



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 16. Januar 2012

---

# **Potenzialabschätzung zum solarthermischen Beitrag zur Wärmeversorgung im schweizerischen Wohngebäudepark**

Gesamtschweizerische Extrapolation der  
Ergebnisse aus den Regionalstudien für den  
Kanton Freiburg und die Stadt Zürich

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

NET Nowak Energie & Technologie AG  
Waldweg 8  
CH-1717 St. Ursen  
[www.netenergy.ch](http://www.netenergy.ch)

**Autoren:**

Marcel Gutschner, NET Nowak Energie & Technologie AG, [marcel.gutschner@netenergy.ch](mailto:marcel.gutschner@netenergy.ch)  
Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG, [stefan.nowak@netenergy.ch](mailto:stefan.nowak@netenergy.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Urs Wolfer

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** SI/400357-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>0 Einleitung und Aufbau</b>	<b>7</b>
<b>1 Methodik und Definitionen</b>	<b>8</b>
1.1 Statistikgrundlagen und Extrapolationsbasis	9
1.2 Grundsätzliche solar-energetische Eignung	9
1.3 Indikatoren zum solarthermischen Potenzial	15
<b>2 Solarthermische Flächenpotenziale</b>	<b>17</b>
2.1 Dachflächenpotenziale	17
2.2 Kollektorflächenpotenziale	19
<b>3 Energetische Potenziale</b>	<b>22</b>
3.1 Solaranteile im Wohngebäudepark	22
3.2 Solare Deckungsgrade bei Einzelobjekten	24
<b>4 Schlussfolgerungen</b>	<b>33</b>
Glossar	37
Referenzen	38

## **Abstract**

Die Potenzialabschätzung zum solarthermischen Beitrag zur Wärmeversorgung im schweizerischen Wohngebäudepark zeigt, dass der solarthermische Anteil zur Deckung des Wärmebedarfs im gesamten Wohngebäudepark zwischen 30 und 61% erreichen kann.

Die Bandbreite der solaren Deckungsgrade widerspiegelt verschiedene Referenzvarianten. Der tiefere Wert bezieht sich auf konventionelle solarthermische Systeme im 8-Liter-Gebäude, der höhere Wert berücksichtigt die mögliche Entwicklung zukünftiger solarthermischer Systeme (insbesondere erhöhter Speicherleistung) im 3-Liter-Gebäude.

Die Potenzialabschätzung berücksichtigt die aktuelle Siedlungsstruktur. Durch entsprechend optimale Siedlungsplanung sind grundsätzlich weitere Potenziale erschliessbar.

# Zusammenfassung

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) hat die NET Nowak Energie & Technologie AG das Potenzial für Sonnenkollektoren im schweizerischen Wohngebäudepark abgeschätzt. Grundlage waren die beiden Regionalstudien zum solarthermischen Potenzial für den Kanton Freiburg und für die Stadt Zürich.

Hauptziel der Studie ist eine Extrapolation der Ergebnisse der obig erwähnten Regionalstudien für den schweizerischen Wohngebäudepark.

Die Hauptergebnisse beruhen auf einer Analyse von 1'210 Wohngebäuden (1'000 Objekte aus dem Kanton Freiburg und 210 Objekte aus der Stadt Zürich) und der Bewertung ihrer solarthermischen Potenziale anhand von vier Referenzvarianten (s. Tab. A), die herkömmliche und optimierte Standards bei Energieeffizienz und Solarsystem aufgreifen.

Tabelle A: Referenzvarianten nach Wärmebedarf und Speichergrosse		
Referenz-variante	Wärmeenergiebedarf pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche	Speicher pro m <sup>2</sup> Kollektorfläche
104-100l	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
54-100l	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
104-opt	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher
54-opt	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher

Für den untersuchten Wohngebäudepark resultieren folgende zwei allgemeine massgebliche Kennwerte:

- Dachflächen-Potenzialindex 32,0%, d.h. pro 100 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche finden sich 32 m<sup>2</sup> solarthermisch nutzbare Dachfläche.
- Solarthermischer Potenzialindex 9,9%, d.h. pro 100 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche ergeben sich 9,9 m<sup>2</sup> gewichtete Kollektorfläche.

Die Analyse zeigt, dass der solarthermische Anteil zur Deckung des Wärmebedarfs im schweizerischen Wohngebäudepark zwischen 30 und 61% erreichen kann. Die Bandbreite der solaren Deckungsgrade widerspiegelt verschiedene Referenzvarianten. Der tiefere Wert bezieht sich auf konventionelle solarthermische Systeme im „8-Liter-Gebäude“, der höhere Wert berücksichtigt die mögliche Entwicklung zukünftiger solarthermischer Systeme (insbesondere erhöhter Speicherleistung) im „3-Liter-Gebäude“ (s. Abb. A).

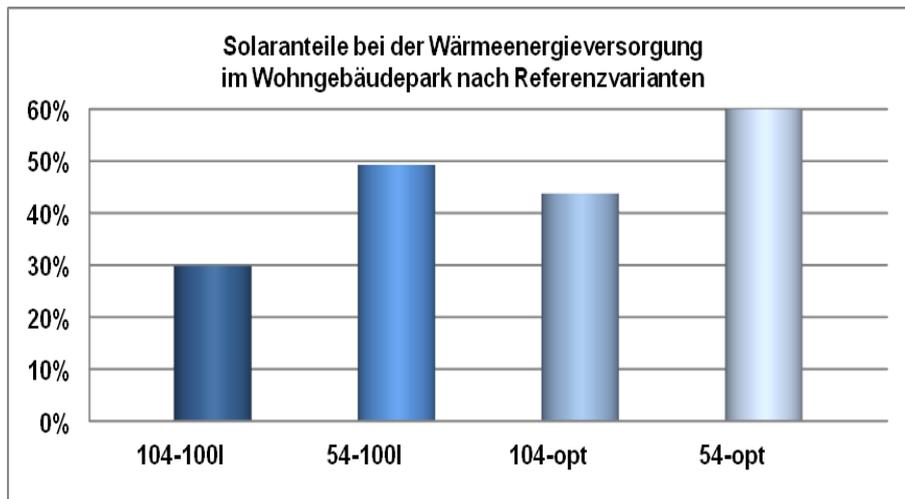


Abbildung A: Solarthermische Beiträge zur Wärmeversorgung des Wohngebäudeparks nach den vier Referenzvarianten

Fünf von sechs Wohngebäuden weisen ein nutzbares solarthermisches Potenzial aus (SolKat\_10 und höher). Bereits bei herkömmlicher Gebäudeeffizienz und Solartechnologie verfügt beinahe jedes dritte Wohngebäude über ein Potenzial für eine mehrheitlich solar gedeckte Wärmeversorgung (SolKat\_50 und höher). Das heisst, mehr als eine halbe Million Wohngebäude – darunter 395'000 Ein- und 85'000 Mehrfamilienhäuser – erzielen einen solaren Deckungsgrad von mind. 50%. Werden sowohl die Energieeffizienz erhöht und ein progressives Solar(speicher)system verwendet, so weisen 45% aller Wohngebäude (d.h. 750'000 Wohngebäude mit über 520'000 Ein- und 140'000 Mehrfamilienhäusern) ein Potenzial für eine 100%-ig solare Wärmeenergieversorgung auf (s. Abb. B).

