



Studie zur Bestimmung des PV Potenzials innerhalb des Zürcher Stadtgebiets

Impressum

Auftraggeber Kontaktperson Adresse	Stadt Zürich, DIB, Energiebeauftragte Heike Eichler Beatenplatz 2 8021 Zürich
Datum Aktuelle Version Ältere Versionen Projektnummer Datei	08.01.2021 Schlussbericht Entwurf zum Schlussbericht (v201015 / v201127) 20_0148 bericht_pv_potenzial_stadt_zuerich_v210108
Erstellt durch Kontrolliert durch Genehmigt durch	Simon Albrecht-Widler / Jan Remund (Meteotest AG) Marcel Gutschner / Thomas Biel (NET AG) 07.01.2021 Simon Albrecht-Widler / Jan Remund 07.01.2021 René Cattin, Geschäftsleitung
Gewährleistung	Meteotest und NET gewährleisten ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Zusammenfassung

Auf der Grundlage des schweizerischen Solarkatasters des Bundesamts für Energie (sonnendach.ch) ist das Photovoltaik (PV) Potenzial in der Stadt Zürich neu berechnet worden (Aktualisierung der Studie "Das Photovoltaik-Potential im Gebäudepark der Stadt Zürich" aus dem Jahr 1998).

Die Analyse berücksichtigt dabei solare, technische, ökonomische, ökologische und denkmalpflegerische Aspekte. Das resultierende Potenzial unterteilt sich in fünf Kategorien nach Potenzialflächen für grössere (Kat. 1 und 2), mittelgrosse (Kat. 3 und 4) und kleinere PV Anlagen (Kat 5) auf Flach- (Kat. 1,3,5) und Schrägdächern (Kat. 2,4,5).

Für das resultierende technisch-ökonomische Produktionspotenzial wurden zahlreiche Abschlagsfaktoren angewendet, welche das Potenzial reduzieren: Konkurrenznutzung und Aufbauten auf dem Dach; ein Abzugsfaktor für ungenügende Statik sowie konkurrierende Dachbegrünung auf Flachdächern sowie der Ausschluss aller Gebäude im geschützten ISOS-Perimeter A.

Tabelle A: Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für **alle Gebäude** - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).

	Technisches Potenzial nach Pauschalabzug 40% für Aufbauten und Nutzungskonkurrenz	Abzugsfaktor Statik 35 %	Abzugsfaktor Dachbegrünung 30 %	Abzugsfaktor ISOS-A-Perimeter	Technisch-ökonomisches Produktionspotenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte
Kategorie 1	159	56	31	6	66
Kategorie 2	19	-	-	3	15
Kategorie 3	220	77	43	6	94
Kategorie 4	166	-	-	22	144
Kategorie 5	249	22	12	47	167
Kategorie 1-5	811	154	86	84	487

Die Analyse ergibt insgesamt eine Potenzialfläche von **3.01 km²** und ein photovoltaisches Produktionspotenzial von **487 GWh** pro Jahr. Dieses Produktionspotenzial entspricht rund 16% des gegenwärtigen Stromverbrauchs (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich.

Rund 11.5% des PV Potenzials findet sich auf Gebäuden im **Eigentum der Stadt Zürich**. Auf einer Fläche von **0.35 km²** könnten hier zukünftig etwa **56 GWh** pro Jahr an Solarstrom produziert werden.

Tabelle B: Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für Gebäude im **Eigentum der Stadt Zürich** - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).

	Technisches Potenzial nach Pauschalabzug 40% für Aufbauten und Nutzungskonkurrenz	Abzugsfaktor Statik 35 %	Abzugsfaktor Dachbegrünung 30 %	Abzugsfaktor ISOS-A-Perimeter	Technisch-ökonomisches Produktionspotenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte
Kategorie 1	27	10	5	2	11
Kategorie 2	6	-	-	0	5
Kategorie 3	28	10	6	1	12
Kategorie 4	22	-	-	4	18
Kategorie 5	17	2	1	5	10
<i>Kategorie 1-5</i>	<i>101</i>	<i>21</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>56</i>

Auf der Grundlage der Statistik zu Gebäudeerneuerungen und angenommenen, unterschiedlich hohen und entsprechend ambitionierten Quoten zur Realisierung von PV Anlagen bei Gebäudeerneuerungen und auf den weiteren Gebäuden werden zwei Erschliessungsszenarien durchgerechnet. Diese ergeben, zusätzlich zur gegenwärtigen Solarstromproduktion von 35 GWh pro Jahr, ein Produktionspotenzial von **82 GWh** resp. **207 GWh pro Jahr im Jahr 2030**. Dies entspräche grob dem 3-fachen bzw. 7-fachen der gegenwärtigen Solarstromproduktion in der Stadt Zürich. Die damit verbundenen durchschnittlichen Zubauraten von 8.2 resp. 20.7 GWh pro Jahr liegen um einen Faktor 1.6 resp. 4 über der aktuellen Zubaurate (2019 und 2020) von rund 5 GWh pro Jahr.

Inhalt

1	Ausgangslage	9
2	Datengrundlagen	10
2.1	Verwendete Grundlagen	10
2.2	Hintergrundinformationen zu den Geodaten.....	12
3	PV Potenzial	13
3.1	Das theoretische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich	14
3.2	Das technische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich.....	14
3.3	Das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich.....	16
3.3.1	Alle Gebäude in der Stadt Zürich.....	18
3.3.2	Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.....	19
3.4	Abzugsfaktor für Dachbegrünung.....	19
3.4.1	Alle Gebäude in der Stadt Zürich.....	20
3.4.2	Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.....	21
3.5	Abzugsfaktor für Denkmalschutz.....	21
3.5.1	Alle Gebäude in der Stadt Zürich.....	22
3.5.2	Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.....	23
3.6	Das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.....	23
3.6.1	Alle Gebäude in der Stadt Zürich.....	23
3.6.2	Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.....	26
3.7	Das Potenzial nach Stadtquartieren	29
4	Erschliessungsszenarien	32
4.1	PV Technologie	32
4.2	PV Kosten.....	34
4.3	PV Entwicklung in der Stadt Zürich	37
4.4	Erneuerungsquote in der Stadt Zürich.....	38
4.5	Erschliessungsszenarien bis 2030	39
4.5.1	Alle Gebäude in der Stadt Zürich.....	40
4.5.2	Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.....	42
5	Entwicklungsfaktoren und Massnahmen für die PV in der Stadt Zürich	44
6	PV Potenzial auf den Fassaden der Gebäude in der Stadt Zürich	47
7	Solarpotenzial ausserhalb des Gebäudeparks	48
7.1	Potenzial auf/an Automobil-Infrastruktur	48
7.2	Potenzial auf Perrondächern.....	48
A	Anhang	49

A.1 Potenzial(begriffe).....	49
A.2 Denkmalgeschützte und inventarisierte Gebäude	52
A.2.1 Ausserhalb des ISOS-A-Perimeters	52
A.2.2 Innerhalb und ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.....	54
A.3 Vergleich mit Studie 1998	56
A.4 Vergleich zum Sonnendach	56

Tabellen

Tabelle 1:	Eignungsklassen der Dachflächen in Abhängigkeit zu mittlerer jährlicher Einstrahlung unter Berücksichtigung der Horizontverschattung.....	11
Tabelle 2:	Zusammenstellung der Kriterien für das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.	13
Tabelle 3:	Die zwölf Unterkategorien auf der Grundlage der obigen Kriterien.	17
Tabelle 4:	Die sechs Hauptkategorien auf der Grundlage der obigen Kriterien. Die Kategorie 6 umfasst sechs Unterkategorien.	18
Tabelle 5:	Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen für alle Gebäude in der Stadt Zürich.	19
Tabelle 6:	Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich	19
Tabelle 7:	Die aus ökologischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale für alle Gebäude in der Stadt Zürich.	20
Tabelle 8:	Die aus ökologischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich	21
Tabelle 9:	Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale im ISOS-A-Perimeter für alle Gebäude in der Stadt Zürich, die vom Potenzial abgezogen werden.	22
Tabelle 10:	Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale im ISOS-A-Perimeter für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich , die vom Potenzial abgezogen werden.....	23
Tabelle 11:	Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für alle Gebäude - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).	24
Tabelle 12:	Die resultierenden technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte für alle Gebäude in der Stadt Zürich.	24

Tabelle 13:	Die resultierenden technisch-ökonomischen Produktionspotenziale unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte Produktionspotenzial nach Anlagengrössen im Verhältnis zum gegenwärtigen Stromverbrauch (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich.....	26
Tabelle 14:	Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).....	27
Tabelle 15:	Die resultierenden technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich	27
Tabelle 16:	Die resultierenden technisch-ökonomischen Produktionspotenziale unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte Produktionspotenzial im Verhältnis zum gegenwärtigen Stromverbrauch (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich. .	29
Tabelle 17:	Die Produktionspotenziale - unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte - in GWh nach Stadtquartieren und Kategorien für alle Gebäude in der Stadt Zürich. Die fünf Quartiere mit dem höchsten Potenzial fett markiert.	30
Tabelle 18:	Wechselrichtertypen und technisch-ökonomische Daten. Quelle: Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report 2020.....	34
Tabelle 19:	Exemplarische Gestehungskosten in Bezug auf die Anlagengrösse.	36
Tabelle 20:	PV Installationen in der Stadt Zürich. Quelle: Rohdaten von ewz.	38
Tabelle 21:	Die resultierenden Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen nach Hauptkategorien im dynamischen , technisch-ökonomischen Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.....	38
Tabelle 22:	Zusammenstellung der Annahmen für die beiden Erschliessungsszenarien.	40
Tabelle 23:	Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im Erschliessungsszenario I (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.	41
Tabelle 24:	Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im Erschliessungsszenario II (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.	41
Tabelle 25:	Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im Erschliessungsszenario I (kumuliert über	

	zehn Jahre) in der Stadt Zürich im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.....	42
Tabelle 26:	Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen nach Hauptkategorien im Erschliessungsszenario II (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.	43

Abbildungen

Abbildung 1:	Ausschnitt der Stadt Zürich von sonnendach.ch.	11
Abbildung 2:	40 % der Bruttopotenzialfläche werden "pauschal" wegen Aufbauten und Konkurrenznutzung abgezogen. Luftbild links, Potenzialflächen mit vereinfachter Dachlandschaft rechts.	15
Abbildung 3:	Aus ökologischen Gründen (Stichwort Dachbegrünung) wird das Solarpotenzial fallweise nur zum Teil genutzt (Quelle: swisstopo, map.geo.admin.ch).	20
Abbildung 4:	ISOS-A-Perimeter (in orange) und denkmalgeschützte / inventarisierte Einzelgebäude (rote / blaue Punkte).....	22
Abbildung 5:	Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 (alle Gebäude). ...	25
Abbildung 6:	Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich	29
Abbildung 7:	Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 in den 34 Stadtquartieren.	31
Abbildung 8:	Entwicklung unterschiedlicher Technologie- bzw. Zellkonzepte. Quelle: Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report 2020.....	33
Abbildung 9:	Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbereich 2 bis 100 kWp, mit Unterscheidung zwischen angebauten und integrierten Anlagen. Quelle: BFE, Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019, 2020.	34
Abbildung 10:	Vergleich der spezifischen Kosten gemäss Offerten und Rechnungen für angebaute Anlagen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Quelle: BFE, Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019, 2020.	35
Abbildung 11:	Entwicklung der PV Installationen in der Stadt Zürich. Quelle: Rohdaten von ewz.....	37

1 Ausgangslage

Die Stadt Zürich hat bei der Arbeitsgemeinschaft Meteotest AG und NET Nowak Energie & Technologie AG eine detaillierte Studie für die Ermittlung des Photovoltaik-Potenzials (nachfolgend PV Potenzial) in Auftrag gegeben.

Die Analyse soll dabei solare, technische, ökonomische, ökologische und denkmalpflegerische Aspekte berücksichtigen, um in erster Linie ein differenziertes PV Potenzial für das Gebiet der Stadt Zürich abzubilden. Der Fokus der Studie liegt auf dem Potenzial des Solarstroms auf Gebäudedächern. Das resultierende Potenzial soll über die technisch-ökonomischen Aspekte resp. Kategorien, die Potenzialflächen und Produktionspotenziale für grössere, mittelgrosse und kleinere PV Anlagen auf Flach- und Schrägdächern aufzeigen.

Diese Analyse soll es in zweiter Linie ermöglichen, Ansatzpunkte zur zielführenden Erschliessung der PV Potenziale zu skizzieren. Die definierten technisch-ökonomischen Kategorien widerspiegeln eine mutmassliche Wirtschaftlichkeit, auch wenn auf der „Flughöhe“ dieser Studie die Wirtschaftlichkeit nicht für einzelne Objekt festgelegt werden kann. Die Wirtschaftlichkeit ist konkret jeweils im Einzelfall zu bestimmen. Im Rahmen dieser Studie werden zwei Erschliessungsszenarien berechnet und verschiedene relevante förderliche Aspekte im kommunalen Kontext kurz beschrieben.

Nebst dem Solarpotenzial auf Dächern besteht im städtischen Kontext auch die Möglichkeit, das Potenzial an Fassaden oder auf Infrastrukturbauten auf Parkplätzen oder Überdachungen zu erschliessen. Diese Aspekte standen nicht im Fokus der vorliegenden Studie. Gleichwohl sollen sie nicht unerwähnt bleiben und werden daher mit qualitativem Charakter in Anhang behandelt.

2 Datengrundlagen

Als Datengrundlage für die Studie dienen der Solarkataster des BFE (sonnen-dach.ch) und diverse Datensätze der Stadt Zürich.

2.1 Verwendete Grundlagen

Die nachfolgend aufgeführten Datengrundlagen wurden in einem GIS-System aufbereitet und miteinander verknüpft. Dieser "Synthesedatensatz" diente anschliessend der Berechnung der verschiedenen Potenziale.

- **Gebäudegrundrisse der Stadt Zürich**¹ inkl. deren Eidgenössischer Gebäudeidentifikator (EGID) dienen als Basisdatensatz. Im Gegensatz zu sonnen-dach.ch haben in dieser Analyse sämtliche Gebäude eine eindeutige und aktuelle EGID. Lediglich einzelne wenige Dachflächen konnten den Gebäuden nicht zugeordnet werden (z.B. aufgrund des unterschiedlichen Datenstandes).

Über die EGID wurden folgende Datensätze verknüpft:

- Denkmalschutz **ISOS-A-Perimeter**² (ausgeschieden).
- Denkmalgeschützte und inventarisierte Gebäude gemäss **Denkmalpflege-Inventar**.
- Diverse Gebäudemerkmale aus dem städtischen Gebäude- und Wohnungsregister Zürich (**GWZ**)²: u.a. Gebäudekategorie, Bauperiode, Baujahr, Gebäudelfläche auf Niveau, Anzahl Geschosse Überniveau, Heizungsart, Energieträger Warmwasser, Energieträger der Heizung.
- **Energiebezugsfläche (EBF)**²: 20 % aller Gebäude konnte keine EBF zugewiesen werden, da es keine Übereinstimmung mit einem EGID der Gebäudegrundrisse gab. Schlussendlich wurde die **Anzahl Geschosse** aus dem GWZ als Referenz verwendet. Die Anzahl Geschosse unter den identifizierten Teilflächen kann als Indikator für die Eigenverbrauchsquote dienen.
- **Eigentümerschaft**² zur Berechnung der Potenziale spezifisch für die Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.
- **Quartiere** und Stadtzonen aus dem Geoportal der Stadt Zürich³

Zum Schluss wurden die mit den oben beschriebenen Attributen angereicherten Gebäudegrundrisse in mehreren Schritten räumlich mit den Dachflächen aus

¹ <https://www.stadt-zuerich.ch/geodaten/download/415?format=3>

² Datenlieferung Stadt Zürich

³ https://data.stadt-zuerich.ch/dataset/geo_statistische_zonen

dem **Solarkataster Schweiz** (sonnendach.ch, Abbildung 1)⁴ verknüpft. Aus Sonnendach wurden die Attribute Stromertrag (PV Potenzial), Eignungsklasse aufgrund der Einstrahlung pro m² (siehe Tabelle 1), Dachneigung sowie Grösse der Dachfläche verwendet. Dächer mit einer Neigung $\leq 5^\circ$ werden als Flachdächer definiert. Weitere Informationen über die Berechnung des Solarpotenzials sind in der [Dokumentation von sonnendach.ch](http://Dokumentation%20von%20sonnendach.ch) zu finden.

