erzielen grundsätzlich die beste Performance, aber auch nördlich orientierte Fassaden können relevante Energiebeiträge liefern, da der Flächenanteil meist über dem der südlich orientierten Fassaden liegt. Die Performance der Teilfassaden variiert stark, da sie von den lokalen Verhältnissen abhängig ist. Die nachfolgende Abb. 6-1 zeigt die jährlichen spezifischen Energieerträge in kWh/kWp zusammengefasst aus den gemessenen Erträgen der fünf Referenzobjekte. Die 1. Spalte zeigt die Spannweite der Erträge, die massgeblich durch den Einfluss von Beschattungen bestimmt wird. In der 2. Spalten werden die Maximalwerte aufgeführt, die an den wenig bis kaum beschatteten Flächen der Objekte ermittelt wurden.

Orientierung der Solarfassadenfläche	Spezifischer Energieertrag (min. / max.)	Max. spezifischer Energieertrag (an wenig bis kaum beschatteten Flächen)
Süd, leicht ost- oder westorientiert	400 - 620	> 650
Ost oder West, leicht südorientiert	300 - 450	> 500
Ost oder West, leicht nordorientiert	290 - 450	> 450
Nord, leicht ost oder westorientiert	100 - 225	> 250

Abb. 6-1: Spannweite der spezifischen Energieerträge der Solarfassaden

Solarfassaden sind keine Lieferanten von Spitzenerträgen wie es bei Dachanlagen der Fall ist, vielmehr ist deren summierte Energiemenge für das energetische Gebäudekonzept relevant. Dabei verfügt jede Anlagenorientierung über eine spezielle Charakteristik der Energieproduktion.

Südfassade: Effizient und bester Winterstromlieferant

Nach Süden orientierte PV-Fassaden lieferten den höchsten spezifischen Energieertrag im Vergleich zu den anderen Fassadenseiten. Die nutzbare Solarfläche und damit die installierte Leistung an Südfassaden ist allerdings durch den in vielen Fällen hohen Fensteranteil begrenzt. Bei den analysierten Objekten ist die Jahresenergieproduktion der Südfassaden kaum höher oder z. T. sogar geringer als die der anderen Fassaden. Das Jahresproduktionsprofil verfügt über zwei markante Produktionsspitzen im März/April und im September/Oktobre. Die Südfassade ist der ideale Winterstromlieferant bei einem Produktionsverhältnis von 40% - 43% in den Wintermonaten zu 60% - 57% in den Sommermonaten. Im Vergleich dazu, das Produktionsverhältnis von Flachdachanlagen beträgt ca. 25% Winteranteil zu 75% Sommeranteil.

Ost- und Westfassade: Energielieferant in den Vormittags- und Nachmittagsstunden

Ost- und westorientierte Solarfassaden produzieren hauptsächlich in nur einer Tageshälfte Solarenergie. In der zweiten Tageshälfte wird die Energieproduktion massgeblich durch die Eigenbeschattung der Fassade reduziert. Die Produktion der Ostfassade beginnt früh am Morgen mit einem steilen Produktionsanstieg und am Abend beendet die Westfassade die Produktion mit einem steilen Abfall der Produktionskurve. Die beiden Fassaden sind ideal für den Eigenstromverbrauch in den Randzeiten, da sie dann die meiste Energie von allen Teilanlagen am Gebäude liefern. Im Hochsommer wird das Produktionsmaximum erreicht. Der spezifische Energieertrag ist dann vergleichbar mit dem der Südfassade. Im Winterhalbjahr liefern beide Fassaden, vergleichbar wie Dachanlagen noch rund 25% - 27% ihrer Jahresenergieproduktion. Ist die Ost- oder Westfassade eher südlich orientiert, dann nimmt der Winteranteil zu, ist die Orientierung eher nördlich, dann nimmt der Anteil ab. Bei den Referenzobjekten liefern die Ost- und Westfassaden meist die höchsten Jahresenergieerträge bedingt durch den Flächenanteil und sind damit auch die Hauptenergielieferanten der gebäudeumlaufenden Solarfassade.