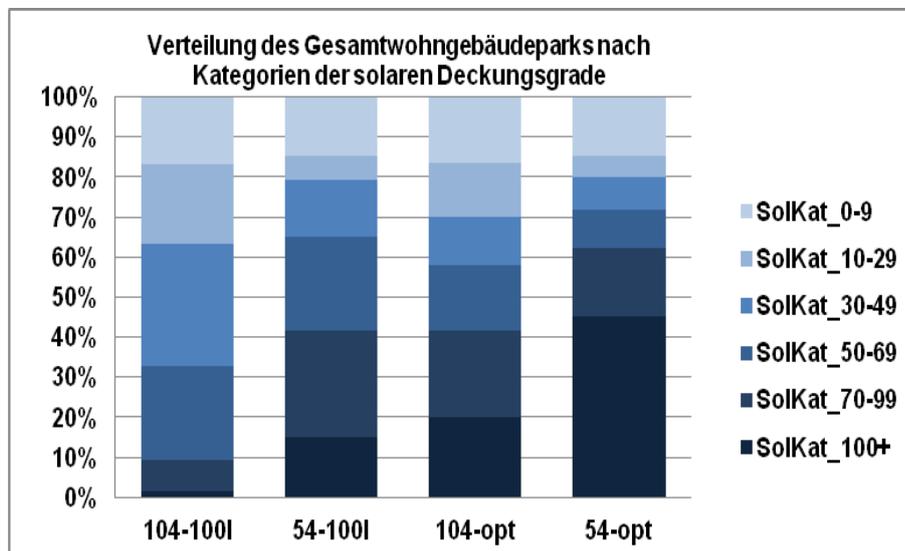


Abbildung B: Anteile Wohngebäude nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach den vier Referenzvarianten

Die Potenzialabschätzung berücksichtigt die aktuelle Siedlungsstruktur und Dachlandschaft. Durch entsprechend optimale Siedlungsplanung und Architektur sind grundsätzlich weitere Potenziale erschliessbar.

## 0 Einleitung und Aufbau

Die vorliegende Arbeit vermittelt – abgestützt auf Regionalstudien<sup>1</sup> – wichtige Grundlagen zur Abschätzung der solarthermischen Beiträge zur Wärmeversorgung im schweizerischen Wohngebäudepark.

Ausgangspunkt ist der **bestehende Wohngebäudepark**, so wie er sich heute mit über 1,6 Millionen Objekten insbesondere in seiner morphologischen Ausprägung präsentiert. Wenn auch viele Neubauten und Umbauten das Bild der Siedlungslandschaft verändern werden (und grundsätzlich die solarthermischen Potenziale optimieren könnten), so bleibt die Morphologie (Oberflächengestaltung) weiter Teile der Dachlandschaft konservativ und bestimmt somit massgeblich das solarthermische Potenzial.

Auf der Seite der Solartechnologien und Gebäudeenergieeffizienz werden hauptsächlich vier Referenzvarianten mit standardisierten Energiekennzahlen gerechnet. Diese Varianten erlauben es, sowohl **heutige wie auch zukünftige Solartechnologien und Gebäudestandards** zu berücksichtigen. Konkret geht die erste Referenzvariante von einem „8-Liter-Haus“ aus, was dem unlängst noch üblichen (SIA) Gebäudestandard mit einem flächenspezifischen Heizenergieverbrauch von 80 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche entspricht und zudem für das Gros der weitverbreiteten „20-Liter-Häuser“ ein Sanierungsziel darstellen kann. Der zusätzliche Energiebedarf für Brauchwasser wird auf 24 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche festgelegt, womit der Gesamtwärmeenergiebedarf 104 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beträgt.<sup>2</sup>

Die weiteren Referenzvarianten greifen zwei **Entwicklungspfade „Gebäudeenergieeffizienz“ und „progressive Solarsysteme“** auf. Die erhöhte Energieeffizienz wird über das „3-Liter-Haus“ abgebildet. Verbesserte solarthermische Systeme werden primär mit einem „optimalen Speicher“ (anstelle eines heute häufig im Verhältnis von 100l pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche dimensionierten Speichers) gerechnet.<sup>3</sup>

Die Referenzvarianten sollen die vielfältigen Konfigurationen von Gebäuden und solarthermischen Systemen bewusst auf ein paar wenige Situationen herunterbrechen, um damit die

---

<sup>1</sup> i) Gutschner M., Gnos S., Nowak S. / BFE; Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark – Regionalstudie Wohngebäudepark des Kantons Freiburg und Reevaluation des Potenzials in der Stadt Zürich; 2010. ii) Gutschner M., Gnos S., Nowak S. / ewz; Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren in der Stadt Zürich; 2007.

<sup>2</sup> Für Wohngebäude mit höherem Heizwärmebedarf werden keine energieintensiveren Varianten gerechnet, da bei Gebäudesanierungen laufend die Energieeffizienz verbessert wird und somit die Energiekennzahlen i.d.R. nicht mehr über den Werten eines „8-Liter-Hauses“ verbleiben sollten.

<sup>3</sup> Der optimale Speicher steht z.B. für einen hochisolierten, verlustarmen (Saison)Speicher der Zukunft. Verschiedene Entwicklungsoptionen stehen hier offen, weshalb in der Studie bewusst auf eine bestimmte Technologieauswahl verzichtet worden ist.

Potenzialanalyse **mit einfachen, aber zutreffenden Indikatoren** effizienter und aussagekräftiger zu machen.<sup>4</sup>

Mit dieser Methodik können insbesondere gezielt Resultate sowohl zum allgemeinen **Solaranteil zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs in einem gegebenen Wohngebäudepark** als auch zu den spezifischen **Solardeckungsgraden bei Einzelobjekten** (wie viele Gebäude erreichen welche Solardeckungsgrade) gerechnet werden. Die gewählten Referenzvarianten zeigen zudem, wie sich dieses Potenzial entlang der Entwicklungspfade „Gebäudeenergieeffizienz“ und „progressive Solar(speicher)systeme“ verhält.

Bei der angewandten Methodik werden die geeigneten Dachflächen solarmorphologisch erfasst und in der Folge in gewichtete Kollektorflächen umgerechnet. In Bezug zur Energiebezugsfläche können **solarthermische Potenzialindizes** bestimmt werden. Über die Referenzvarianten können schliesslich die Solardeckungsgrade bei Einzelobjekten und die Solaranteile im Gebäudepark ermittelt werden.

### **Aufbau des Berichts**

Eingangs wird die Methodik zur Abschätzung des solarthermischen Potenzials erläutert. Als Weiteres werden erst die solarthermischen Flächenpotenziale und dann die solarthermischen Energiebeiträge aufgezeigt. Schliesslich werden die wichtigsten Ergebnisse für den schweizerischen Wohngebäudepark präsentiert und Schlussfolgerungen gezogen.

## **1 Methodik und Definitionen**

Der Ansatz zur Ermittlung des solarthermischen Potenzials auf Gebäuden baut im Wesentlichen auf drei Elementen auf:

- Statistische Grundlagen zu den Gebäudeobjekten
- Solar-morphologische Eignungsanalyse der Gebäudedächer
- Abschätzung der solarthermischen Erträge

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Analyse der Gebäude auf statistischer und solarmorphologischer Ebene durchgeführt wird. Dies erlaubt eine effiziente Erfassung des Potenzials und Identifikation der techno-ökonomisch interessanteren Objekte. Für die Nutzung des solar-energetischen Potenzials in der Praxis sind konkret weitere detailliertere Abklärungen auf Stufe Vorprojekt nötig (Statik, Ästhetik, verwendete Materialien, optimierte Auslegung der Anlage bei Verschattungssituation, Konkurrenznutzung der Dachfläche, Energiesystem, etc.).

---

<sup>4</sup> Die Entwicklung dieser Methodik war ein wichtiger Bestandteil der obig erwähnten Studie aus dem Jahr 2010, um damit inskünftig das solarthermische Potenzial mittels weniger Kennwerte effektiv und akkurat abzuschätzen.

Die zugrundeliegende Methodik ist im Bereich der Solarenergie regional und international mehrfach validiert worden (Nowak / Gutschner, 1996 – 2011). Die Methodik ist für die vorliegende Potenzialabschätzung ergänzend verfeinert worden (s. Kapitel 1.3). Der verwendete Ansatz verbindet die speziell erhobenen Daten zur solaren, technischen, energetischen und architektonischen Eignung der Gebäude mit den statistischen Informationen aus Gebäude-datenbanken des Kantons Freiburg, der Stadt Zürich und des Bundesamtes für Statistik.