Bei den Einstrahlungswerten von sonnendach.ch handelt es sich nicht um rohe (unverschattete) Globalstrahlungswerte. Die Reduktion der Einstrahlung durch **Verschattung** der Gebäude aufgrund des Geländes, der Vegetation und benachbarter Gebäude ist bereits berücksichtigt.

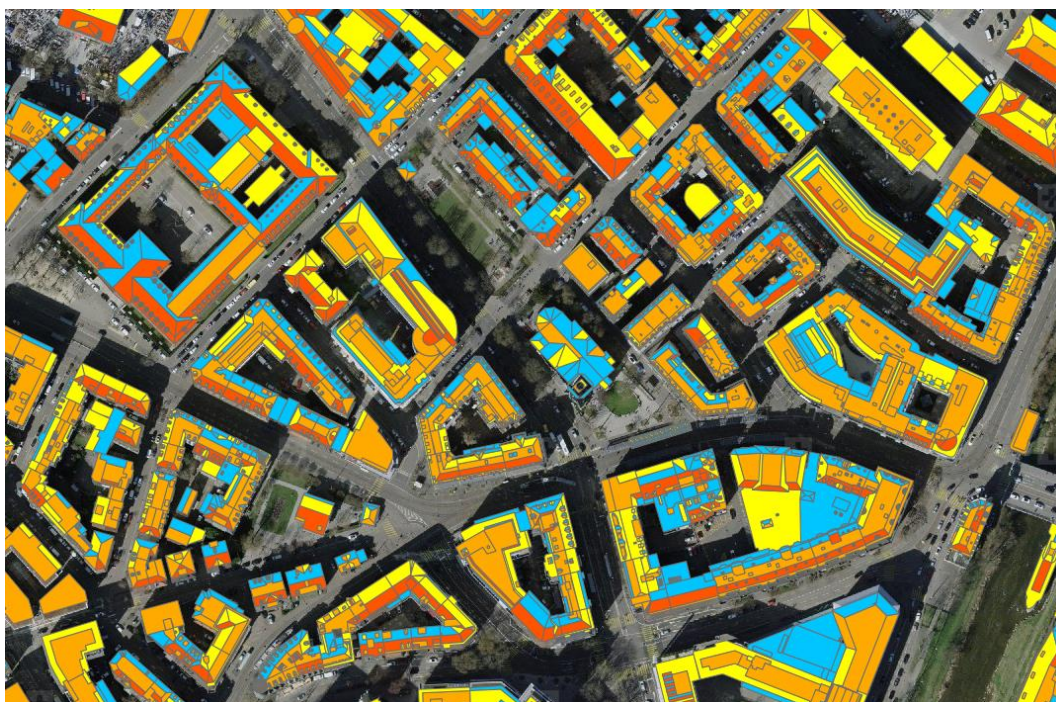


Abbildung 1: Ausschnitt der Stadt Zürich von sonnendach.ch.

Tabelle 1: Eignungsklassen der Dachflächen in Abhängigkeit zu mittlerer jährlicher Einstrahlung unter Berücksichtigung der Horizontverschattung.

Code	Beschreibung/Wert	Abhängigkeit zu mittlerer jährlicher Einstrahlung
1	gering	< 800 kWh pro m ² und Jahr
2	mittel	≥ 800 und < 1'000 kWh pro m ² und Jahr
3	gut	≥ 1'000 und < 1'200 kWh pro m ² und Jahr
4	sehr gut	≥ 1'200 und < 1'400 kWh pro m ² und Jahr
5	hervorragend	≥ 1'400 kWh pro m ² und Jahr

⁴ Verwendung des bei Meteotest vorliegenden Originaldatensatz von sonnendach.ch mit Genehmigung des Bundesamts für Energie vom 21.08.2020.

Das dahinterliegende Gebäudemodell [swissBUILDINGS3D 2.0](#) stellt eine vereinfachte Darstellung der Dachlandschaft dar (es sind z.B. keine Dachfenster oder Kamine sichtbar). Um dieser Vereinfachung Rechnung zu tragen, wird für das technische Potenzial ein definierter Reduktionsfaktor angewendet (vgl. Kapitel 3.2).

- Für das Potenzial der **Fassaden** (siehe Anhang 6) wurden die Geodaten des Solarkataster Schweiz ([sonnenfassade.ch](#)) verwendet und über die Swissbuildings-ID der Gebäude mit obigen Ergebnissen verknüpft.
- Weitere Grundlagen: Von **Statistik** Stadt Zürich wurden die Daten zur Einschätzung der Erneuerungsquoten verwendet. Für die technisch-ökonomische Einschätzung zur Photovoltaik wurden verschiedene Quellen verwendet, die im Text an den entsprechenden Stellen aufgeführt sind.

2.2 Hintergrundinformationen zu den Geodaten

- Als Datengrundlage der Einstrahlungsdaten werden in Sonnendach und damit auch in dieser Studie von MeteoSchweiz aus Satellitendaten abgeleitete Globalstrahlungsdaten für die Jahre 2004–2014 verwendet (auch diese unterliegen Trends und Schwankungen).
- Dachflächen mit Neigung $> 70^\circ$ fehlen auf [sonnendach.ch](#) aufgrund eines Algorithmusfehlers. Dies kann u.a. auch Flachdächer betreffen, deren Neigung zu steil berechnet wurde, über 70° liegen und somit ausgeschlossen wurden. Dies wird mit den Aktualisierungen von [sonnendach.ch](#) laufend behoben.
- Bei lediglich 2.1 % aller Dachflächen hat die Zuweisung von [sonnendach.ch](#) zu den Gebäudegrundrissen der Stadt nicht korrekt funktioniert. Für diese sind die via EGID abgeleiteten Attribute dadurch möglicherweise nicht korrekt.
- 422'000 Dachflächen (davon 68 % $< 20 \text{ m}^2$) verteilt auf 47'000 Gebäude stehen zur Auswertung zur Verfügung.

3 PV Potenzial

Das PV Potenzial kann auf verschiedenen Stufen und unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren definiert und berechnet werden. Das hier betrachtete Potenzial lehnt sich an die Darstellung von Energie Trialog Schweiz (siehe Anhang A1) an. Das resultierende Potenzial berücksichtigt eine Reihe von Kriterien, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind und in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Kriterien für das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Flachdächer (Neigung $\leq 5^\circ$)	Schrägdächer (Neigung $> 5^\circ$)
Theoretische Solarstromproduktion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Potenzialflächen mit der gesamten Solareinstrahlung ▪ Modulwirkungsgrad: 17 % ▪ Performance Ratio: 80 % ▪ Gesamtwirkungsgrad: 13.6 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Potenzialflächen mit der gesamten Solareinstrahlung ▪ Modulwirkungsgrad: 17 % ▪ Performance Ratio: 80 % ▪ Gesamtwirkungsgrad: 13.6 %
Technische solar-architektonische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindestbruttopotenzialfläche: 20 m² ▪ Mindesteinstrahlung 800 resp. 1'000 kWh pro m² und Jahr ▪ Von den ausgewiesenen Potenzialflächen werden pauschal 40 % wegen Aufbauten und Konkurrenznutzung (z.B. Liftschächte, Fenster, Terrassen) abgezogen. ▪ Von den ausgewiesenen Flachdachflächen werden pauschal 35 % wegen ungenügender Statik abgezogen. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindestbruttopotenzialfläche: 20 m² ▪ Mindesteinstrahlung 800 resp. 1'000 kWh pro m² und Jahr ▪ Von den ausgewiesenen Potenzialflächen werden pauschal 40 % wegen Aufbauten und Konkurrenznutzung (z.B. Liftschächte, Fenster, Terrassen) abgezogen.
Ökologische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Von den ausgewiesenen Flachdachflächen werden pauschal weitere 30 % wegen Dachbegrünung abgezogen. 	
Denkmalpflegerische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Objekte im ISOS-Perimeter A werden vom Potenzial herausgenommen. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Objekte im ISOS-Perimeter A werden vom Potenzial herausgenommen.

Bei Flachdächern wird damit 73% der ausgewiesenen Fläche pauschal abgezogen, bei Schrägdächern 40%.

3.1 Das theoretische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich

Mit dem theoretischen Potenzial wird das gesamte physikalisch nutzbare Energieangebot eines Energieträgers (hier Solareinstrahlung im Gebäudepark) oder einer Energietechnik (hier Photovoltaik) zu einem bestimmten Zeitpunkt (während eines gemittelten Jahres) innerhalb einer gegebenen Region (hier Stadt Zürich) bezeichnet.

Die Annahmen für das theoretische Potenzial sind:

- Alle Potenzialflächen auf Dächern mit der gesamten Solareinstrahlung (inkl. Verschattung durch den Horizont)
- Modulwirkungsgrad: 17 %
- Performance Ratio: 80 %
- Gesamtwirkungsgrad: 13.6 %

Diese Annahmen wurden auch im Sonnendach / Solarkataster getroffen und werden aus Gründen der Kohärenz so beibehalten. Der Wirkungsgrad und die Performance Ratio erhöhten sich in der Vergangenheit stetig und werden sich auch in Zukunft weiter erhöhen (siehe Kapitel 4.1). Die hier getroffenen Annahmen sind daher konservativ.

Das Solarkataster weist ein **theoretisches Potenzial** im Gebäudepark der Stadt Zürich von **1'959 GWh** Solarstrom pro Jahr auf einer Dachfläche von **13.79 km²** verteilt auf über 422'000 Teilflächen aus.

3.2 Das technische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich

Fürs **technische Bruttonpotenzial** im Gebäudepark der Stadt Zürich werden zwei solar-architektonische Mindestanforderungen festgelegt:

- Mindestbruttonpotenzialfläche (zusammenhängend): 20 m²
- Mindesteinstrahlung: 800 kWh/m² pro Jahr

Der Aufwand zur Stromproduktion für eine Nutzung der Flächen, die unter diese Schwellen fallen, stünde in keinem Verhältnis zum zu erwartenden Ertrag und wäre ebenso höchstwahrscheinlich nicht wirtschaftlich.

Das Solarkataster weist im Gebäudepark der Stadt Zürich eine gesamte Dachfläche i) von 1.11 km² für Bruttonpotenzialflächen von unter 20 m² und ii) darüber hinaus von 1.80 km² für Dachflächen mit einer jährlichen Solareinstrahlung von unter 800 kWh/m²/Jahr aus. Rund $\frac{3}{4}$ der (zumeist sehr kleinen) Teilflächen scheiden damit aus. Es verbleiben für das **technische Bruttonpotenzial** rund 106'000 Teilflächen mit einer Gesamtdachfläche von **10.87 km²** mit einem Produktionspotenzial von **1'650 GWh** Solarstrom pro Jahr.

Für das **technische Nettopotenzial** im Gebäudepark der Stadt Zürich werden darauf aufbauend zwei Abzugsfaktoren berücksichtigt:

- Aufbauten und Konkurrenznutzung (z.B. Liftschächte, Fenster, Terrassen): Abzugsfaktor pauschal von 40 %
- ungenügende Statik bei Flachdächern: Abzugsfaktor von 35 %

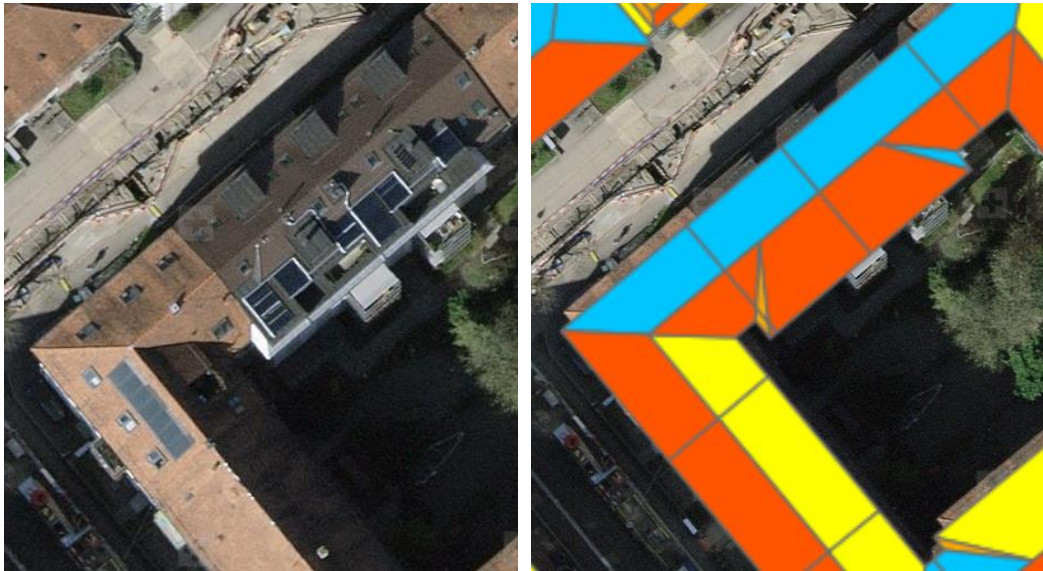


Abbildung 2: 40 % der Bruttopotenzialfläche werden "pauschal" wegen Aufbauten und Konkurrenznutzung abgezogen. Luftbild links, Potenzialflächen mit vereinfachter Dachlandschaft rechts.

Das Potenzial nach Abzug der Aufbauten und Konkurrenznutzung (40 %) beläuft sich auf 6.52 km² Dachfläche mit einem Produktionspotenzial von 990 GWh Solarstrom pro Jahr.

Vom obig ausgewiesenen Potenzial werden bei Flachdächern pauschal weitere 35 % wegen ungenügender Statik abgezogen. Dies führt zu einem Abzug von 1.17 km² Flachdachflächen mit einem Produktionspotenzial von 177 GWh Solarstrom pro Jahr. Dieses Potenzial könnte jedoch teilweise mit einem höheren finanziellen sowie technischen Aufwand genutzt werden.

Das **technische Nettopotenzial**, welches unmittelbar nutzbar wäre, beläuft sich somit auf **5.35 km²**, die sich auf rund 94'000 Teilflächen über das Stadtgebiet verteilen. Auf dieser Gesamtfläche könnten etwa **813 GWh** Solarstrom pro Jahr produziert werden. Die detaillierten Zahlen finden sich im nächsten Abschnitt.

3.3 Das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich

Das technisch-ökonomische Potenzial wird primär über sechs Hauptkategorien (und basierend auf zwölf Unterkategorien) abgebildet. Diese Kategorien stellen keine absoluten Wirtschaftlichkeitskategorien oder -klassen dar. Sie widerspiegeln jedoch eine mutmassliche Wirtschaftlichkeit, die bei grösseren zusammenhängenden Potenzialflächen mit höherer Einstrahlung eher / häufiger erreicht wird als bei kleineren Potenzialflächen mit niedrigerer Einstrahlung. Dies trifft in der Regel auf die Gestehungskosten zu. Die Wirtschaftlichkeit wird durch zahlreiche weitere Faktoren bestimmt wie Tarifstruktur, Eigenverbrauchsquote, zusätzlicher bauseitiger Investitionsbedarf, etc. Auf die Wirtschaftlichkeit wird in Kapitel 4.2 näher eingegangen. In diesem Abschnitt wird die Kategorisierung der Potenzialflächen präsentiert.