Nordfassade: Der unterschätzte Energielieferant

Nordfassaden erzielen die geringsten spezifischen Energieerträge. Allerdings ist die installierte Leistung an diesen Fassaden meist am grössten, da der Fensteranteil in der Nordfassade gering ist. Ist die Nordfassade leicht östlich und westlich orientiert und der Horizont hinter der Fassade frei, was oft der Fall ist, da sich dort die Zufahrtstrasse befindet, dann können über 20% des gesamten Fassadenenergieertrags erreicht werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Fassade morgens oder abends auch direkt besonnt wird. Im Winter liefert die Nordfassade lediglich ca. 20% von ihrer Jahresenergieproduktion, dies bedingt durch die hohe Eigenbeschattung. Aus architektonischer Sicht wird meist die gleiche Materialisierung an allen Fassadenseiten bevorzugt. Die solaraktive Nordfassade ist in dem Fall zu empfehlen, da die Zusatzkosten für ein solaraktives Glaselement mit Siliziumzellen im Vergleich zum gleichen Glaselemente ohne Siliziumzellen kaum höher sind.

Mehr Winterstromproduktion dank Solarfassaden

Die Winterenergieproduktion nimmt mit gebäudeumlaufenden Photovoltaikfassaden deutlich zu. Bei den Referenzobjekten tragen die Fassaden mit ca. 35% - 60% zur Winterproduktion der PV-Dachanlage bei. D.h. im Idealfall kann der Energieertrag mehr als verdoppelt werden. Die Hauptenergielieferanten sind die südlich orientierten Fassaden, die an den Wintertagen am längsten direkt besonnt werden. Solarfassaden liefern zudem im Winter bei Schneebedeckung uneingeschränkt weiter Energie und die Performance

nimmt durch Schneereflexionen noch zu. Flach aufgeständerte Dachanlagen gehen im Gegensatz dazu ausser Betrieb bis der Schnee wieder abgeschmolzen ist.

An sonnigen Winterstandorten wie z.B. im Wallis Graubünden oder im Berner Oberland erreichen Solarfassaden noch deutlich höhere Energieerträge. Zur effizienten Steigerung der Winterstromproduktion in der Schweiz müssten insbesondere in diesen Regionen Solarfassaden installiert werden. Das Potential an gut orientierten Gebäudeflächen wäre dafür vorhanden.

Verbesserung der Performance

Die Anlagenperformance bei Fassaden variiert viel stärker als bei Dachanlagen - es besteht Optimierungspotential. Insbesondere Beschattungen auf den Solarfassadenflächen beeinflusst den Energieertrag erheblich. Mit der technischen Anlagenauslegung kann der Energieertrag optimiert werden. Die Ertragssimulation mit 3D-Beschattungsmodell ist dafür ein geeignetes Mittel, da auf dieser Grundlage die Modulstrings dimensioniert und in der Fassade optimal platziert werden können. Jeder String sollte dabei an einem eigenen MPP-Tracker angeschlossen werden. Auf diese Art kann eine Trennung der elektrischen Kreisläufe zwischen beschatteten und unbeschatteten Flächen erreicht und damit auch eine bessere Performance erzielt werden. Die Zusatzkosten für zusätzlich benötigte Wechselrichter werden durch die Ertragssteigerung mehr als nur kompensiert. Als Alternative können Leistungsoptimierer bei lokalem Schattwurf den Ertrag optimieren. Bei Verschaltung ganzer Solarfassadenflächen an einem String mit Leistungsoptimierern, kann die Ertragsoptimierung allerdings bei grossflächigen Teilbeschattungen an ihre Grenzen stossen. Damit ein kostengerechter Unterhalt möglich bleibt, müssen die Leistungsoptimierer in der Solarfassade so platziert werden, dass ein einfacher Zugang mit geringem Aufwand möglich ist. Die regelmässige Messdatenkontrolle nach Inbetriebnahme der Fassadenanlagen schafft Ertragssicherheit für den Eigentümer der PV-Fassaden und Transparent für den Anlagenplaner und -installateur.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Integrierte Solaranlagen - Handlungsanleitung zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, August 2020, Autoren: Christian Renken, Paolo Corti, Pierluigi Bonomo, Francesco Frontini, Andreas Hekler, Dr. Ruedi Meier
- [2] Leitfaden Betriebsführung Photovoltaik, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, August 2019, Autoren: Christian Moll, Jörg Rothenbühler
- [3] Netzgekoppelte Photovoltaikanlage Jungfrauoch, Bulletin SEV/AES 10/2004, Autor: Prof. Heinrich Häberlin