## **1.1 Statistikgrundlagen und Extrapolationsbasis**

Aus den Gebäudedatenbanken des Kantons Freiburg und der Stadt Zürich lassen sich die Objekte beschreiben (Gebäudenutzung, -grundfläche, Wohn- und Energiebezugsfläche, etc.) und mittels Datenbanken des Bundesamtes für Statistik extrapolieren. Für die detailliertere Analyse wurden insgesamt 1'000 Objekte aus dem Kanton Freiburg und 210 Objekte aus der Stadt Zürich berücksichtigt.

Bei der Abklärung hinsichtlich einer pragmatischen und plausiblen Extrapolation der Ergebnisse aus den Regionalstudien für eine Abschätzung des solarthermischen Potenzials hat sich gezeigt, dass die beiden regionalen Stichproben zusammen den schweizerischen Wohngebäudepark in verschiedener Hinsicht gut repräsentieren:

- Anteile der verschiedenen Gebäudetypen nach Nutzungskategorien (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Wohngebäude mit Nebennutzung, Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)
- Anteile der Gebäude gemäss Anzahl Geschosse (grosser Einfluss der Geschossanzahl auf die Energiebezugsfläche und somit auf den solarthermischen Potenzialindex)
- Anteile der Bevölkerung in grösseren, stark urbanisierten Gemeinden (rund 50'000 EinwohnerInnen und mehr) einerseits und kleineren und mittleren Gemeinden andererseits
- weite Teile des schweizerischen Wohngebäudeparks nach Gebäude / Bauweise, Siedlungsstruktur und Klima

## **1.2 Grundsätzliche solar-energetische Eignung**

Verschiedene Faktoren beeinflussen die solare Eignung der Gebäudedachflächen. Die drei wesentlichen Faktoren aus solarer Perspektive sind: a) Ausrichtung, b) Dachform und c) Energieerträge.

### **Ausrichtung**

Die Eignung der Gebäudedachfläche hängt – aus solarer Perspektive – primär von ihrer Ausrichtung ab. Südorientierte und um 30° geneigte Flächen erhalten im schweizerischen Mittelland am meisten Sonneneinstrahlung übers Jahr gerechnet. Abweichungen vom idealen Azimut (Himmelsrichtung) und Neigungswinkel führen zu Reduktionen bei der solar eingestrahelten Energie, können aber teilweise tages- und jahreszeitlich günstige Erträge ermöglichen.

Die höchste Summe eingestrahelter Solarenergie übers Jahr auf der best orientierten Fläche (rund 1200 kWh/m<sup>2</sup>.a) wird gleich 100% gesetzt. Die Einstrahlung anderer Flächen kann in Relation zu dieser best ausgerichteten Fläche gestellt werden (s. Abb. 1).

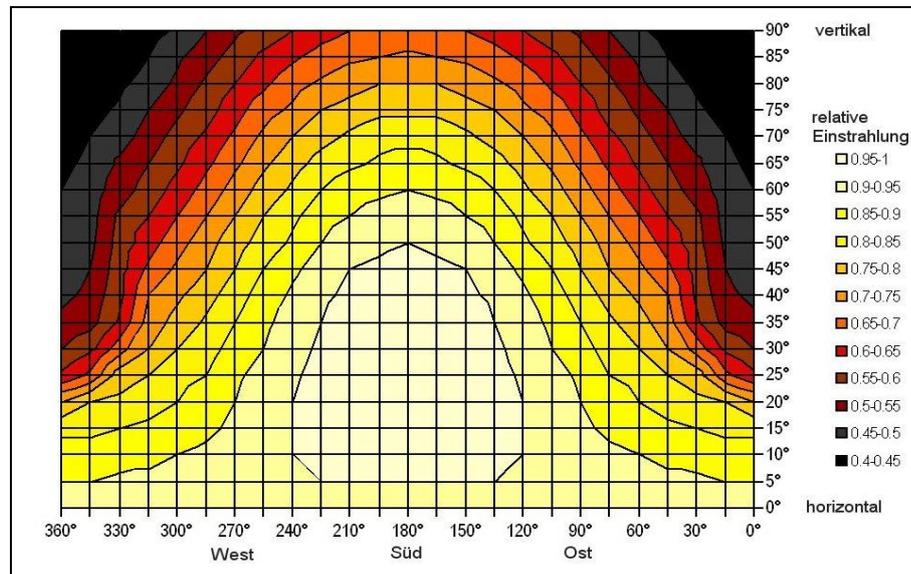


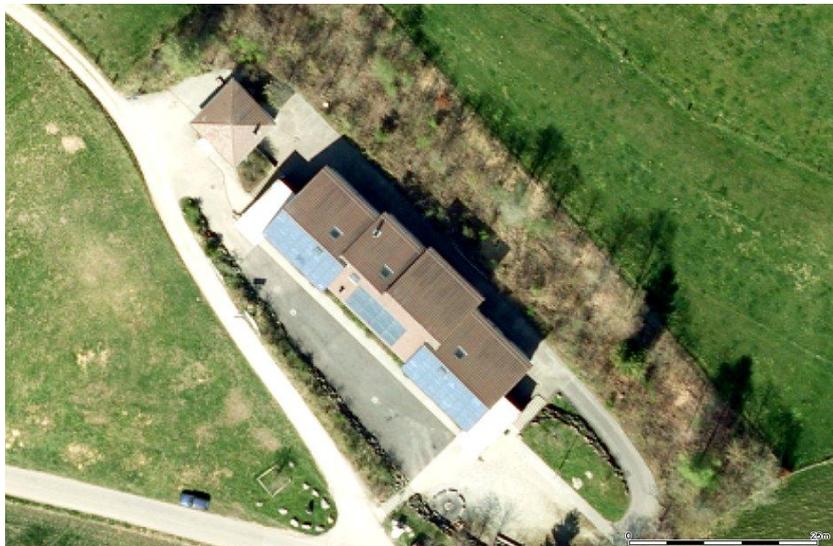
Abbildung 1: Die relative Solareinstrahlung in Zürich – berechnet auf der Basis der Solareinstrahlung in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m<sup>2</sup>.a) gemäss Meteonorm. Die maximale Jahreseinstrahlungssumme gilt als Referenz (100% oder 1.00). Quelle: NET Nowak Energie & Technologie, St.Ursen; Rohdaten: Meteonorm

## Dachform

Die Dachform spielt eine wesentliche Rolle bei der solar-energetischen Eignung der Flächen. Die Schrägdächer geben i.d.R. die Ausrichtung der Dachflächen und somit grundsätzlich die Ausrichtung der Solarkollektoren vor.

Bei Flachdächern besteht meist ein grosser Spielraum für die Ausrichtung der Solarkollektoren. Diese können hier grundsätzlich in der gegebenen Situation optimal nach Himmelsrichtung und Neigung orientiert werden. Mancherorts wird aber auch eine zur Dachkante parallele Anordnung der Kollektoren verlangt.

Die solar-energetische Eignung und Nutzung kann durch unterschiedliche Faktoren beeinträchtigt oder gar verunmöglicht werden. Für die umfassende Betrachtung der Eignung kommen deshalb Faktoren wie Verschattung durch Nebengebäude oder Bäume, Dachaufbauten (z.B. Oberlichter, Liftaufbauten, Abluftkamine, Mobilfunkantennen) oder andere Dachnutzungen (z.B. Terrasse), sowie Aspekte der Ästhetik, des Denkmalschutzes oder verwendeter Baumaterialien hinzu.



*Abbildungen 2+3: Südorientierte Kollektoren auf dem Flachdach mehrerer Wohngebäude in der Stadt Freiburg (Bildmitte oben). Schrägdächer geben in der Regel die Ausrichtung der Kollektoren (und Module) vor.*

*Quellen: Orthophoto 2008-2009, © Staat Freiburg; Geoportal Köniz*

In der hier vorgenommenen solar-morphologischen Analyse der Dachflächen werden die Faktoren Verschattung durch Nebengebäude und Bäume, Dachaufbauten und andere Dachnutzungen berücksichtigt. Aspekte der Statik, Ästhetik, verwendeter Baumaterialien, Integration ins Energieversorgungssystem des Gebäudes, etc. müssen auf Stufe Vorprojekt detaillierter erfasst werden.