Die Kategorisierung erfolgt nach drei Kriterien:

- Bruttopotenzialfläche
- Dachform
- jährliche Mindesteinstrahlungssumme

Die Bruttopotenzialfläche lehnt sich an die ausgewiesenen Angaben im öffentlich zugänglichen Solarkataster an, wodurch die Teilflächen den hier festgelegten Kategorien zugeordnet werden können. Wichtig ist zu wissen, dass bei den Bruttopotenzialflächen die entsprechenden Abzugsfaktoren noch anzuwenden sind, z.B. den pauschalen Abzugsfaktor für Aufbauten und Konkurrenznutzung von 40 %.

Die Unterscheidung Flachdach / Schrägdach widerspiegelt verschiedene Themen wie z.B. Statik oder Dachbegrünung, die für Flachdächer von höherer Relevanz sind. Die Bruttopotenzialflächen berücksichtigen diese flachdachspezifischen Kriterien noch nicht. Bei ungenügender Statik fällt das Flachdach häufig ganz weg (statistisch bereits als Abzugsfaktor berücksichtigt). Bei der Dachbegrünung sind individuelle Lösungen zu finden (s. Kapitel 3.4).

Bei der Einstrahlung wird ebenfalls Wert auf die Kompatibilität und Nachvollziehbarkeit mit dem öffentlich zugänglichen Solarkataster (z.B. Einstrahlungskategorien) gelegt, d.h. die übernommenen Mindesteinstrahlungssummen entsprechen den Grenzwerten, die auch im Solarkataster benutzt werden. Konkret:

- Einstrahlungssumme < 800 kWh pro m² und Jahr: gering (nicht weiter betrachtet)
- Einstrahlungssumme 800 – 999 kWh pro m² und Jahr: mittel
- Einstrahlungssumme > 1'000 kWh pro m² und Jahr: gut, sehr gut und hervorragend

Die Kategorien sind konkret wie folgt festgelegt:

Drei Kategorien nach **Bruttopotenzialfläche**:

- **G = Gross:** Bruttopotenzialfläche: > 500 m² (was statistisch im Schnitt eine netto Potenzialfläche von > 300 m² ergibt), worauf PV Anlagen mit einer Leistung > 50 kW realisiert werden können.
- **M = Mittel:** Bruttopotenzialfläche: 100 – 499 m² (was statistisch im Schnitt eine netto Potenzialfläche von 60 bis 300 m² ergibt), worauf PV Anlagen mit einer Leistung zwischen 10 und 50 kW realisiert werden können.
- **K = Klein:** Bruttopotenzialfläche: 20 – 99 m² (was statistisch im Schnitt eine netto Potenzialfläche von 12 bis 60 m² ergibt), worauf PV Anlagen mit einer Leistung zwischen 2 und 10 kW realisiert werden können.

Zwei Kategorien nach **Dachform**:

- **F = Flachdach:** Neigung 0 - 5°
- **S = Schrägdach:** Neigung > 5°

Zwei Kategorien für **Mindesteinstrahlungssumme** (inkl. Horizontverschattung!)

- **+ = gute bis sehr gute Einstrahlung:** > 1'000 kWh pro m² und Jahr
- **= mittlere Einstrahlung:** 800 – 1'000 kWh pro m² und Jahr

Tabelle 3: Die zwölf Unterkategorien auf der Grundlage der obigen Kriterien.

Dachform / jährliche Einstrahlungssumme kWh pro m ² und Jahr Potenzialfläche (m ²)	Flachdach >1000	Schrägdach / >1000	Flachdach / 800 - 999	Schrägdach / 800 - 999
Gross > 500	1GF+	2GS+	6GF	6GS
Mittel 100 – 499	3MF+	4MS+	6MF	6MS
Klein 20 – 99	5KF+	5KS+	6KF	6KS

Tabelle 4: Die sechs Hauptkategorien auf der Grundlage der obigen Kriterien.
Die Kategorie 6 umfasst sechs Unterkategorien.

Dachform / jährliche Einstrahlungssumme kWh pro m ² und Jahr <i>Potenzialfläche (m²)</i>	Flachdach > 1'000 kWh pro m ² und Jahr	Schrägdach > 1'000 kWh pro m ² und Jahr	Flachdach 800 – 999 kWh pro m ² und Jahr	Schrägdach 800 – 999 kWh pro m ² und Jahr
<i>Gross > 500</i>	1	2	6	6
<i>Mittel 100 - 499</i>	3	4	6	6
<i>Klein 20 - 99</i>	5	5	6	6

Die Kriterien und Kategorien können wie folgt erläutert werden:

Je grösser die Potenzialfläche, desto grösser die PV Anlage und desto tiefer die relativen Kosten pro installierte Leistungseinheit. Daraus ergeben sich folgende generellen, aber nicht für alle individuellen Objekte gültigen Feststellungen:

- **Kategorien 1 und 2:** Diese Kategorien umfassen grössere Potenzialflächen, auf denen grössere Anlagen (50 kW und grösser bei voller Ausnutzung der Potenzialfläche) zu meist günstigen Installationskosten (pro kW) realisiert werden können.
- **Kategorien 3 und 4:** Diese Kategorien umfassen mittelgrosse Potenzialflächen, auf denen mittelgrosse Anlagen (20 bis 50 kW bei voller Ausnutzung der Potenzialfläche) je nach Objekt zu relativ günstigen Installationskosten (pro kW) realisiert werden können.
- **Kategorie 5:** Diese Kategorie umfasst kleinere Potenzialflächen, auf denen kleinere Anlagen (bis zu 10 kW) realisiert werden können. Diese Anlagen weisen wegen der geringen Grösse eine weniger günstige Kostenstruktur aus. Je nach Objekt können diese Anlagen auch aus ökonomischer Sicht noch attraktiv sein (z.B. dank hoher Eigenverbrauchsquote).
- **Kategorie 6:** Diese Kategorie umfasst verschieden grosse Potenzialflächen, die eine geringere Sonneneinstrahlung aufweisen und deshalb nicht zum prioritär zu erschliessenden technisch-ökonomischen Potenzial gezählt werden. Die Ergebnisse werden zwar auf allen Potenzialstufen berechnet, aber diese Kategorie steht in der Erschliessung der Potenziale (und in der Kommunikation der Resultate) nicht im Vordergrund.

3.3.1 Alle Gebäude in der Stadt Zürich

Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenziale für die Flächen, Produktion und Anzahl Teilflächen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 5: Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen für **alle Gebäude** in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.66	103	1'045
Kategorie 2	0.11	19	229
Kategorie 3	0.91	143	6'911
Kategorie 4	1.00	166	11'286
Kategorie 5	1.39	227	48'477
Kategorie 6	1.27	156	26'314
<i>Alle</i>	<i>5.35</i>	<i>813</i>	<i>94'262</i>

3.3.2 Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich

Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenziale für die Flächen, Produktion und Anzahl Teilflächen auf Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6: Die ermittelten technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.12	18	182
Kategorie 2	0.03	6	64
Kategorie 3	0.12	18	832
Kategorie 4	0.14	22	1'225
Kategorie 5	0.10	16	3'303
Kategorie 6	0.14	18	2'173
<i>Alle</i>	<i>0.65</i>	<i>98</i>	<i>7'779</i>

3.4 Abzugsfaktor für Dachbegrünung⁵

Durch die photovoltaische Nutzung der Gebäudeflächen wird die Umwelt nicht irreversibel beeinträchtigt. In diesem Sinne ist die photovoltaische Nutzung des Gebäudeparks eine ökologisch sinnvolle, klimaverträgliche und nachhaltige Nutzung.

⁵ vgl. Potenzialberichte A.1 (Ökologisches Potenzial)

Im Zusammenhang mit der Dachbegrünung gibt es jedoch insbesondere bei Flachdächern eine zusätzliche teils kombinierbare, teils konkurrierende Nutzungsmöglichkeit der Potenzialflächen (nebst der teilweise möglichen Nutzung von Flächen, welche für die Photovoltaik z.B. wegen zu starker Verschattung nicht geeignet sind).

Pauschal wird hier für die Dachbegrünung ein Abzugsfaktor von 30 % auf dem technisch-ökonomischen Potenzial auf Flachdachflächen vorgenommen. Die Grünflächen können so separat genutzt und / oder in lockerer Kombination mit PV Gründachsystemen entwickelt werden (siehe Beispiel in Abbildung 3).



Abbildung 3: Aus ökologischen Gründen (Stichwort Dachbegrünung) wird das Solarpotenzial fallweise nur zum Teil genutzt (Quelle: swisstopo, map.geo.admin.ch).

3.4.1 Alle Gebäude in der Stadt Zürich

Die aus ökologischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale sind in der unten folgenden Tabelle aufgelistet. Sie machen rund 12 % des technisch-ökonomischen Potenzials aus.

Tabelle 7: Die aus ökologischen Gründen **abgezogenen** Potenzialflächen und Produktionspotenziale für **alle Gebäude** in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.20	31
Kategorie 2	0.00	0
Kategorie 3	0.27	43
Kategorie 4	0.00	0
Kategorie 5	0.08	12
Kategorie 6	0.10	13
<i>Alle</i>	<i>0.65</i>	<i>99</i>

3.4.2 Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich

Die aus ökologischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale auf Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich sind in der unten folgenden Tabelle aufgelistet. Sie machen rund 12 % des technisch-ökonomischen Potenzials aus.

Tabelle 8: Die aus ökologischen Gründen **abgezogenen** Potenzialflächen und Produktionspotenziale für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.03	5
Kategorie 2	0.00	0
Kategorie 3	0.04	6
Kategorie 4	0.00	0
Kategorie 5	0.01	1
Kategorie 6	0.01	2
<i>Alle</i>	<i>0.09</i>	<i>13</i>

3.5 Abzugsfaktor für Denkmalschutz⁶

Die Nutzung der Photovoltaik auf Gebäuden ist sozial breit akzeptiert. Einschränkungen kann es insbesondere bei Objekten, die unter Denkmalschutz stehen, und aus ästhetischen Gründen geben. Abbildung 4 zeigt einen Kartenausschnitt mit den verzeichneten denkmalgeschützten oder inventarisierten Objekten und ISOS-A-Perimetern. Vom Potenzial ausgenommen werden sämtliche Gebäude in den ISOS-A-Perimetern. Diese umschliessen die Objekte, die auf höherer Stufe (kantonal und national) denkmalgeschützt sind.

Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der weiteren, sich ausserhalb der ISOS-A-Perimeter befindenden denkmalgeschützten oder inventarisierten Objekte sind im Anhang zur Information aufgeführt.

⁶ vgl. Potenzialberichte A.1 (Sozial akzeptiertes Potenzial)

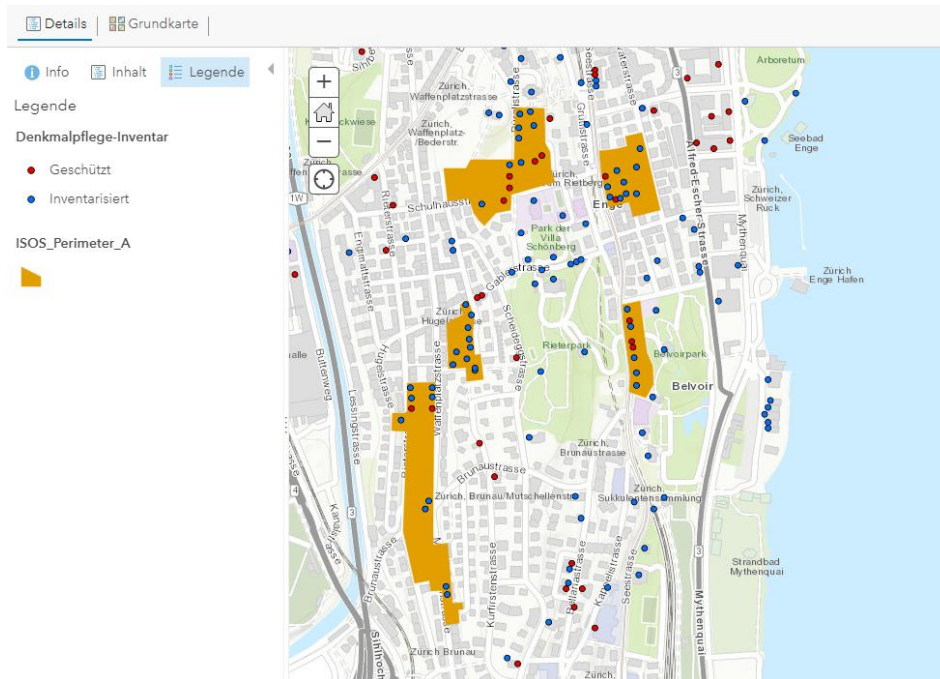


Abbildung 4: ISOS-A-Perimeter (in orange) und denkmalgeschützte / inventarisierte Einzelgebäude (rote / blaue Punkte)

3.5.1 Alle Gebäude in der Stadt Zürich

Die aus denkmalpflegerischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale auf Gebäuden in den ISOS-A-Perimetern sind in der unten folgenden Tabelle aufgeführt. Die Gebäude in den ISOS-A-Perimetern machen rund 15% des technisch-ökonomischen Potenzials aus.

Tabelle 9: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale **im** ISOS-A-Perimeter für **alle Gebäude** in der Stadt Zürich, die vom Potenzial **abgezogen** werden.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.04	6
Kategorie 2	0.02	3
Kategorie 3	0.04	6
Kategorie 4	0.13	22
Kategorie 5	0.29	47
Kategorie 6	0.20	24
<i>Alle</i>	<i>0.71</i>	<i>108</i>

3.5.2 Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich

Die aus denkmalpflegerischen Gründen abgezogenen Potenzialflächen und Produktionspotenziale auf Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich in den ISOS-A-Perimetern sind in der unten folgenden Tabelle aufgeführt. Die Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich in den ISOS-A-Perimetern machen rund 19% des technisch-ökonomischen Potenzials auf allen Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich aus.

Tabelle 10: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale im ISOS-A-Perimeter für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**, die vom Potenzial **abgezogen** werden.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.01	2
Kategorie 2	0.00	0
Kategorie 3	0.01	1
Kategorie 4	0.03	4
Kategorie 5	0.03	5
Kategorie 6	0.03	4
<i>Alle</i>	<i>0.11</i>	<i>16</i>

3.6 Das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte

Das resultierende Potenzial – das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte - stellt das Hauptergebnis dar.

Die hier im Bericht ausgewiesenen Produktionspotenziale bauen auf heute konventionellen PV Systemen auf. Durch weitere technologische Fortschritte können die Produktionspotenziale inskünftig entsprechend gesteigert werden. Die Kategorie 6 (in grau in den Tabellen mit aufgeführt) wird nicht zu den prioritären Potenzialen gezählt und ist entsprechend nicht in den Gesamtzahlen integriert.

3.6.1 Alle Gebäude in der Stadt Zürich

Das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte ist schrittweise / faktorweise ermittelt worden. Der Verlauf (Abzüge und abschliessendes Ergebnis) der Produktionspotenziale auf diesen Gebäuden ist in der unten folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11: Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für **alle Gebäude** - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).

	Technisches Potenzial nach Pauschalabzug 40% für Aufbauten und Nutzungskonkurrenz	Abzugsfaktor Statik 35 %	Abzugsfaktor Dachbegrünung 30 %	Abzugsfaktor ISOS-A-Perimeter	Technisch-ökonomisches Produktionspotenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte
Kategorie 1	159	56	31	6	66
Kategorie 2	19	-	-	3	15
Kategorie 3	220	77	43	6	94
Kategorie 4	166	-	-	22	144
Kategorie 5	249	22	12	47	167
Kategorie 6	179	23	13	24	119
<i>Kategorie 1-5</i>	<i>811</i>	<i>154</i>	<i>86</i>	<i>84</i>	<i>487</i>

Die resultierenden Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen für alle Gebäude in der Stadt Zürich sind in der unten folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 12: Die resultierenden technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte für **alle Gebäude** in der Stadt Zürich.

	Fläche in km²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.43	66	967
Kategorie 2	0.09	15	190
Kategorie 3	0.60	94	6'457
Kategorie 4	0.87	144	9'816
Kategorie 5	1.02	167	45'752
Kategorie 6	0.97	119	20'899
<i>Kategorie 1-5</i>	<i>3.01</i>	<i>487</i>	<i>63'183</i>

Für die technisch-ökonomischen Kategorien ergeben sich folgende Resultate:

- Die Kategorie 1 mit **grösseren Flachdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.43 km² mit einem Produktionspotenzial von **66 GWh** Solarstrom pro Jahr.

- Die Kategorie 2 mit **grösseren Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.09 km² mit einem Produktionspotenzial von **15 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 3 mit **mittelgrossen Flachdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.60 km² mit einem Produktionspotenzial von **94 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 4 mit **mittelgrossen Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.87 km² mit einem Produktionspotenzial von **144 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 5 mit **kleineren Flach- und Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 1.02 km² mit einem Produktionspotenzial von **167 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 6 mit kleineren Flach- und Schrägdachflächen und geringer Einstrahlung umfasst eine Potenzialfläche von 0.97 km² mit einem Produktionspotenzial von 119 GWh Solarstrom pro Jahr.

Die technisch-ökonomischen Kategorien 1 bis 5 weisen insgesamt eine **Potenzialfläche von 3.01 km²** mit einem **Produktionspotenzial 487 GWh** Solarstrom pro Jahr aus.

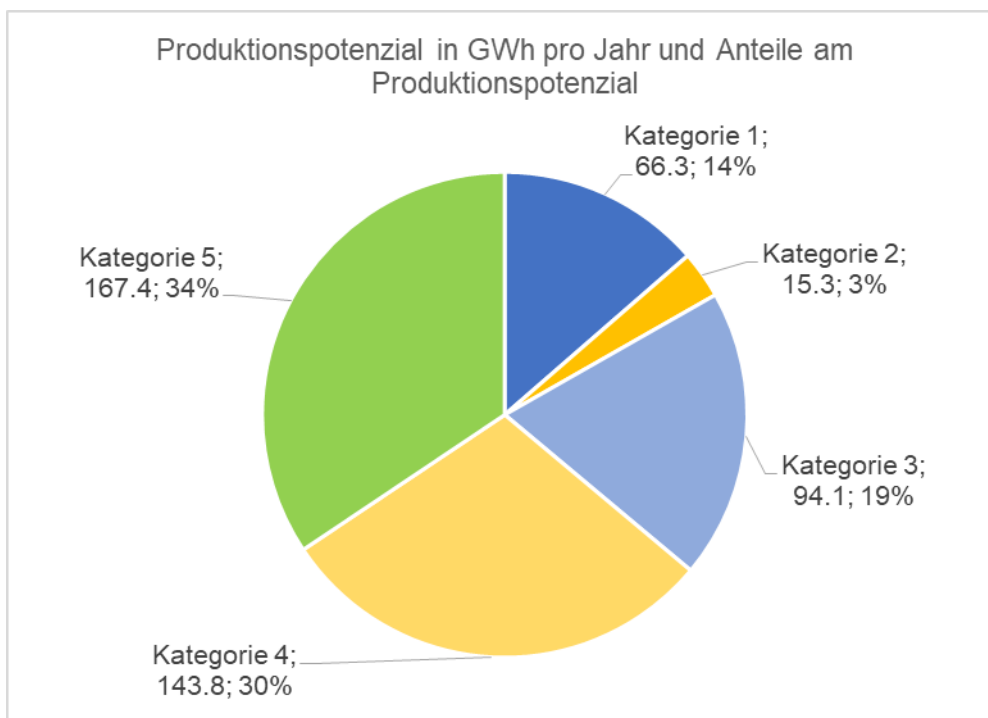


Abbildung 5: Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 (**alle Gebäude**).

Dieses Produktionspotenzial von 487 GWh **entspricht rund 16 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs** (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich. Das Produktionspotenzial aus grösseren Anlagen (Kategorien 1+2) beläuft sich auf 82 GWh (rund 2.7 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs). Aus mittelgrossen

Anlagen ergibt sich zusätzlich ein Potenzial von 238 GWh (rund 7.9 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs). Kleinere Anlagen schliesslich weisen ein zusätzliches Potenzial von 167 GWh (5.6 %) aus.

Tabelle 13: Die resultierenden technisch-ökonomischen Produktionspotenziale unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte Produktionspotenzial nach Anlagengrössen im Verhältnis zum gegenwärtigen Stromverbrauch (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich.

	Produktionspotenzial GWh pro Jahr	Anteil am Strom- verbrauch
Kategorien 1+2 für grössere Anlagen (>50 kW)	82	2.7 %
Kategorien 3+4 für mittelgrosse Anlagen (10 – 50 kW)	238	7.9 %
<i>Kategorien 1–4 für grössere und mittelgrosse Anlagen</i>	320	10.7 %
Kategorie 5 für kleine Anlagen (bis 10 kW)	167	5.6 %
<i>Kategorien 1-5 für alle Anlagen</i>	487	16.2 %

Die erhaltenen Potenzialergebnisse erlauben auch noch eine weitere Schlussfolgerung resp. Darstellung: Das Potenzial findet sich zu je einem Drittel - d.h. **je rund 1 km² Potenzialfläche mit einem Produktionspotenzial von rund 160 GWh** Solarstrom pro Jahr - auf:

- Grösseren und mittelgrossen **Flachdachflächen** (Kategorien 1+3)
- Grösseren und mittelgrossen **Schrägdachflächen** (Kategorien 2+4)
- **Kleinen** Flach- und Schrägdachflächen (Kategorie 5)

3.6.2 Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich

Das technisch-ökonomische Potenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte ist bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt schrittweise / faktorweise ermittelt worden. Der Verlauf (Abzüge und abschliessendes Ergebnis) der Produktionspotenziale auf Gebäuden diesen Gebäuden ist in der unten folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 14: Das technisch-ökonomische Produktionspotenzial für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich** - mit quantifizierten Abzugsfaktoren (Statik, Dachbegrünung und ISOS-A-Perimeter).

	Technisches Potenzial nach Pauschalabzug 40% für Aufbauten und Nutzungskonkurrenz	Abzugsfaktor Statik 35 %	Abzugsfaktor Dachbegrünung 30 %	Abzugsfaktor ISOS-A-Perimeter	Technisch-ökonomisches Produktionspotenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte
Kategorie 1	27	10	5	2	11
Kategorie 2	6	-	-	0	5
Kategorie 3	28	10	6	1	12
Kategorie 4	22	-	-	4	18
Kategorie 5	17	2	1	5	10
Kategorie 6	21	3	2	4	12
<i>Kategorie 1-5</i>	<i>101</i>	<i>21</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>56</i>

Die resultierenden Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen nach Hauptkategorien für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich sind in der unten folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 15: Die resultierenden technisch-ökonomischen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.07	11	167
Kategorie 2	0.03	5	58
Kategorie 3	0.07	12	746
Kategorie 4	0.11	18	955
Kategorie 5	0.06	10	2'172
Kategorie 6	0.10	12	1'494
<i>Kategorie 1-5</i>	<i>0.35</i>	<i>56</i>	<i>4'098</i>

Für die technisch-ökonomischen Kategorien ergeben sich folgende Resultate:

- Die Kategorie 1 mit **grösseren Flachdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.07 km² mit einem Produktionspotenzial von **11 GWh** Solarstrom pro Jahr.

- Die Kategorie 2 mit **grösseren Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.03 km² mit einem Produktionspotenzial von **5 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 3 mit **mittelgrossen Flachdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.07 km² mit einem Produktionspotenzial von **12 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 4 mit **mittelgrossen Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.11 km² mit einem Produktionspotenzial von **18 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 5 mit **kleineren Flach- und Schrägdachflächen** umfasst eine Potenzialfläche von 0.06 km² mit einem Produktionspotenzial von **10 GWh** Solarstrom pro Jahr.
- Die Kategorie 6 mit kleineren Flach- und Schrägdachflächen und geringer Einstrahlung umfasst eine Potenzialfläche von 0.10 km² mit einem Produktionspotenzial von 12 GWh Solarstrom pro Jahr.

Die technisch-ökonomischen Kategorien 1 bis 5 weisen insgesamt eine **Potenzialfläche von 0.35 km²** mit einem **Produktionspotenzial 56 GWh** Solarstrom pro Jahr aus.

Das Produktionspotenzial von 56 GWh **entspricht rund 1.8 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs** (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich. Das Potenzial aus grösseren Anlagen (Kategorien 1+2) beläuft sich auf 16 GWh (rund 0.5 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs). Aus mittelgrossen Anlagen ergibt sich zusätzlich ein Potenzial von 30 GWh (rund 1.0 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs). Kleinere Anlagen schliesslich weisen ein zusätzliches Potenzial von 10 GWh (0.3 %) aus. Das Produktionspotenzial von 56 GWh entspricht rund 33 % des Stromverbrauchs in von der Stadt Zürich selbst benutzten Gebäuden (170 GWh pro Jahr).

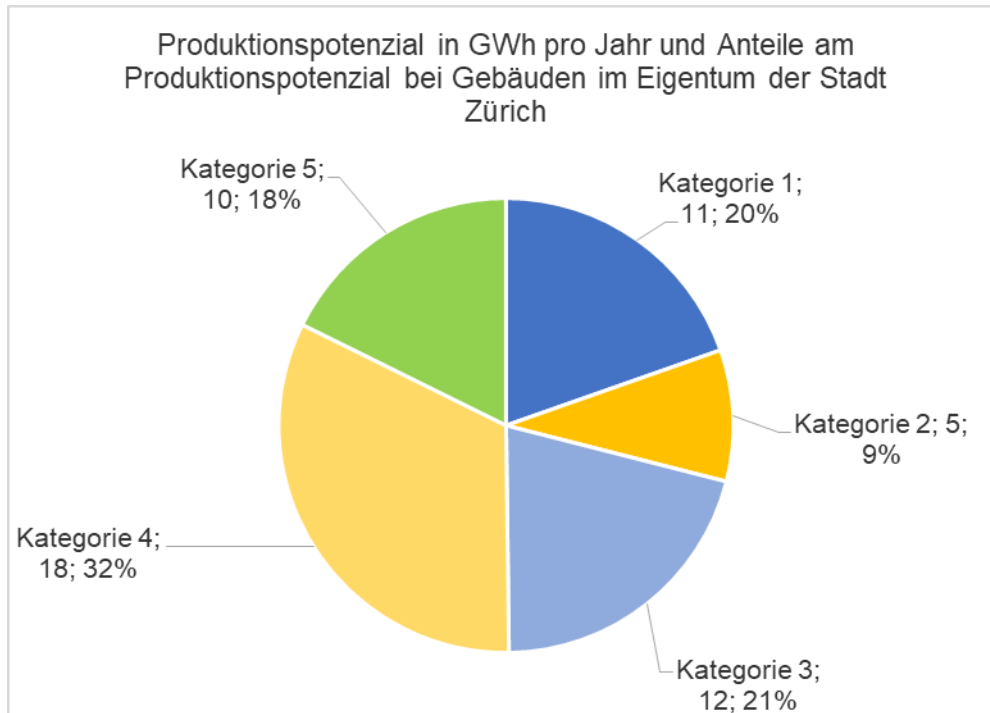


Abbildung 6: Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 bei den **Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich**.

Tabelle 16: Die resultierenden technisch-ökonomischen Produktionspotenziale unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte Produktionspotenzial im Verhältnis zum gegenwärtigen Stromverbrauch (rund 3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich.

	Produktionspotenzial GWh pro Jahr	Anteil am Strom- verbrauch
Kategorien 1+2 für grössere Anlagen (>50 kW)	16	0.5 %
Kategorien 3+4 für mittelgrosse Anlagen (10 – 50 kW)	30	1.0 %
Kategorien 1–4 für grössere und mittelgrosse Anlagen	46	1.5 %
Kategorie 5 für kleine Anlagen (bis 10 kW)	10	0.3 %

3.7 Das Potenzial nach Stadtquartieren

Das resultierende Potenzial – das technisch-ökonomische Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte – wird in diesem Abschnitt nach Stadtquartieren dargestellt. Grundlage hierfür ist das Kapitel 3.6, insbesondere 3.6.1.

Tabelle 17: Die Produktionspotenziale - unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte - in GWh nach Stadtquartieren und Kategorien für alle Gebäude in der Stadt Zürich. Die fünf Quartiere mit dem höchsten Potenzial fett markiert.

	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4	Kat. 5	Kat 1-5
Affoltern	2.4	1.0	6.6	8.3	8.1	26.5
Albisrieden	3.2	0.3	4.5	7.4	5.9	21.2
Alt-Wiedikon	4.3	0.8	3.2	5.0	6.5	19.7
Altstetten	10.3	2.3	9.2	12.5	10.6	44.9
City	0.5	0.2	0.6	2.1	2.1	5.5
Enge	1.4	0.2	2.5	5.0	6.3	15.5
Escher Wyss	6.0	0.1	2.3	1.8	1.3	11.4
Fluntern	0.6	0.3	3.1	3.9	6.6	14.4
Friesenberg	1.6	0.2	2.3	2.4	2.3	8.8
Gewerbeschule	1.2	0.1	1.1	2.1	3.4	7.9
Hard	3.0	1.3	1.7	3.7	2.5	12.1
Hirslanden	0.1	0.0	1.0	1.6	5.0	7.7
Hirzenbach	1.6	0.1	2.0	4.0	4.2	11.9
Hochschulen	0.4	0.0	0.9	1.5	1.5	4.4
Höngg	3.0	0.6	8.1	9.1	9.5	30.2
Hottingen	0.8	1.2	2.4	2.8	6.9	14.0
Langstrasse	1.2	0.2	1.7	3.1	5.1	11.2
Leimbach	0.5	0.2	1.4	1.2	2.9	6.2
Lindenhof	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mühlebach	0.4	0.1	1.4	2.0	3.7	7.7
Oberstrass	1.9	0.1	1.9	3.0	6.4	13.4
Oerlikon	6.8	2.7	5.7	7.7	11.0	34.0
Rathaus	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5
Saatlen	1.5	0.2	1.6	2.4	2.3	8.0
Schwamendingen-Mitte	1.0	0.0	2.3	5.8	2.9	12.0
Seebach	5.5	1.6	8.0	8.3	7.9	31.3
Seefeld	0.1	0.1	0.9	1.5	2.6	5.3
Sihlfeld	1.1	0.3	1.8	5.1	4.1	12.4
Unterstrass	1.3	0.1	2.6	8.8	9.9	22.8
Weinegg	1.7	0.2	1.9	3.3	3.5	10.6
Werd	0.4	0.0	0.7	0.7	1.5	3.3
Wipkingen	0.8	0.4	2.0	4.3	7.9	15.4
Witikon	0.2	0.1	5.1	5.1	5.4	15.8
Wollishofen	1.7	0.5	3.3	8.1	7.4	20.9
<i>Alle Quartiere</i>	<i>66.3</i>	<i>15.3</i>	<i>94.1</i>	<i>143.8</i>	<i>167.4</i>	<i>487.0</i>