Die Ausrichtung der geeigneten Dachflächen wird in zehn Kategorien erfasst: Flachdach und Schrägdach mit drei Abstufungen für die Neigung (leicht, mittel, steil) und für die Abweichung von Süd (bis 30°, 60° oder 90°).

## Energieerträge

Wegen des schwankenden Einstrahlungsangebots ist die Dimensionierung einer thermischen Solaranlage ein zentraler Aspekt. Es stehen sich hier grundsätzlich der erreichbare solare Deckungsgrad und die finanziellen Überlegungen gegenüber. Wirtschaftlich sinnvoll ist es, möglichst die gesamte solarthermisch erzeugte Energie zu nutzen.

Bei heutiger Auslegung wird häufig die Kollektorfläche so gewählt, dass im Sommer möglichst keine Überschüsse erzeugt werden. Wird die Kollektorfläche vergrößert, erhöht sich der Deckungsgrad in den Übergangsjahreszeiten und im Winter. Gleichzeitig ergeben sich aber dadurch im Sommer vermehrt nicht nutzbare Überschüsse. Wenn zudem eine Heizunterstützung integriert wird, verschärft sich diese Situation noch zusätzlich, solange keine saisonale Wärmespeicherung vorgesehen ist. Aus diesem Grund sinkt der durchschnittliche spezifische Energieertrag mit steigender Kollektorfläche.

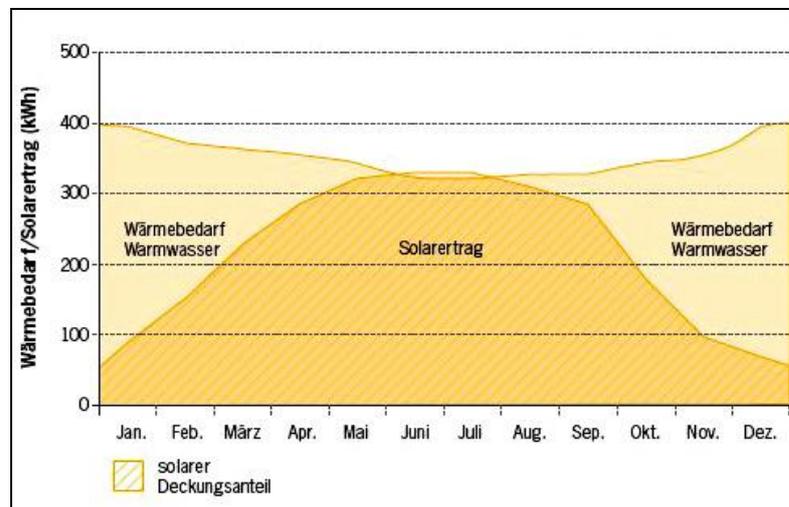


Abbildung 4: Auslegung für optimale Nutzung der solar erzeugten Energie.

Quelle: Landesgewerbeamt Baden Württemberg

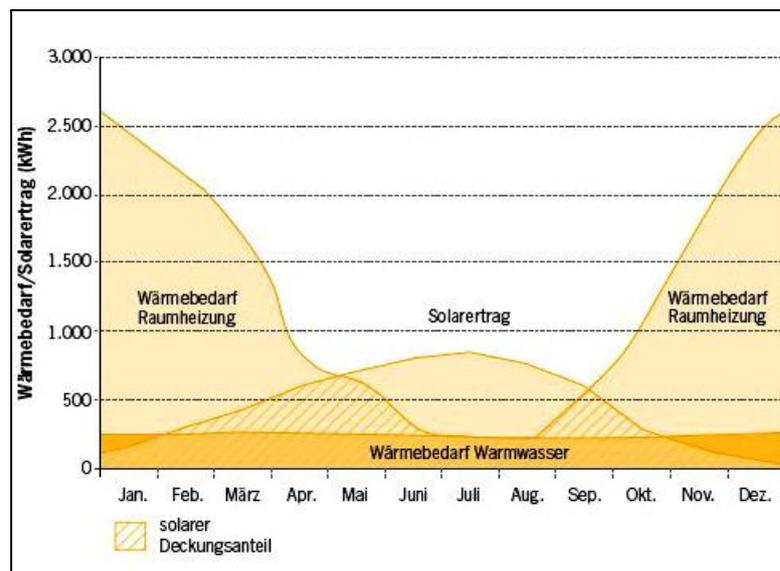


Abbildung 5: Solare Warmwassererzeugung mit Heizunterstützung und Überschüssen im Sommer.

Quelle: Landesgewerbeamt Baden Württemberg

Die Energieertragssituation für eine konventionelle Anlage (8-Liter-Haus plus Warmwasserbedarf von 24 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF)) wird in den zwei folgenden Abbildungen veranschaulicht. Die sog. Muscheldiagramme stellen die solaren Erträge (Brennstoffeinsparungen) in relativen und absoluten Werten dar. Die Abbildung 6 zeigt die relativen solaren Erträge von nicht optimal ausgerichteten Flächen im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten Fläche. Die Abbildung 7 führt die absoluten Werte, d.h. die nutzbare solarthermische Energie in kWh pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche dar.