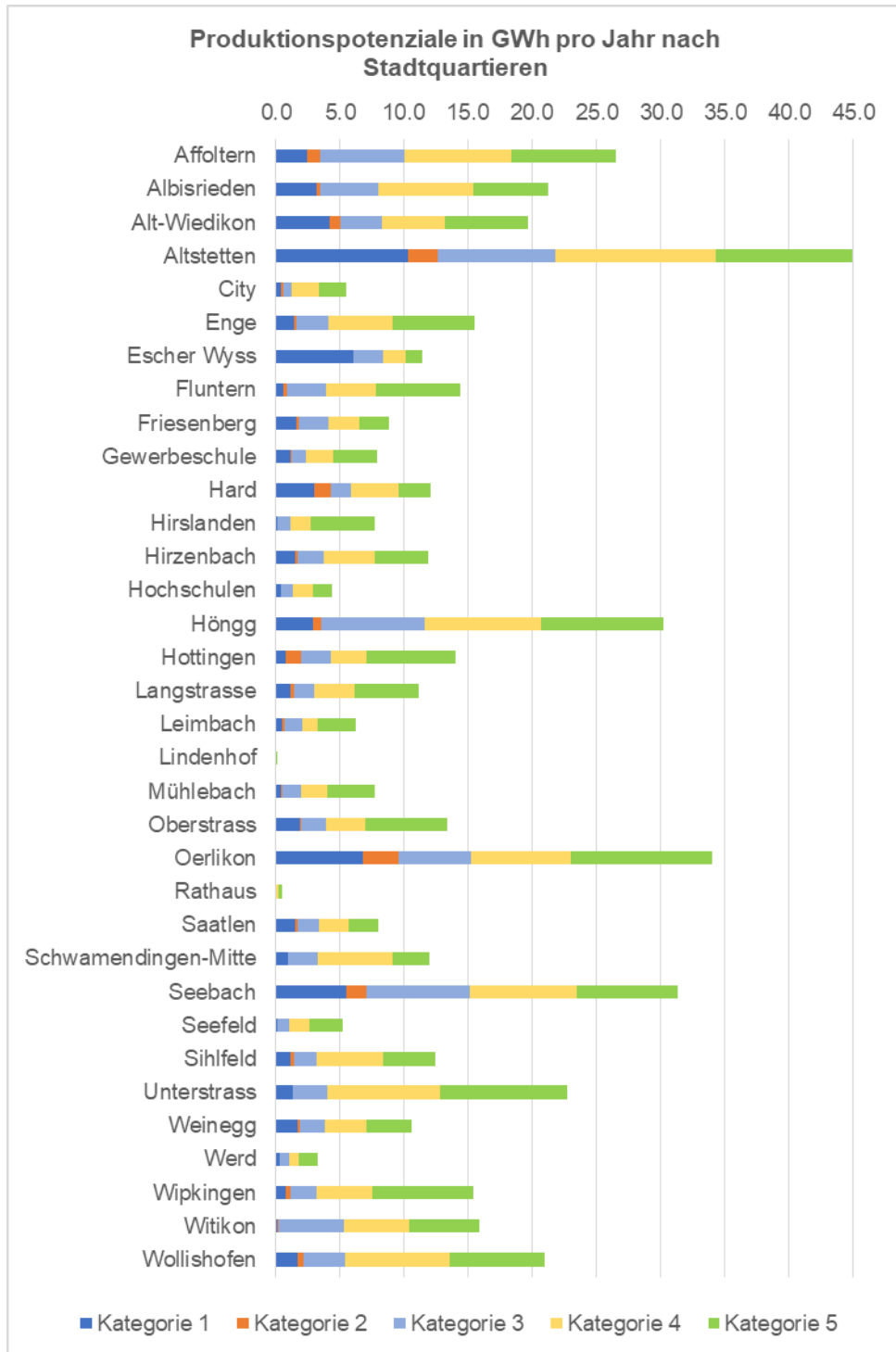


Abbildung 7: Die Produktionspotenziale in GWh pro Jahr und Anteile am Produktionspotenzial für die Kategorien 1 – 5 in den 34 Stadtquartieren.

4 Erschliessungsszenarien

Für die Erschliessungsszenarien bis 2030 wird zuerst ein Blick auf die Entwicklung und den Stand der PV Technologie, des PV Marktes und der Erneuerungsquote im bestehenden Gebäudepark geworfen.

4.1 PV Technologie

Der weltweite PV Markt (gemäss IEA und Abschätzungen BFE/Swissolar) ist seit der Studie von 1997/1998 enorm gewachsen. Allein in den vergangenen Jahren erhöhte sich die kumulierte installierte Leistung im Schnitt um mehr als 30 % gegenüber dem Vorjahr. Ende 2019 belief sich die weltweit installierte Leistung aller PV Anlagen auf etwa 627 GW, welche theoretisch etwa 3 % des weltweiten Elektrizitätsbedarfs abdecken konnten. In der Schweiz liegt dieser Anteil momentan bei etwa 4.2 %, in der EU bei ca. 4.9 %. Den höchsten Anteil am Elektrizitätsbedarf deckt die Photovoltaik in Honduras mit etwa 14.8 %. Seit 2017 betrug die jährliche, weltweit neu installierte Leistung jeweils mehr als 100 GW. Dieser Markt wird geografisch von Asien (hier hauptsächlich China mit allein 2/3 aller produzierten Module) und technologisch von Modulen auf Silizium-Basis (etwa 95 %) dominiert.

Wurde der Markt früher hauptsächlich durch staatliche Förderungen angetrieben, so hat die Photovoltaik mittlerweile ein Preisniveau erreicht, dass grosse Anlagen ohne staatliche Förderungen gebaut und über sogenannte Power Purchase Agreements (PPAs) finanziert werden.

Seit 2000 wurden jährlich hauptsächlich multikristalline PV Module verbaut. Im Zuge der Weiterentwicklungen und den einhergehenden Effizienzsteigerungen, vor allem in den letzten Jahren, werden mittlerweile hauptsächlich monokristalline PV Module verbaut.

Der Wirkungsgrad eines einfachen Standard-Moduls liegt mittlerweile bei 17 % (multikristallin) bzw. 19 % (monokristallin), wobei die Leistung für ein Modul mit 60 Zellen auch auf deutlich über 300 Wp gestiegen ist. Die besten monokristallinen Module erreichen im Labor derzeit Wirkungsgrade von > 24 %.

Im Markt verfügbare Highend-Module basieren auf heterojunction- (HJC) oder integrated back contact-Zellen (IBC) und erreichen Wirkungsgrade von 22 %.

Ein Blick auf die Entwicklung unterschiedlicher Technologie- bzw. Zellkonzepte bietet die folgende Abbildung.

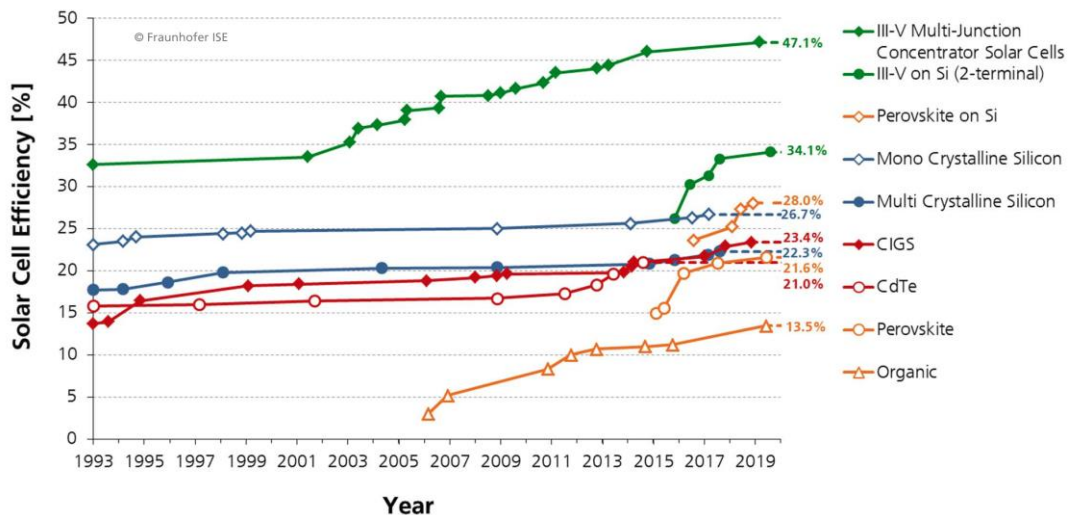


Abbildung 8: Entwicklung unterschiedlicher Technologie- bzw. Zellkonzepte.
Quelle: Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report 2020.

Die beiden blauen Kurven zeigen die Entwicklung der bisher mit Abstand marktführenden Technologie, den Silizium-Solarzellen. Hier wird sich der Wirkungsgrad bis 2030 weiter dem theoretischen Limit von 29 % annähern.

Viel Hoffnung steckt derzeit in sogenannten Mehrfachsolarzellen. Hier werden Zellen basierend auf unterschiedlichen Technologien miteinander verbunden (gestapelt), um so das theoretische Limit von Silizium überspringen zu können. So wurden beispielsweise mit 2-fach Solarzellen, bei denen eine III-V Zelle auf eine Siliziumzelle gesetzt wurde, bereits Wirkungsgrade (im Labor) von 34.1 % erzielt und somit das theoretische Limit einer reinen Siliziumsolarzelle übersprungen. Es wird zum Teil auch bereits mit 3-fach und 4-fach Konzepten experimentiert. Was sich jedoch am Ende durchsetzen kann und wann diese neue Technologie im Modul-Massstab grossflächig im Markt verfügbar sein wird, ist derzeit nicht absehbar.

Die Wirkungsgrade von PV Wechselrichtern liegen mittlerweile bei 98 % und mehr (siehe Übersicht Tabelle 18). Dominiert wird der Markt von String-Wechselrichtern, die mittlerweile eine maximale Ausgangsleistung von 250 kVA erreichen. Bei grossen Freiflächenanlagen kommen zudem auch weiterhin Zentral-Wechselrichter zum Einsatz, die jedoch in der Schweiz kaum eine Rolle spielen. Heutige Wechselrichter werden immer digitaler, übernehmen Schutzfunktionen fürs Stromnetz und optimieren zum Teil auch bereits aktiv den Eigenverbrauch. Leistungsoptimierer erlauben es, bei Teilverschattungen die Produktionsverluste zu minimieren.

Tabelle 18: Wechselrichtertypen und technisch-ökonomische Daten. Quelle: Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report 2020.

Wechselrichtertyp	Leistung	Wirkungsgrad	Kosten
String-Wechselrichter	bis 250 kVA	~ 98 %	6–19 Rp./Wp
Zentralwechselrichter	ab ca. 80 kVA	~ 98.5 %	~ 5 Rp./Wp
Mikrowechselrichter	Modulleistungswerte	90 % - 97 %	~ 33 Rp./Wp
DC/DC Leistungsoptimierer	Modulleistungswerte	bis zu 99.5 %	~ 10 Rp./Wp

4.2 PV Kosten

Die Kosten für die Photovoltaik sind in den letzten zehn Jahren sehr stark gesunken. Die aktuellen Kosten für PV Anlagen in der Schweiz sind anhand der Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019 von EnergieSchweiz / BFE nachfolgend abgebildet.

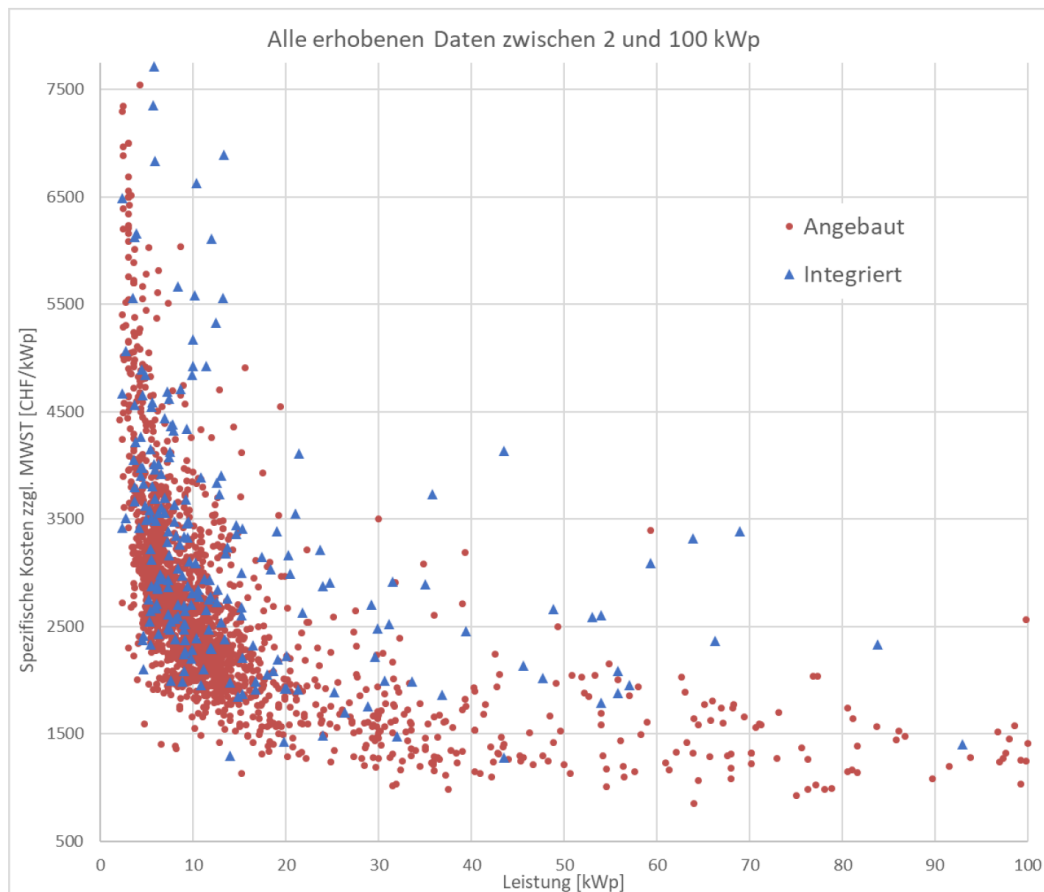


Abbildung 9: Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbe- reich 2 bis 100 kWp, mit Unterscheidung zwischen angebauten und integrierten Anlagen. Quelle: BFE, Photovoltaikmarkt-Be- obachtungsstudie 2019, 2020.

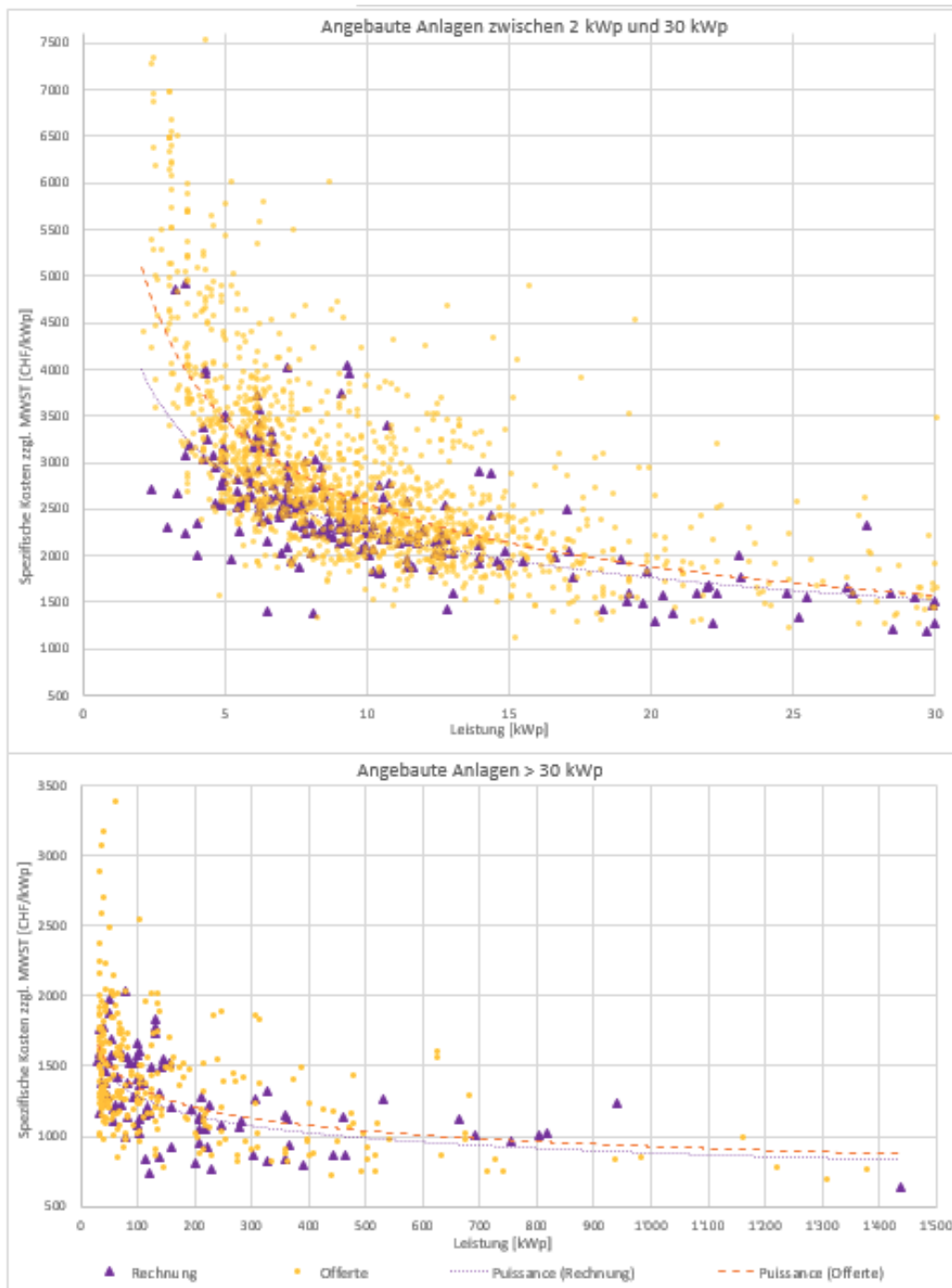


Abbildung 10: Vergleich der spezifischen Kosten gemäss Offerten und Rechnungen für angebaute Anlagen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Quelle: BFE, Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019, 2020.

Auf dieser Grundlage und unter Einbezug von Erfahrungswerten der ewz können für typische PV Anlagen folgende Kosten angenommen werden.

Tabelle 19: Exemplarische Gestehungskosten in Bezug auf die Anlagengrösse.

Anlagengrösse	Investition	Gestehungskosten
5 kWp	CHF 18'000 – 20'000.-	21.7 – 24.1 Rp./kWh
15 kWp	CHF 40'000 – 50'000.-	16.9 – 20.9 Rp./kWh
30 kWp	CHF 60'000 – 80'000.-	13.1 – 17.1 Rp./kWh

Zur Berechnung der Gestehungskosten mit dem Swissolar Kostenrechner für PV Anlagen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Jahresertrag 950 kWh/kWp
- Lebensdauer 30 Jahre
- Betriebs- und Unterhaltskosten 3 Rp./kWh
- Standarddegradation (mind. 83% Leistung nach 25 Jahren)
- Pronovo Beiträge per 1.1.2021 (Homepage)
- Kalkulationszinssatz: 3 %

Die spezifischen Investitionskosten der PV Anlagen, auf deren Grundlage gerechnet wurde, liegen bei CHF 4'000/kWp bei kleinen Anlagen mit 5 kW Leistung und CHF 2'000/kWp bei Anlagen mit 30 kW Leistung. Diese liegen deutlich über dem gesamtschweizerischen Durchschnitt. Im Vergleich zum schweizerischen Mittel wurden ebenfalls sowohl der Jahresertrag (Schweizer Durchschnitt 1'013 kWh/kWp) als auch der Kalkulationszinssatz (Vorgabe vom Bund 2 %) dem Zürcher Kontext gemäss ewz angepasst.

Grundsätzlich können zur Investition in die eigentliche PV Anlage weitere Nebenkosten wie beispielsweise zur Modernisierung der Gebäudetechnik / -elektrik anfallen.

Bei PV Anlagen und Eigenverbrauchsgemeinschaften / Zusammenschlüssen kommen in der Regel sogenannte Stromnebenkosten hinzu, um den Aufwand für Messung, Abrechnung und Verwaltung zu vergüten. Diese Dienstleistungen können intern oder extern (z.B. Dienstleistungspauschale von ewz in Höhe von 4 Rp./kWh) erbracht werden. Beim Vergleich der Kosten mit dem aus dem Netz bezogenen Strom (Liefertarif) sind beim selber produzierten Solarstrom die Gestehungs- und Nebenkosten zu berücksichtigen.

Die Investitionskosten werden in den nächsten Jahren voraussichtlich in kleinen Schritten weiter sinken, aber nicht mehr in den Größenordnungen wie sie vor allem in den frühen 2010er Jahren vorgekommen sind. Dies nicht zuletzt auch weil die Kosten in der Schweiz vor allem von den Installationskosten abhängen.

Die Wirtschaftlichkeit hängt im aktuellen und zukünftigen Kontext von weiteren Faktoren, insbesondere von der Eigenverbrauchsquote und den Tarifen für Einspeisung und Lieferung ab (Tarife ewz 2021: Einspeisetarif von 8.5 Rp./kWh und Liefertarif von 26.66 Rp./kWh). Tendenziell können Gebäude im städtischen Kontext - in der Stadt Zürich befinden sich zwei Drittel der Potenziale auf Gebäuden mit vier und mehr Geschossen und entsprechend eher höheren Stromverbräuchen – höhere Eigenverbrauchsquoten erreichen.

4.3 PV Entwicklung in der Stadt Zürich

Die Entwicklung der PV Installationen in der Stadt Zürich widerspiegelt gut die "mutmassliche" Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik (Abbildung 11 und Tabelle 20). In der Zeit von 1990 bis und mit 2019 wurden insgesamt 29.3 MW installiert. Über die Hälfte (15.4 MW) der installierten Leistung machen (130) Anlagen > 50 kW aus. Die (506) Anlagen zwischen 10 und 50 kW kommen insgesamt auf 12 MW; die (321) Anlagen > 10 kW weisen insgesamt eine Leistung von 1.9 MW aus. Die Anlagen beanspruchen insgesamt eine Fläche von 182'000 m². Die Fläche dürfte in der Realität etwas höher sein, da die Anlagen früher grosszügiger aufgeständert installiert wurden. Die bestehenden PV Anlagen steuern derzeit rund 1 % zur Deckung des Strombedarfs in der Stadt Zürich bei.

Die jährlich installierte Leistung im Gebäudepark der Stadt Zürich hat in der Zeit von 2011 bis 2019 pro Jahr um 23 % zugenommen.

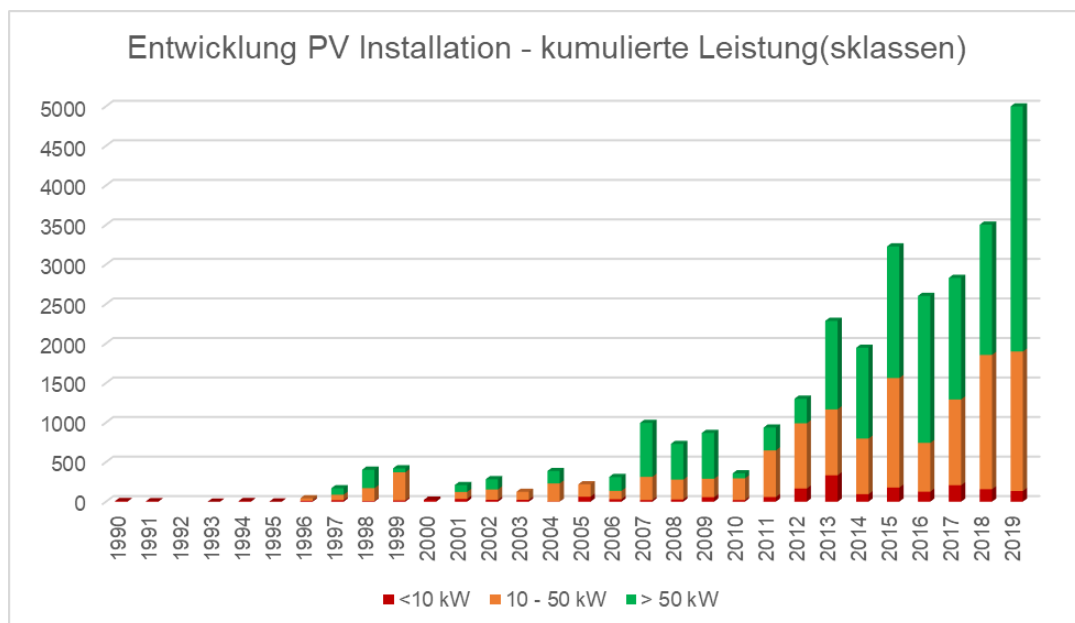


Abbildung 11: Entwicklung der PV Installationen in der Stadt Zürich. Quelle: Rohdaten von ewz.

Tabelle 20: PV Installationen in der Stadt Zürich. Quelle: Rohdaten von ewz.

Anlagengrösse	Anzahl	Leistung in MW	Fläche in m ²
> 50 kW	130	15.4	100'000
10 – 50 kW	506	12.0	70'000
< 10 kW	321	1.9	12'000

4.4 Erneuerungsquote in der Stadt Zürich

Die verschiedenen Analysen und Daten von Statistik Stadt Zürich zeigen eine durchschnittliche Erneuerungsquote (Sanierung, Ersatzneubau, etc.) von 1.5 % pro Jahr im Gebäudepark der Stadt Zürich. In diesem Bericht wird dies als "**dynamisches Potenzial**" bezeichnet und umfasst somit Dachflächen, die erneuert werden. Für die Kategorien 1 bis 5 ergeben sich so theoretisch jährlich rund 45'000 m² Potenzialfläche mit einem Produktionspotenzial von rund 7.3 GWh. Umfassende Zahlen zur konkreten Nutzung und Berücksichtigung von PV Anlagen im Zusammenhang mit bisher durchgeführten Erneuerungsarbeiten liegen für diese Studie nicht vor.

Tabelle 21: Die resultierenden Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen nach Hauptkategorien im **dynamischen**, technisch-ökonomischen Potenzial im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Fläche in m ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	6'410	1.00	15
Kategorie 2	1'403	0.23	3
Kategorie 3	9'020	1.41	97
Kategorie 4	13'023	2.16	147
Kategorie 5	15'319	2.51	686
<i>Alle</i>	<i>45'175</i>	<i>7.31</i>	<i>948</i>

In Abgrenzung zum dynamischen Potenzial gibt es das "**statische Potenzial**", welches den grossen Teil der bestehenden Gebäude umfasst, der nicht unmittelbar erneuert wird. Für einen Zeitraum von zehn Jahren können stark vereinfacht rund 15 % der Gebäudeflächen zum dynamischen Potenzial und rund 85 % der Gebäudeflächen zum statischen Potenzial gerechnet werden. Über einen Zeitraum von 70 Jahren (aufgrund Erneuerungsquote und Lebensdauer) stellt hingegen statistisch gesehen quasi der gesamte Gebäudepark ein dynamisches Potenzial dar.

Wenige konsolidierte Daten bestehen zur unmittelbaren Eignung der Dachflächen. Die Erfahrung zeigt, dass ein grosser Teil der Dachflächen, insbesondere

Flachdachflächen, nicht unmittelbar für die Photovoltaik genutzt werden kann. Bei Flachdächern spielt insbesondere die (ungenügende) Statik eine grosse Rolle resp. stellt eine Hürde dar (bereits beim technischen Potenzial berücksichtigt resp. abgezogen). Die Installation von PV Anlagen wird auch durch "anstehende" Sanierungen / Erneuerungen vorerst blockiert. Mit einer Lebensdauer von 30 Jahren für PV Anlagen ist es bei vielen Objekten ratsam oder nötig, erst die entsprechenden gebäudeseitigen Arbeiten im „passenden“ Sanierungszyklus abzuwarten resp. die Gebäudesanierung und die Installation einer PV Anlage zu koordinieren.

4.5 Erschliessungsszenarien bis 2030

Auf Grund der Kosten- und Marktentwicklung sowie der ambitiös gesetzten Energie- und Klimaziele ist für die Erschliessung der PV Potenziale von einer Beschleunigung auszugehen.

Für die Erschliessung der PV Potenziale werden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Durchdringungsraten festgelegt. Diese werden zum einen für das dynamische Potenzial (s. Tabelle 21 in Kapitel 4.4) und zum andern für das statische Potenzial (s. Tabelle 13 in Kapitel 3.6) festgelegt. Für eine kürzere Periode können diese Potenziale vereinfachend addiert werden. Die Durchdringungsrate von 50 % beim dynamischen Potenzial heisst, dass die Hälfte des möglichen Potenzials bei Sanierungen effektiv genutzt wird. Die Durchdringungsrate von 1 % beim statischen Potenzial heisst, dass 1 % des Potenzials im bestehenden Gebäudepark (ohne Sanierung) erschlossen wird.

Tabelle 22: Zusammenstellung der Annahmen für die **beiden** Erschliessungsszenarien.

	Erschliessungs-szenario I	Erschliessungs-szenario II
<i>Dynamisches Potenzial jährlich</i>		
Grössere Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen > 50 kW (Kategorien 1+2)	75 %	100 %
Mittelgrosse Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen 10 – 50 kW (Kategorien 3+4)	50 %	100 %
Kleinere Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen < 10 kW (Kategorie 5)	25 %	50 %
<i>Statisches Potenzial jährlich</i>		
Grössere Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen > 50 kW (Kategorien 1+2)	1 %	3 %
Mittelgrosse Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen 10 – 50 kW (Kategorien 3+4)	1 %	3 %
Kleinere Flach- und Schrägdachflächen für Anlagen < 10 kW (Kategorie 5)	1 %	3 %

4.5.1 Alle Gebäude in der Stadt Zürich

Die Ergebnisse der beiden Erschliessungsszenarien sind für alle Gebäude in der Stadt Zürich in den folgenden zwei Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 23: Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im **Erschliessungsszenario I** (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.09	14.10	206
Kategorie 2	0.02	3.26	40
Kategorie 3	0.11	16.46	1'130
Kategorie 4	0.15	25.17	1'718
Kategorie 5	0.14	23.02	6'291
<i>Alle</i>	<i>0.51</i>	<i>82.01</i>	<i>9'385</i>

Im Erschliessungsszenario I werden pro Jahr rund 51'000 m² Dachflächen mit einem Produktionspotenzial von rund 8.2 GWh erschlossen. **Per 2030** ergibt sich somit ein zusätzliches Produktionspotenzial von **82 GWh pro Jahr** (per Ende 2020 rund 35 GWh). Dies ergibt eine Gesamtproduktion per 2030 von **117 GWh pro Jahr**, was rund 3.9 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs (3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich entspricht. Mit 8.2 GWh pro Jahr liegt diese Zubaurate um einen Faktor 1.6 über dem aktuellen Volumen von rund je 5 GWh pro Jahr in den Jahren 2019 und 2020.