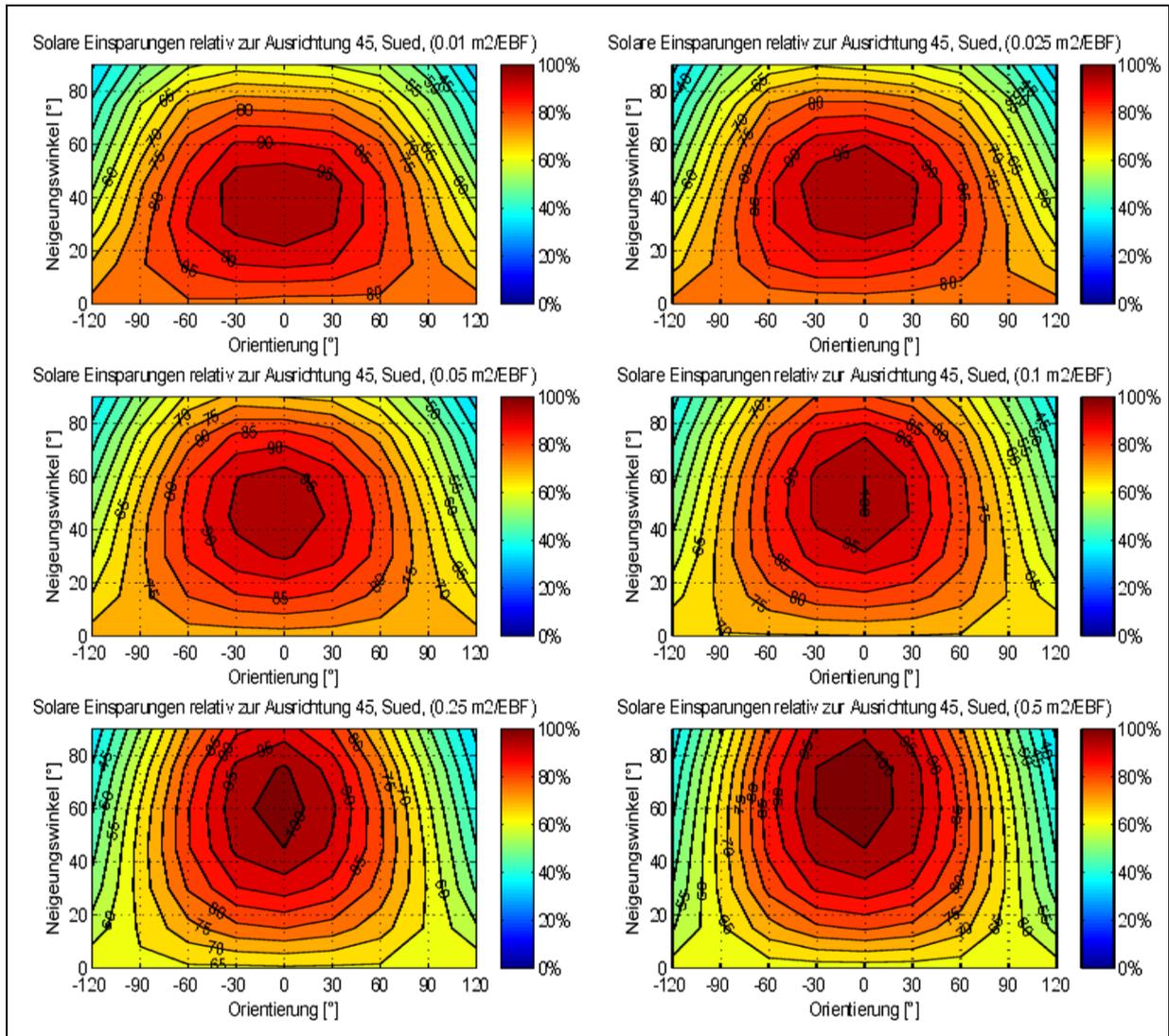


Abbildung 6: Relative Solarerträge resp. Brennstoffeinsparungen für ein Referenzsystem mit einem jährlichen Verbrauch von 80 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> Heizlast und 24 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> Warmwasserverbrauch sowie einer Speichergrosse von 100 l/m<sup>2</sup><sub>Kollektor</sub> für sechs verschiedene Kollektorfeldgrößen (0,01 bis 0,5 m<sup>2</sup><sub>Kol</sub>/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Quelle: SPF (2009)

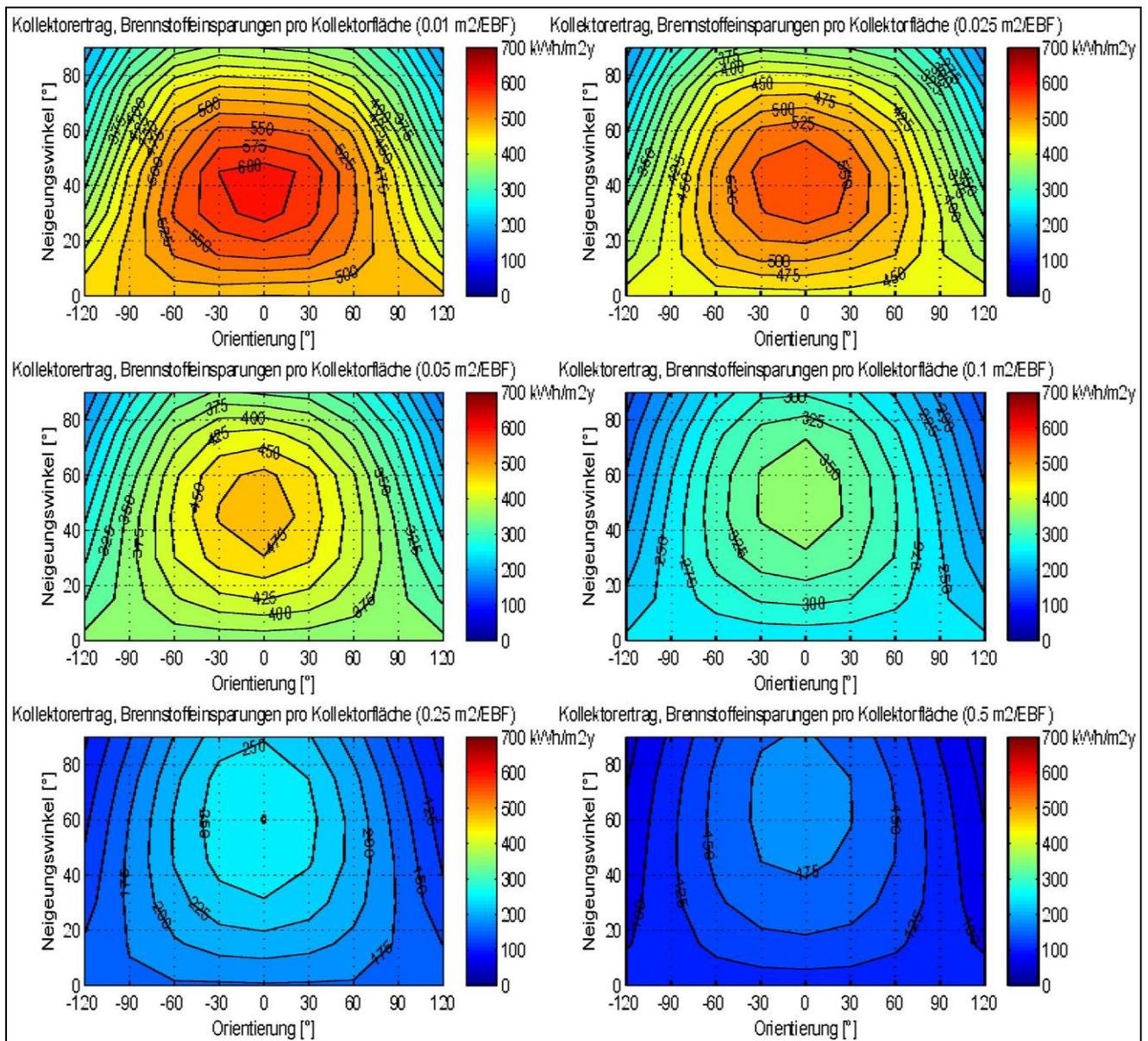


Abbildung 7: Absolute Solarerträge resp. Brennstoffeinsparungen für ein Referenzsystem mit einem jährlichen Verbrauch von  $80 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$  Heizlast und  $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$  Warmwasserverbrauch sowie einer Speichergrosse von  $100 \text{ l/m}^2_{\text{Kollektor}}$  für sechs verschiedene Kollektorfeldgrößen ( $0,01$  bis  $0,5 \text{ m}^2_{\text{Ko}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$ ). Quelle: SPF (2009)

Es gibt eine zunehmende Vielfalt von Gebäudeenergieversorgungs- und Speicherkonzepten (saisonale Wärmespeicherung), die im Vergleich zur obigen Konfiguration höhere Solardeckungsgrade ermöglichen (s. nächstes Kapitel). Diese werden mittels Referenzvarianten berücksichtigt (s. folgende Tabelle).

Tabelle 1: Referenzvarianten nach Wärmebedarf und Speichergrosse		
Referenzvariante	Wärmeenergiebedarf pro $\text{m}^2$ Energiebezugsfläche	Speicher pro $\text{m}^2$ Kollektorfläche
104-100l	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
54-100l	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
104-opt	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher
54-opt	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher

### 1.3 Indikatoren zum solarthermischen Potenzial

Die Bestimmung des solarthermischen Potenzials ist grundsätzlich komplex, da sich nur schon auf Grund der Vielfalt von Systemen, Integrations- und Speichermöglichkeiten eine Vielzahl von Systemkonfigurationen mit unterschiedlichen Ertragssituationen ergeben kann.

In einem ersten Schritt geht es um die Bestimmung der Dachflächen, die sich grundsätzlich für die solarthermische Nutzung eignen resp. nicht eignen. Die geeigneten Flächen bilden das **Dachflächenpotenzial**. Das Verhältnis zwischen geeigneter Dachfläche und Gebäudegrundfläche ergibt den **Flächenpotenzialindex** (so wie er bereits für die Photovoltaik bekannt ist).

In einem zweiten Schritt werden die ermittelten Potenzialflächen in „optimal ausgerichtete Kollektorflächen“ umgerechnet resp. gewichtet (daher der Begriff der „**gewichteten Kollektorflächen**“). Eine optimal ausgerichtete Potenzialfläche (südlich ausgerichtet und mindestens mittelmässig geneigt) entspricht 1:1 der gewichteten Kollektorfläche. Kollektoren auf Potenzialflächen, die stärker von Süden abweichen oder keine / nur eine geringe Neigung ausweisen, haben naturgemäss einen geringeren Ertrag. Um diesen Minderertrag auszugleichen, muss eine grössere Kollektorfläche installiert und / oder Kollektoren in höherem Neigungswinkel aufgeständert werden (wodurch auf einer gegebenen Potenzialfläche zur Vermeidung von Verschattung weniger Kollektorfläche montiert werden kann). Um die gewichteten Kollektorflächen zu bestimmen, werden also für die ausgeschiedenen Potenzialflächen „Korrekturfaktoren“ angewendet (s. folgende Tabelle).