Tabelle 24: Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im **Erschliessungsszenario II** (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials im Gebäudepark der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.19	29.85	435
Kategorie 2	0.04	6.90	86
Kategorie 3	0.27	42.33	2'906
Kategorie 4	0.39	64.72	4'417
Kategorie 5	0.38	62.79	10'294
<i>Alle</i>	<i>1.28</i>	<i>206.59</i>	<i>18'138</i>

Im Erschliessungsszenario II werden pro Jahr rund 128'000 m² Dachflächen mit einem Produktionspotenzial von rund 20.7 GWh erschlossen. **Per 2030** ergibt sich somit ein zusätzliches Produktionspotenzial von **207 GWh pro Jahr** (per Ende 2020 rund 35 GWh). Dies ergibt eine Gesamtproduktion per 2030 von **242 GWh pro Jahr**, was rund 8.1 % des gegenwärtigen Stromverbrauchs (3'000 GWh pro Jahr) in der Stadt Zürich entspricht. Mit 20.7 GWh pro Jahr liegt diese

Zubaurate um einen Faktor 4 über dem aktuellen Volumen von rund je 5 GWh pro Jahr in den Jahren 2019 und 2020. Mit einer Produktion von 242 GWh pro Jahr im Jahr 2030 würde damit bereits die Hälfte des Potenzials erschlossen. Dieses Erschliessungsszenario II ist also sehr ambitioniert.

Noch mehr als beim Erschliessungsszenario I würde die Photovoltaik regelrecht zu einem Bestandteil der Baukultur. Limitierend sein könnten vor allem beim ambitionierten Erschliessungsszenario II die effektive Verfügbarkeit der eigentlich geeigneten Flächen und die Bereitschaft der entsprechenden GebäudeeigentümerInnen, in dieser Periode bis 2030 (auch) in eine PV Anlage zu investieren, insbesondere wenn die ökonomischen oder strukturellen Bedingungen (Rentabilität resp. komplexe Situationen z.B. beim Bauprojekt oder Eigentümer- / Nutzungsstruktur) hemmend wirken.

4.5.2 Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich

Die Ergebnisse der beiden Erschliessungsszenarien sind für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich in den folgenden zwei Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 25: Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen im **Erschliessungsszenario I** (kumuliert über zehn Jahre) in der Stadt Zürich im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.015	2.31	35
Kategorie 2	0.007	1.10	12
Kategorie 3	0.013	2.02	131
Kategorie 4	0.019	3.15	167
Kategorie 5	0.008	1.35	299
<i>Alle</i>	<i>0.062</i>	<i>9.92</i>	<i>644</i>

Im Erschliessungsszenario I werden pro Jahr rund 6'000 m² Dachflächen mit einem Produktionspotenzial von rund 1.0 GWh erschlossen. **Per 2030** ergibt sich somit ein zusätzliches Produktionspotenzial von **10 GWh pro Jahr** (per Ende 2020 rund 3 GWh). Dies ergibt eine Gesamtproduktion per 2030 von **13 GWh pro Jahr** auf Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich. Diese Solarstromproduktion von 13 GWh pro Jahr entspricht 7.6 % des Stromverbrauchs in von der Stadt Zürich selbst benutzten Gebäuden (170 GWh pro Jahr).

Tabelle 26: Die erschlossenen Potenzialflächen, Produktionspotenziale und Anzahl Dachflächen nach Hauptkategorien im **Erschliessungsszenario II** (kumuliert über zehn Jahre) im Rahmen des technisch-ökonomischen Potenzials bei den Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Dachflächen
Kategorie 1	0.032	4.89	75
Kategorie 2	0.014	2.33	26
Kategorie 3	0.033	5.19	336
Kategorie 4	0.049	8.10	430
Kategorie 5	0.023	3.67	814
<i>Alle</i>	<i>0.151</i>	<i>24.18</i>	<i>1'681</i>

Im Erschliessungsszenario II werden pro Jahr rund 15'000 m² Dachflächen mit einem Produktionspotenzial von rund 2.4 GWh erschlossen. **Per 2030** ergibt sich somit ein zusätzliches Produktionspotenzial von **24 GWh pro Jahr** (per Ende 2020 rund 3 GWh). Dies ergibt eine Gesamtproduktion per 2030 von **27 GWh pro Jahr** auf Gebäuden im Eigentum der Stadt Zürich. Diese Solarstromproduktion von 27 GWh pro Jahr entspricht fast 16 % des Stromverbrauchs in von der Stadt Zürich selbst benutzten Gebäuden (170 GWh pro Jahr).

5 Entwicklungsfaktoren und Massnahmen für die PV in der Stadt Zürich

Die Erschliessung des PV Potenzials hängt zu einem grossen Teil von den allgemeinen Rahmenbedingungen und Faktoren ab, die nicht spezifisch für die Stadt Zürich sind.

Diese überkommunalen Massnahmen und die im Rahmen der 2000-Watt-Leistungen erfolgten Beiträge durch ewz haben die Entwicklung der Photovoltaik angesichts einer Wachstumsrate von 23 % bei der jährlich installierten Leistung im Gebäudepark der Stadt Zürich zwischen 2011 und 2019 merklich stimuliert.

Mit einem Anteil von 1 % zur Deckung des Stromverbrauchs in der Stadt Zürich im Jahr 2019 ist der photovoltaische Anteil gering und der grösste Teil des Potenzials liegt noch brach.

Allerdings muss im stark urbanisierten Kontext, wie dies in der Stadt Zürich der Fall ist, berücksichtigt werden, dass die verfügbaren Potenzialflächen und ihr Produktionspotenzial angesichts der sehr hohen Stromverbrauchsintensität im Vergleich zu weniger stark urbanisierten Gebieten relativ gesehen deutlich tiefer sind, d.h. der im stadtzürcherischen Gebäudepark generierte Solarstrom kann nicht dieselben Anteile zur Deckung des Strombedarfs erreichen, wie dies beispielsweise in ländlichen Regionen mit einer geringeren Bebauungs- und Stromverbrauchsichte möglich ist.

Der städtische Kontext bietet hingegen den Vorteil, dass der lokal produzierte Solarstrom auch effektiv zu einem sehr hohen Anteil vor Ort verbraucht wird und nicht wegtransportiert werden muss.

Auf der kommunalen Ebene können verschiedene Massnahmen in Betracht gezogen werden, die die günstige Weiterentwicklung der PV unterstützen. Die Massnahmen, wie sie für die Dachbegrünung ([siehe Webseite](#)) getroffen worden sind, können für die Photovoltaik herangezogen werden.

Im Folgenden wird eine Auswahl von Massnahmen zur Unterstützung der PV Entwicklung in der Stadt Zürich skizziert.

- **Verpflichtung bei Neubauten und Sanierungen, das wirtschaftlich abschöpfbare Potenzial photovoltaisch zu nutzen:** Die Verpflichtung hat den Vorteil, bei vorgesehenen / anstehenden Arbeiten die Synergien zur Realisierung einer PV Anlage effektiv zu nutzen und damit erhebliche Kosten einzusparen.

Bei Neubauten empfiehlt die ENDK die **Eigenstromerzeugung**. Diese Empfehlung ist in verschiedenen Kantonen bereits verpflichtend eingeführt

worden. Im Kanton Zürich ist diese bei der laufenden Revision des Energiegesetzes⁷ vorgesehen.

Grundsätzlich ist eine solche Verpflichtung auch bei **bestehenden** Gebäuden einforderbar. Dies wurde aber bislang in der Schweiz nicht gemacht. Die Stadt Hamburg hat im Klimaschutzgesetz vom Februar 2020⁸ eine PV-Pflicht – auch bei Dachhautsanierungen – vorgesehen (Art. 16).

- **Aufzeigen von guten Beispielen:** Gute Beispiele helfen, konkrete und trotz aller Vielfalt der möglichen Situationen stellvertretende anschauliche Lösungen aufzuzeigen. Gerade für potenziell komplexere Situationen – bautechnisch wie Architektur, Denkmalschutz, Dachbegrünung, Anschlussbedingungen oder rechtlich wie Miet- und Dachnutzungsrecht oder finanziell – sind pragmatische und erfolgreiche Lösungsansätze Türöffner für weitere Projekte.
- **Beratung und Expertise durch die Stadt:** Oft treten private oder nicht-professionelle Akteure als Investoren auf, die nur einmal ein PV Projekt realisieren. Für diese Akteure kann die Komplexität der zu beachtenden Faktoren und Regelungen hoch / zu hoch sein. Entsprechend wichtig und entscheidend ist eine Beratung und Begleitung durch ExpertInnen, die solche Akteure umfassend und zielführend unterstützen können.
- **Abstimmung mit "Konkurrenznutzung":** Im stark urbanisierten Kontext kommen viele Ansprüche zusammen – auch auf den Dächern. Diese Nutzungsansprüche stehen sich in den Zielen z.T. harmonisch, z.T. gegensätzlich gegenüber, wobei sich z.B. die Begrünung und solare Nutzung der Dächer nicht zwingend gegenseitig ausschliessen müssen. Bei Sanierungen und Anpassungen der Dächer ist deshalb ein abgestimmtes, gesamtheitliches Vorgehen von besonderem Interesse und Nutzen.
- **Baubewilligungsverfahren:** Ausgenommen bewilligungsfreier Solaranlagen nach dem Bundesrecht werden im Baubewilligungsverfahren die Projekte hinsichtlich der verschiedenen relevanten Bereiche (Bau, Energie, Denkmalpflege, etc.) geprüft. Die immer präsentere und vielseitigere Photovoltaik bietet konstruktive und nachhaltige Lösungen an, die entsprechend in der Güterabwägung im Bewilligungsverfahren gewürdigt werden können.
- **Gestaltungspläne / Baurechtsverträge / Arealüberbauungen:** Die Eigenstromerzeugung (vorwiegend Photovoltaik) ist bei Bau- / Überbauungsprojekten in allen Phasen und Bereichen zu integrieren, damit effiziente und optimale Lösungen erzielt werden können.
- **Zusammenschlüsse zum Eigenverbrauch:** Seit 2018 sind Zusammenschlüsse zum Eigenverbrauch möglich. Damit ergibt sich eine interessante

⁷ https://www.zh.ch/bin/zhweb/publish/regierungsratsbeschluss-unterlagen./2020/405/5614_EnergieG_Aend.pdf

⁸ <http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bshaprod.psml?showdoc-case=1&st=null&doc.id=jlr-KlimaSchGHA2020rahmen&doc.part=X&doc.origin=bs>

Möglichkeit, den auf dem Gebäude / im Quartier produzierten Solarstrom direkt vor Ort zu nutzen. Dieser Solarstrom ist gegenüber dem Strom aus der Steckdose häufig wirtschaftlicher und eine PV Anlage kann sich so – bei hoher Eigenverbrauchsquote – schnell amortisieren. Die Projekte gestalten sich jedoch häufig komplex in den verschiedenen rechtlichen, finanztechnischen und gebäudeelektrischen Bereichen. Auch kann die einseitige Ausrichtung auf eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote eine suboptimale Nutzung der Potenziale mit sich bringen. Angesichts der Tatsache, dass in der Stadt Zürich grundsätzlich praktisch jede solare Kilowattstunde vor Ort genutzt werden kann, können hier Geschäftsmodelle unterstützend weiter entwickelt werden.

- **Finanzielle Anreize / innovative Vermarktungskonzepte:** Mit einer Einmalvergütung erhalten Betreiber von PV Anlagen schweizweit über Pronovo einen einmaligen Investitionsbeitrag (sog. Einmalvergütung). Viele Anlagen können damit wirtschaftlich betrieben werden. Im stark urbanisierten Kontext sind die Anforderungen – komplexere Situationen durch z.B. aufwändigere Haustechnik, ästhetische / denkmalpflegerische Ansprüche, Dachbegrünung – häufig erhöht, was die Kosten für grössere und kleinere Installationen steigert. Eine gezielte finanzielle Unterstützung zur Deckung dieser Mehrkosten kann dazu beitragen, dieses Potenzial zu Gunsten einer lokalen, nachhaltigen und klimaverträglichen Stromversorgung verstärkt zu erschliessen.

6 PV Potenzial auf den Fassaden der Gebäude in der Stadt Zürich

Das PV Potenzial auf den Fassaden der Gebäude in der Stadt Zürich wird mit dem Solarkataster grob abgeschätzt.

- Teilfassadenflächen < 20 m² werden nicht berücksichtigt.
- Teilfassadenflächen, die nur eine geringe Einstrahlung aufweisen (< 800 kWh pro m² und Jahr), werden nicht berücksichtigt.
- Die theoretisch nutzbaren Teilfassadenflächen werden zu 15 % belegt, da im städtischen, dicht bebauten Gebiet nur ein sehr geringer Anteil der Fassadenfläche tatsächlich genutzt werden kann.

Tabelle A9: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale auf **Fassaden** der Gebäude **ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr	Anzahl Fassadenflächen
Alle Gebäude	0.81	82	7'313
Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich	0.07	7	585

7 Solarpotenzial ausserhalb des Gebäudeparks

Grundsätzlich ist der Ausbau der Photovoltaik auch auf anderen Flächen als auf dem Gebäudepark denkbar. Während Freiflächenanlagen auf dem Stadtgebiet kaum in Frage kommen, lassen sich Flächen auf Infrastrukturbauten wie Haltestellen, überdachten Parkplätze oder Strassen installieren.

7.1 Potenzial auf/an Automobil-Infrastruktur

Meteotest hat 2019 im Auftrag von Swissolar auf der Basis von Strahlungsdaten der Meteonorm-Software (meteonorm.com) u.a. das Potenzial auf Parkplätzen (durch Überdachung) oder entlang von Autobahnböschungen abgeschätzt. Auf Schweizer Niveau ergeben sich zwar hohe kurz- bis mittelfristig nutzbare Potenziale von je 3.9 TWh pro Jahr. Die Analyse lässt sich allerdings nicht auf das städtische Gebiet von Zürich herunterbrechen. Einerseits wurden die Potenzialflächen über ein für Zürich zu grobes Raster abgeschätzt. Andererseits ist davon auszugehen, dass die in der Stadt zur Verfügung stehenden Flächen deutlich geringer ausfallen als im Schweizer Durchschnitt.

7.2 Potenzial auf Perrondächern

Die Perrondächer sind im Sonnendach und somit grundsätzlich im Potenzial der Stadt enthalten. Für eine Abschätzung des Potenzials wurde mit einer Nutzung von 75% der jeweiligen Dachfläche gerechnet:

- HB: **2 GWh** (ein kleiner Teil wird davon schon genutzt)
- Oerlikon: **1 GWh**
- Altstetten, Hardbrücke und Wiedikon: je ca. **0.2 GWh**

Insgesamt können damit **3.2 GWh** pro Jahr erzeugt werden.

A Anhang

A.1 Potenzial(begriffe)

Für diese Studie werden folgende Potenzialbegriffe in Anlehnung an den Energie Trialog Schweiz verwendet.

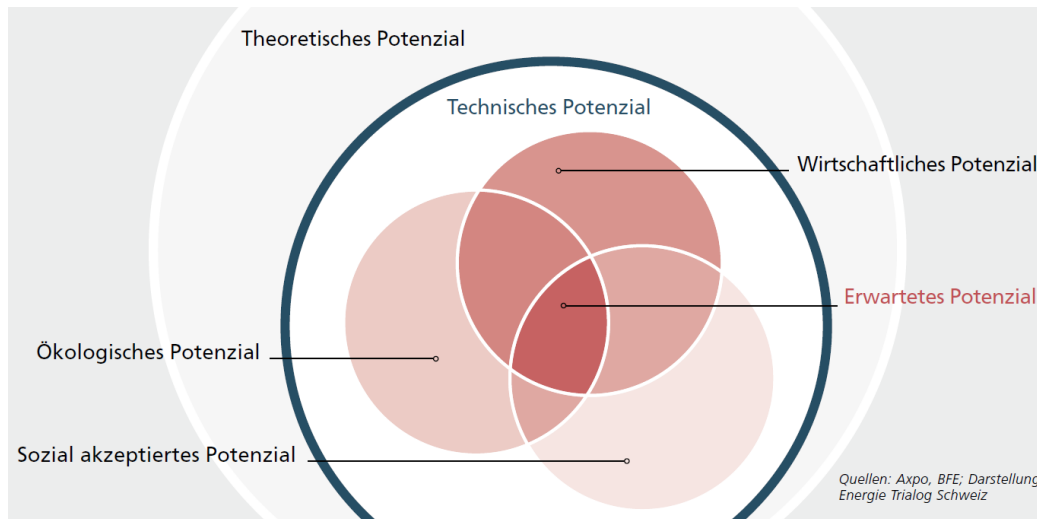


Abbildung A1: Die Potenzialbegriffe nach Energie Trialog Schweiz. Quelle: Energie Trialog Schweiz, Energiestrategie 2050, 2010.