Tabelle 2: Gemittelte Faktoren für gewichtete Kollektorflächen in Abhängigkeit von Dachausrichtung und –neigung			
Ausrichtung / Neigung	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O
Steil geneigt	1,1	1,4	1,8
Mittelmässig geneigt	1,0	1,3	1,6
Wenig geneigt	1,6	1,7	2
Horizontal	2,2		

In einem dritten Schritt werden die gewichteten Kollektorflächen in Relation zur Energiebezugsfläche gesetzt. Die resultierende Verhältniszahl ergibt den **solarthermischen Potenzialindex**. Dieser stellt letztlich die nutzbare Solarenergie und den Wärmeenergiebedarf gegenüber. Ein Gebäude mit einem höheren solarthermischen Potenzialindex kann im Normalfall einen höheren solaren Deckungsgrad erreichen.

Die kollektorflächenspezifischen Energieerträge fallen insbesondere bei Anlagen für eine Wärmeenergieversorgung mit einem „konventionellen Speicher“ (Referenzvarianten 54-100I und 104-100I) und mit hohen Solaranteilen vergleichsweise tief aus. Vergrösserte / optimierte Speichersysteme erlauben es, die kollektorflächenspezifischen Energieerträge auch bei Anlagen für eine Wärmeenergieversorgung mit hohen Solaranteilen vergleichsweise hoch-

zuhalten, da die sommerlichen Ertragsüberschüsse hinsichtlich der Energiebedarfsdeckung für die sonnenärmere Jahreszeit gespeichert werden können (s. Abb. 8).

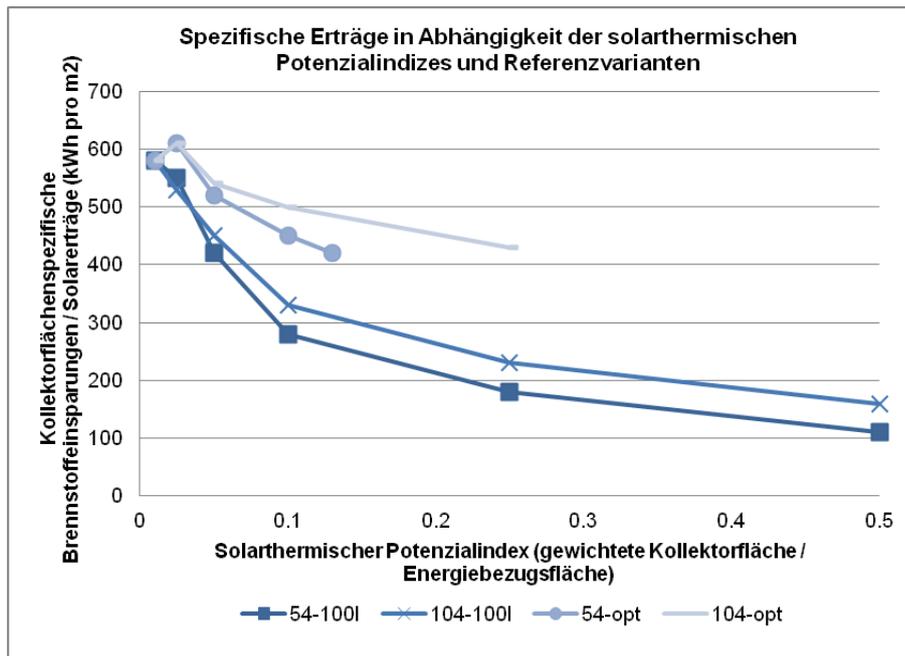


Abbildung 8: Kollektorflächenspezifische nutzbare Solarerträge für verschiedene solarthermische Potenzialindizes und Referenzvarianten. Quelle: NET Grafik auf der Datengrundlage von SPF (2009)

Mit einem solarthermischen Potenzialindex von 0,13 erzielt ein Gebäude mit einem Gesamtwärmeenergiebedarf von 54 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und einem optimalen Speicher bereits einen 100%-igen Solardeckungsgrad, während ein Gebäude mit einem Gesamtwärmeenergiebedarf von 104 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und einem auf 100l pro m<sup>2</sup> Kollektorflächen beschränkten Speicher mit einem solarthermischen Potenzialindex von 0,5 erst einen 80%-igen Solardeckungsgrad erreicht.

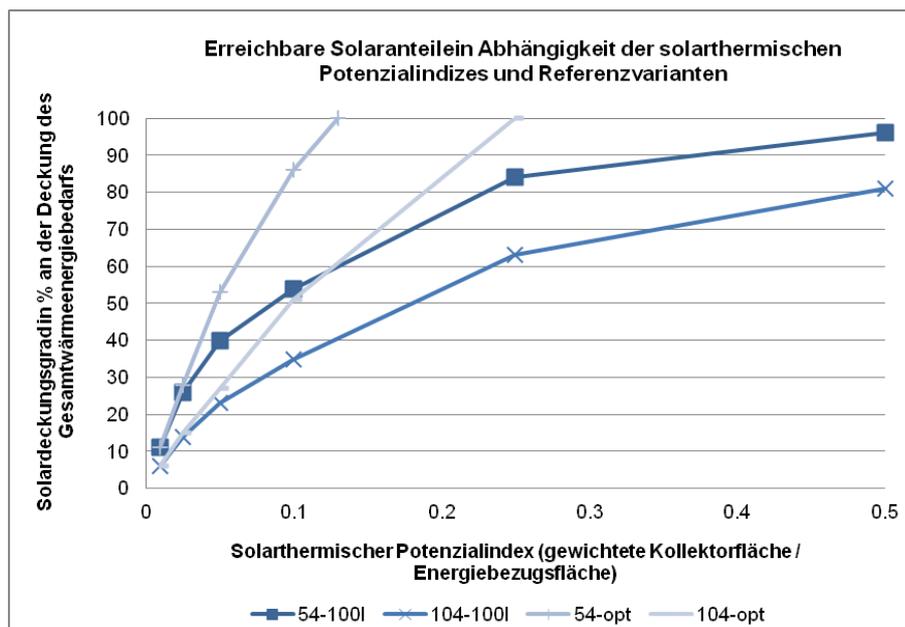


Abbildung 9: Erreichbare Solaranteile für verschiedene solarthermische Potenzialindizes und Referenzvariante. Quelle: NET Grafik auf der Datengrundlage von SPF (2009)

## 2 Solarthermische Flächenpotenziale

Das solarthermische Flächenpotenzial setzt sich aus den Dachflächen zusammen, die dank ihrer guten Ausrichtung und vollständigen / hohen Verschattungsfreiheit für die solarthermische Nutzung geeignet sind.

In Anlehnung an die zu erwartenden Solarerträge werden die grundsätzlich geeigneten Dachflächen gewichtet, d.h. von der optimalen Ausrichtung abweichende Dachflächen werden mit Korrekturfaktoren versehen, die die Mindererträge durch geringere Einstrahlung und / oder Dachflächenverluste durch Aufständigung der Kollektoren berücksichtigen. Das verfeinerte Flächenpotenzial wird in „gewichteten Kollektorflächen“ – gewissermassen als äquivalente ideal orientierte Kollektorflächen – gemessen.

### 2.1 Dachflächenpotenziale

Die Dachflächenpotenziale berechnen sich unter Berücksichtigung der relevanten (Reduktions)Faktoren im untersuchten Gebäudepark.<sup>5</sup> Der Dachflächen-Potenzialindex beläuft sich auf 32%, d.h. auf 100 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche können 32 m<sup>2</sup> solarthermisch geeignete Dachfläche identifiziert werden.