Theoretisches Potenzial

Mit dem theoretischen Potenzial wird das gesamte physikalisch nutzbare Energieangebot eines Energieträgers (hier Solareinstrahlung im Gebäudepark) oder einer Energietechnik (hier Photovoltaik) zu einem bestimmten Zeitpunkt (während eines gemittelten Jahres) innerhalb einer gegebenen Region (hier Stadt Zürich) bezeichnet.

Die Annahmen für das theoretische Potenzial sind:

- Alle Potenzialflächen mit der gesamten Solareinstrahlung (inkl. Verschattung durch den Horizont)
- Modulwirkungsgrad: 17 %
- Performance Ratio: 80 %
- Gesamtwirkungsgrad: 13.6 %

Diese Annahmen wurden auch im Sonnendach getroffen. Der Wirkungsgrad und die Performance Ratio erhöhten sich in der Vergangenheit stetig und werden sich auch in Zukunft weiter erhöhen. Die Annahmen sind daher konservativ.

Technisches Potenzial

Derjenige Anteil, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Einschränkungen nutzbar ist, ergibt das technische Potenzial. Die Annahmen für das technische Potenzial sind:

- Mindestbruttopotenzialfläche: 20 m²
- Mindesteinstrahlung 800 kWh pro m² und Jahr resp. 1'000 kWh pro m² und Jahr
- Von den ausgewiesenen Flachdachflächen werden **pauschal 35 %** wegen ungenügender Statik abgezogen.
- Von den ausgewiesenen Potenzialflächen werden **pauschal 40 %** wegen Aufbauten und Konkurrenznutzung (z.B. Liftschächte, Fenster, Terrassen) abgezogen.

Wirtschaftliches Potenzial / technisch-ökonomisches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial berücksichtigt die Gesamtkosten für die Energienutzung (Investitionen, Betriebskosten und Rückbau der Anlagen). Es verändert sich über die Zeit hinweg entsprechend den Entwicklungen des Marktes und kann durch energiepolitische Instrumente erhöht werden. Die Annahmen für das wirtschaftliche Potenzial sind:

Das wirtschaftliche Potenzial wird primär über sechs Hauptkategorien (und basierend auf zwölf Unterkategorien) abgebildet. Diese Kategorien stellen keine absoluten Wirtschaftlichkeitskategorien oder -klassen dar. Sie widerspiegeln jedoch eine mutmassliche Wirtschaftlichkeit, die bei grösseren zusammenhängenden Potenzialflächen mit höherer Einstrahlung eher erreicht wird als bei kleineren Potenzialflächen mit niedrigerer Einstrahlung. Dies trifft in der Regel auf die Gesteigungskosten zu. Die Wirtschaftlichkeit wird durch zahlreiche weitere Faktoren bestimmt wie Tarifstruktur, Eigenverbrauchsquote, zusätzlicher bauseitiger Investitionsbedarf, etc.

Ökologisches Potenzial

Das ökologische Potenzial ist das technisch nutzbare Energieangebot, durch dessen Nutzung die Umwelt nicht irreversibel beeinträchtigt wird. Die Annahmen für das ökologische Potenzial sind:

Durch die photovoltaische Nutzung der Gebäudeflächen wird die Umwelt nicht irreversibel beeinträchtigt. Im Zusammenhang mit der Dachbegrünung gibt es jedoch insbesondere bei Flachdächern eine zusätzliche teils kombinierbare, teils konkurrierende Nutzungsmöglichkeit der Potenzialflächen. Von den verbleibenden Potenzialflächen (nach obigen Abzügen) werden **pauschal 30 %** abgezogen für die Dachbegrünung. Weitere Dachbegrünungsflächen ergeben sich auf

bereits Dachflächen, die für die photovoltaische Nutzung nicht in Betracht gezogen werden (z.B. Flächen mit zu geringer Einstrahlung).

Sozial akzeptiertes Potenzial

Das sozial akzeptierte Potenzial ist das Potenzial, das unter Berücksichtigung der sozialen Akzeptanz (z.B. in Bezug auf die Ästhetik oder im Hinblick auf Sicherheitsaspekte) genutzt werden kann. Die Annahmen für das sozial akzeptierte Potenzial sind:

Die Photovoltaik ist sozial breit akzeptiert. Einschränkungen kann es insbesondere bei Objekten geben, die unter Denkmalschutz stehen, und aus ästhetischen Gründen.

Es werden die Objekte (und deren Potenziale) in den ISOS-A-Perimetern vom Potenzial abgezogen.

Erwartetes Potenzial / technisch-ökonomisches Potenzial unter Berücksichtigung ökologischer und denkmalpflegerischer Aspekte

Das erwartete Potenzial schliesslich ist die Schnittmenge der genannten Potenziale (siehe Abbildung A1).

Die im Bericht ausgewiesenen Potenziale werden begrifflich und inhaltlich jeweils näher definiert.

A.2 Denkmalgeschützte und inventarisierte Gebäude

A.2.1 Ausserhalb des ISOS-A-Perimeters

Ein beachtlicher Anteil der Objekte in der Stadt Zürich ist kommunal geschützt und / oder im Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung (ISOS) mit Erhaltungsziel A eingetragen.

Für kommunal geschützte Liegenschaften werden für genügend angepasste PV Anlagen gemäss Art. 18a des Raumplanungsgesetzes (RPG) keine Baubewilligungen benötigt, sondern müssen lediglich der zuständigen Behörde gemeldet werden. Vor diesem Hintergrund kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass auf solchen Gebäuden PV Anlagen realisiert werden können. Die unten ausgewiesenen Potenziale gelten für diese (kommunal) geschützten und inventarisierten Gebäude.

Solaranlagen auf Kultur- und Naturdenkmälern von kantonaler oder nationaler Bedeutung bedürfen stets einer Baubewilligung. Sie dürfen solche Denkmäler nicht wesentlich beeinträchtigen. Da bei dieser zweiten Kategorie von denkmalgeschützten Objekten Rekurse gegen PV Anlagen möglich sind und Erfahrungen im städtischen Umfeld zeigen, dass von dieser Möglichkeit auch Gebrauch gemacht wird, wird das Potenzial dieser Liegenschaften in der Studie separat ausgewiesen und nicht in das Total eingerechnet. Konkret: Die überkommunal geschützten Gebäude fallen alle unter die Kategorie der ISOS-A geschützten Objekte und deren Potenziale sind abgezogen worden (s. Kapitel 3.5). Die Stadt Zürich beabsichtigt jedoch in Zukunft auch auf städtischen Objekten dieser Kategorie PV Anlagen zu realisieren, da viele dieser Objekte ein überdurchschnittlich hohes Solarstromproduktionspotenzial aufweisen.

Die (Potenziale der) kommunal **denkmalgeschützten** Gebäude ausserhalb des ISOS-A-Perimeters machen rund 3 % des technisch-ökonomischen Produktionspotenzials unter Berücksichtigung der ökologischen und denkmalpflegerischen Aspekte aus.

Die (Potenziale der) denkmalgeschützten Gebäude befinden sich je rund hälftig innerhalb und ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A1: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der kommunal **denkmalgeschützten Objekte ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **alle** Gebäude in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.02	3
Kategorie 2	0.01	1
Kategorie 3	0.01	1

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 4	0.02	4
Kategorie 5	0.03	4
Kategorie 6	0.03	3
<i>Alle</i>	<i>0.11</i>	<i>17</i>

Die (Potenziale der) kommunal denkmalgeschützten Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich ausserhalb des ISOS-A-Perimeters machen rund 4 % des technisch-ökonomischen Produktionspotenzials aller Gebäude im Eigentum der Stadt aus – unter Berücksichtigung der ökologischen und denkmalpflegerischen Aspekte.

Die (Potenziale der) denkmalgeschützten Gebäude im Eigentum der Stadt befinden sich zu rund 40 % innerhalb und zu 60 % ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A2: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der kommunal **denkmalgeschützten** Objekte **ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.004	0.6
Kategorie 2	0.004	0.7
Kategorie 3	0.000	0.1
Kategorie 4	0.003	0.4
Kategorie 5	0.003	0.4
Kategorie 6	0.003	0.3
<i>Alle</i>	<i>0.016</i>	<i>2.5</i>

Die (Potenziale der) kommunal **inventarisierten** Gebäude ausserhalb des ISOS-A-Perimeters machen rund 10 % des technisch-ökonomischen Produktionspotenzials unter Berücksichtigung der ökologischen und denkmalpflegerischen Aspekte aus.

Die (Potenziale der) inventarisierten Gebäude befinden sich zu rund 35 % innerhalb und zu 65 % ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A3: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der kommunal **inventarisierten** Objekte **ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **alle** Gebäude in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.04	6
Kategorie 2	0.01	2
Kategorie 3	0.05	7

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 4	0.10	16
Kategorie 5	0.10	17
Kategorie 6	0.11	14
<i>Alle</i>	<i>0.41</i>	<i>62</i>

Die (Potenziale der) kommunal inventarisierten Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich ausserhalb des ISOS-A-Perimeters machen rund 28 % des technisch-ökonomischen Produktionspotenzials aller Gebäude im Eigentum der Stadt aus – unter Berücksichtigung der ökologischen und denkmalpflegerischen Aspekte. Die (Potenziale der) inventarisierten Gebäude im Eigentum der Stadt befinden sich zu rund 40 % innerhalb und zu 60 % ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A4: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der kommunal **inventarisierten** Objekte **ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.01	2
Kategorie 2	0.01	1
Kategorie 3	0.02	3
Kategorie 4	0.03	5
Kategorie 5	0.02	4
Kategorie 6	0.04	4
<i>Alle</i>	<i>0.13</i>	<i>19</i>

A.2.2 Innerhalb und ausserhalb des ISOS-A-Perimeters

In diesem Abschnitt sind die Potenzialangaben für alle **denkmalgeschützten** und **inventarisierten** Gebäude (**inner- und ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters) aufgeführt.

Die (Potenziale der) denkmalgeschützten Gebäude befinden sich je rund hälftig innerhalb und ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A5: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der **denkmalgeschützten** Objekte **inner- und ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **alle** Gebäude in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.03	5
Kategorie 2	0.01	2

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 3	0.02	2
Kategorie 4	0.05	8
Kategorie 5	0.07	11
Kategorie 6	0.06	8
<i>Alle</i>	<i>0.24</i>	<i>36</i>

Die Potenziale der denkmalgeschützten Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich befinden sich zu rund einem Drittel innerhalb und zu zwei Dritteln ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A6: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der **denkmalgeschützten** Objekte **inner- und ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich**.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.010	1.5
Kategorie 2	0.004	0.7
Kategorie 3	0.000	0.1
Kategorie 4	0.003	0.4
Kategorie 5	0.004	0.6
Kategorie 6	0.003	0.4
<i>Alle</i>	<i>0.024</i>	<i>3.7</i>

Die Potenziale der inventarisierten Gebäude befinden sich zu rund 40 % innerhalb und zu 60 % ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A7: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der **inventarisierten** Objekte **inner- und ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für **alle** Gebäude in der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.05	8
Kategorie 2	0.02	4
Kategorie 3	0.06	9
Kategorie 4	0.15	25
Kategorie 5	0.22	36
Kategorie 6	0.19	23
<i>Alle</i>	<i>0.70</i>	<i>105</i>

Die Potenziale der inventarisierten Gebäude im Eigentum der Stadt befinden sich zu rund 40 % innerhalb und zu 60 % ausserhalb des ISOS-A-Perimeters.

Tabelle A8: Die Potenzialflächen und Produktionspotenziale der **inventarisierten** Objekte **inner- und ausserhalb** des ISOS-A-Perimeters für Gebäude im Eigentum der Stadt Zürich.

	Fläche in km ²	Produktion in GWh pro Jahr
Kategorie 1	0.01	2
Kategorie 2	0.01	1
Kategorie 3	0.03	4
Kategorie 4	0.05	9
Kategorie 5	0.05	8
Kategorie 6	0.06	7
<i>Alle</i>	<i>0.21</i>	<i>32</i>

A.3 Vergleich mit Studie 1998

Das ermittelte Produktionspotenzial von 487 GWh pro Jahr ist ähnlich hoch wie Ergebnis aus der Studie "Das Photovoltaik-Potential im Gebäudepark der Stadt Zürich" aus dem Jahr 1998. Es gibt jedoch zwei wesentliche Unterschiede.

Zum einen ist der relative Solarstromertrag deutlich höher, was das Produktionspotenzial erhöht. Die beiden Hauptgründe sind der Gesamtwirkungsgrad 13.6 % (Berechnungsgrundlage in der 1998er Studie war ein Gesamtwirkungsgrad von 10 %, damals mit der Annahme einer grösseren Verbreitung der Dünnschicht-technologie) und die allgemein um rund 10% höhere Einstrahlung (je nach Orientierung der Fläche) auf Grund der meteorologischen und klimatischen Veränderungen in den letzten Jahrzehnten.

Zum andern sind in der aktuellen Studie neu gewichtige Abzüge vorgenommen worden, die insbesondere die Flachdachflächen betrifft (Statik minus 35 % und Dachbegrünung minus 30 %). Diese reduzieren entsprechend das Flächen- resp. Produktionspotenzial.

A.4 Vergleich zum Sonnendach

Das Bundesamt für Energie beziffert das PV Potenzial für die Stadt Zürich auf 865 GWh pro Jahr für Dächer und auf 1'215 GWh pro Jahr für Dächer und Fassaden⁹.

⁹ Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Zürich (BFS-Nr. 261).

Es galten folgende Annahmen für die **Dächer**:

- Dachflächen $< 10 \text{ m}^2$ werden nicht berücksichtigt.
- Teildachflächen, die nur gering oder mittel geeignet sind, werden nicht berücksichtigt.
- Die nutzbaren Teildachflächen werden zu 70 % belegt. Somit wird berücksichtigt, dass Dachflächen nie vollständig mit Solaranlagen belegt werden können. Gründe dafür sind bauliche und/oder technische Einschränkungen.

Vom Gesamtpotenzial wurden damit rund 50 % angerechnet.

In der aktuellen Studie wurden weitere gewichtige Abzüge gemacht, insbesondere bei Flachdächern (Statik minus 35 % und Dachbegrünung minus 30 %) sowie die Gebäude der ISOS-A-Perimeter. Die Gebäude mit einer mittleren Einstrahlung ($< 1'000 \text{ kWh pro m}^2$ und Jahr) wurden nicht zum prioritären Potenzial gezählt.

Für die **Fassaden** galten folgende Annahmen in der Berechnung des BFE

- Teilfassadenflächen $< 20 \text{ m}^2$ werden nicht berücksichtigt.
- Teilfassadenflächen, die nur eine geringe Einstrahlung aufweisen ($< 800 \text{ kWh pro m}^2$ und Jahr), werden nicht berücksichtigt.
- Teilfassadenflächen, die einen Mindestabstand zu schützenswerten Ortsbildern der Schweiz (ISOS) unterschreiten, werden nicht berücksichtigt.
- Die nutzbaren Teilfassadenflächen werden zu 45-60 % je nach Gebäudetyp belegt.

In der aktuellen Studie wurde der nutzbare Anteil auf 15 % festgelegt, da im städtischen, dicht bebauten Gebiet nur ein sehr geringer Anteil der Fassadenfläche tatsächlich genutzt werden kann.