Die wichtigsten (Reduktions)Faktoren, die das Potenzial auf den untersuchten Gebäuden einschränken, sind in der Reihenfolge ihrer Relevanz / Anteile:

- Ausrichtung der Dachflächen (60%)
- Aufbauten und Dachgestaltung (35%)
- Verschattung durch Bäume (4%)
- Verschattung durch Nachbargebäude (1%)

---

<sup>5</sup> Der untersuchte Gebäudepark im Kanton Freiburg besteht aus 1'000 Wohnobjekten. Dieser Wohngebäudepark umfasst 373'941 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF) auf 199'045 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche (GGF). Dies ergibt eine Verhältniszahl EBF / GGF von annähernd 1,9. Ein statistisches Durchschnittsobjekt weist 374 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und 199 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche auf. Die Medianwerte betragen 189 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und 141 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche. Die durchschnittliche Geschosszahl beträgt etwas über 2,5.

Der untersuchte Gebäudepark in der Stadt Zürich besteht aus 210 Wohnobjekten. Dieser Wohngebäudepark umfasst 133'875 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF) auf 36'003 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche (GGF). Dies ergibt eine Verhältniszahl EBF / GGF von etwas über 3,7. Ein statistisches Durchschnittsobjekt weist 638 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und 171 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche auf. Die Medianwerte betragen 534 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und 164 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche. Die durchschnittliche Geschosszahl beträgt etwas über 4,1.

Diese Dachflächen-Potenzialindizes variieren im Durchschnitt nur wenig zwischen den verschiedenen Wohngebäudetypen (s. folgende Tabelle).

<b>Tabelle 3: Dachflächen-Potenzialindizes nach Gebäudetypen</b>	
Einfamilienhäuser	30,8%
Mehrfamilienhäuser	32,0%
Wohngebäude mit Nebennutzung	34,4%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	31,5%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	32,0%

Die ermittelten Gebäudegrund-, Energiebezugs- und Potenzialflächen für die 1'210 untersuchten Objekte sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengetragen.

<b>Tabelle 4: Ermittelte Flächen für den untersuchten Wohngebäudepark (1'210 Objekte)</b>				
Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Energiebezugsfläche in m <sup>2</sup>	Gebäudegrundfläche in m <sup>2</sup>	Gesamtpotenzialfläche in m <sup>2</sup>
Einfamilienhäuser	633	101'746	79'714	23'659
Mehrfamilienhäuser	322	166'597	65'441	20'933
Wohngebäude mit Nebennutzung	184	149'287	57'092	20'325
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	71	90'186	32'801	10'288
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1'210</i>	<i>507'816</i>	<i>235'048</i>	<i>75'205</i>

<b>Tabelle 5: Ermittelte solarthermisch nutzbare Dachflächen in m<sup>2</sup> für den untersuchten Wohngebäudepark (1'210 Objekte) nach Ausrichtung der Dachflächen</b>						
Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	<i>Gesamt</i>
Einfamilienhäuser	633	2'239	8'896	6'897	5'628	23'659
Mehrfamilienhäuser	322	7'903	4'616	4'510	3'904	20'933
Wohngebäude mit Nebennutzung	184	4'724	6'060	6'399	3'142	20'325
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	71	4'614	1'582	2'171	1'921	10'288
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1'210</i>	<i>19'479</i>	<i>21'156</i>	<i>19'977</i>	<i>14'594</i>	<i>75'205</i>

Die geeigneten Dachflächen befinden sich im schweizerischen Wohngebäudepark zu 31% auf Einfamilienhäusern, zu 28% auf Mehrfamilienhäusern und zu 27% auf Wohngebäuden mit Nebennutzung.

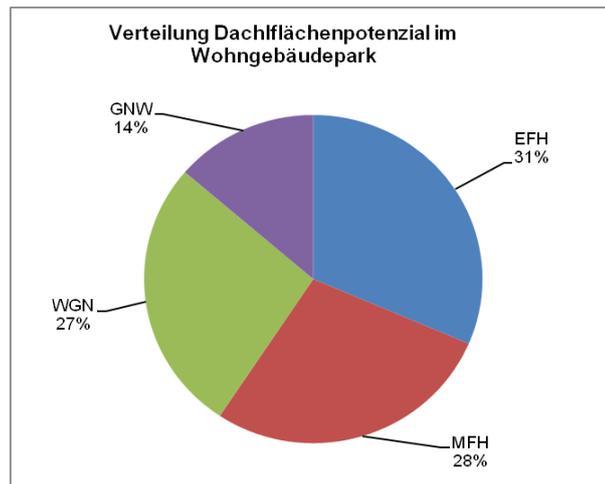


Abbildung 10: Verteilung des Dachflächenpotenzials nach Wohngebäudekategorien (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

Die Potenzialflächen im untersuchten Wohngebäudepark befinden sich zu 26% auf horizontalen Flächen (zumeist Flachdächer) und zu 28% auf Süddächern (mit maximaler Abweichung von 30° von Süd), zu 27% auf Dächern mit südwestlicher oder südöstlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 30 und 60°) und zu 19% auf Dächern mit westlicher oder östlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 60 und 90°).

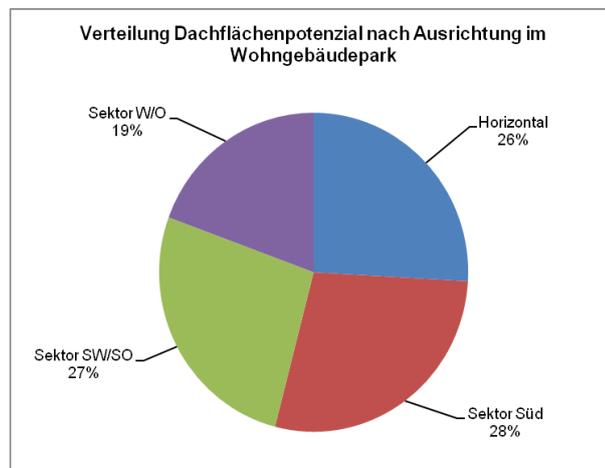


Abbildung 11: Verteilung der Potenzialflächen nach Dachausrichtung im Wohngebäudepark

## 2.2 Kollektorflächenpotenziale

Über die Gewichtung der geeigneten Dachflächen lassen sich die Kollektorflächen ableiten (s. Kapitel 1.3). Der solarthermische Potenzialindex beläuft sich auf 9,9%, d.h. pro 100 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche können 9,9 m<sup>2</sup> gewichtete Kollektorfläche identifiziert werden.

Die solarthermischen Potenzialindizes variieren stark zwischen den verschiedenen Wohng Gebäudetypen. So belaufen sich die Indizes bei den Einfamilienhäusern auf 16,6% und bei den Mehrfamilienhäusern betragen die Indizes 7,7% (s. Tabelle unten).

**Tabelle 6: Solarthermische Potenzialindizes nach Gebäudetypen**

Einfamilienhäuser	16,6%
Mehrfamilienhäuser	7,7%
Wohngebäude mit Nebennutzung	9,8%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	6,4%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>9,9%</i>

**Tabelle 7: Gewichtete Kollektorflächen in m<sup>2</sup> für den untersuchten Wohngebäudepark (1'210 Objekte) nach Ausrichtung der Dachflächen**

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	<i>Gesamt</i>
Einfamilienhäuser	633	1'018	7'713	4'972	3'197	16'900
Mehrfamilienhäuser	322	3'592	3'988	3'106	2'163	12'849
Wohngebäude mit Nebennutzung	184	2'147	5'833	4'797	1'846	14'623
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	71	2'097	1'213	1'458	1'032	5'799
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1'210</i>	<i>8'854</i>	<i>18'747</i>	<i>14'333</i>	<i>8'238</i>	<i>50'172</i>

Die gewichteten Kollektorflächen befinden sich im schweizerischen Wohngebäudepark zu 34% auf Einfamilienhäusern, zu 26% auf Mehrfamilienhäusern und zu 29% auf Wohngebäuden mit Nebennutzung.

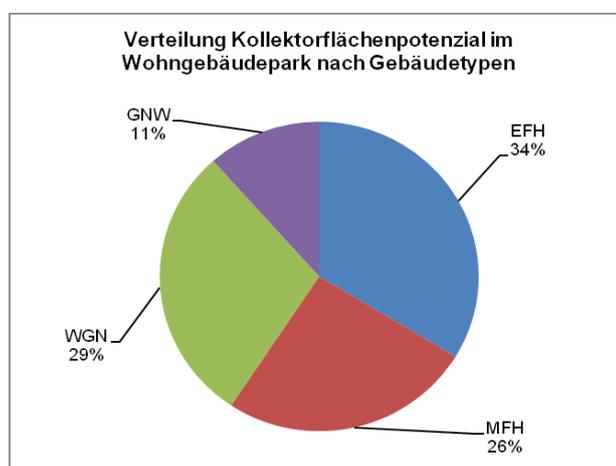


Abbildung 12: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Gebäudetypen im untersuchten Wohngebäudepark (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

Die gewichteten Kollektorflächen im untersuchten Wohngebäudepark befinden sich zu 18% auf horizontalen Flächen (meist Flachdächer) und zu 37% auf Süddächern (mit maximaler Abweichung von 30° von Süd), zu 29% auf Dächern mit südwestlicher oder südöstlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 30 und 60°) und zu 16% auf Dächern mit westlicher oder östlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 60 und 90°).

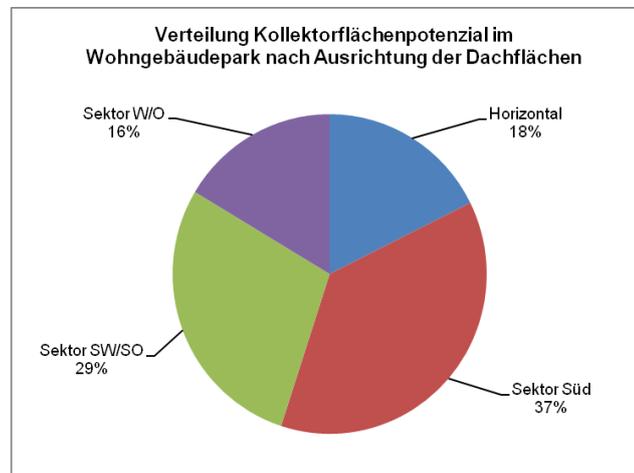


Abbildung 13: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Dachausrichtung im untersuchten Wohngebäudepark

### 3 Energetische Potenziale

Das Potenzial der nutzbaren thermischen Solarenergie rechnet sich aus der Summe der Potenziale der untersuchten Einzelobjekte.

Das energetische Potenzial wird unter zwei Hauptaspekten dargestellt:

- Solaranteile im Wohngebäudepark: welche Anteile bei der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs kann das solarthermische Potenzial im Gesamtwohnggebäudepark und bei verschiedenen Gebäudekategorien erreichen?
- Solardeckungsgrade bei Einzelobjekten: wie viele Gebäude erreichen welche solare Deckungsgrade bei der individuellen, objektbezogenen Wärmeversorgung?

#### 3.1 Solaranteile im Wohngebäudepark

Der potenzielle Solaranteil an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im untersuchten Wohngebäudepark erreicht 30% bei der Referenzvariante 104-100I und doppelt so viel, nämlich 61%, bei der Referenzvariante 54-opt.

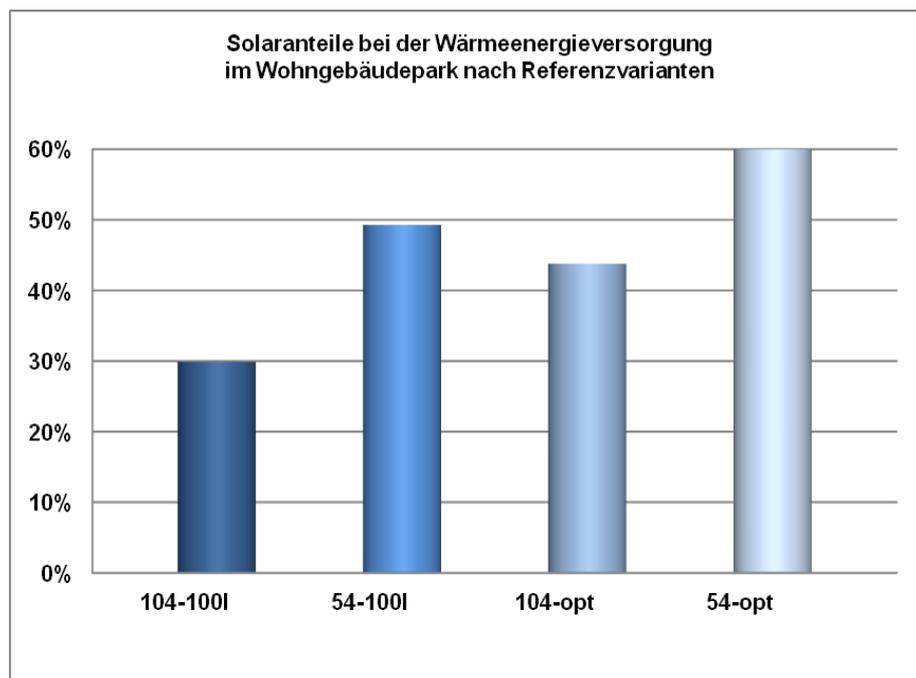


Abbildung 14: Solaranteile bei der Wärmeenergieversorgung nach Referenzvarianten im Wohngebäudepark

Drei allgemeine Feststellungen können gemacht werden. a) Bei den „54er“-Referenzvarianten sind die solaren Deckungsgrade deutlich höher. b) Bei den „104er“-Referenzvarianten sind die solaren Deckungsgrade tiefer; wegen des grösseren Wärmeenergieverbrauchs ist hingegen die potenziell nutzbare thermische Solarenergie in absoluten Werten gesehen höher. c) Im Vergleich zu den Referenzvarianten mit „100I-Speichern“ schneiden die absoluten und relativen Solarerträge bei den Referenzvarianten mit optimiertem Speicher deutlich besser ab.

In Energiewerten gerechnet zeichnet sich folgendes Bild: Die nutzbare Solarenergie kommt auf 15'766 MWh bei der 104-100I Referenzvariante und steigt auf 23'120 MWh bei der 104-opt Referenzvariante. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 52'813 MWh ergeben sich hier Solaranteile von 30% resp. 44%. Bei der Referenzvariante 54-100I beläuft sich die nutzbare Solarenergie auf 13'518 MWh, bei der Referenzvariante 54-opt ergeben sich 16'592 MWh. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 27'422 MWh erreichen die Solaranteile 49% resp. 61%.

Tabelle 8: Kalkulierter Gesamtwärmebedarf und nutzbare Solarwärme in MWh bei den untersuchten 1'210 Objekten für verschiedene Gebäudetypen und Referenzvarianten								
Referenzvariante	104-100I		54-100I		104-opt		54-opt	
Gesamtwärmebedarf und nutzbare Solarwärme in MWh	Wärmebedarf	Solarwärme	Wärmebedarf	Solarwärme	Wärmebedarf	Solarwärme	Wärmebedarf	Solarwärme
Einfamilienhäuser (EFH)	10'582	4'277	5'494	3'404	10'582	6'370	5'494	4'028
Mehrfamilienhäuser (MFH)	17'326	4'493	8'996	3'980	17'326	6'424	8'996	4'969
Wohngebäude mit Nebennutzung (WGN)	15'526	4'781	8'061	4'131	15'526	7'198	8'061	5'094
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen (GNW)	9'379	2'214	4'870	2'003	9'379	3'129	4'870	2'501
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>52'813</i>	<i>15'766</i>	<i>27'422</i>	<i>13'518</i>	<i>52'813</i>	<i>23'120</i>	<i>27'422</i>	<i>16'592</i>

Entlang der Entwicklungspfade „Gebäudeenergieeffizienz“ und „progressive Solarsysteme“ können folgende Steigerungen bei den Solaranteilen festgestellt werden:

- Die Erhöhung der Gebäudeenergieeffizienz vom 8-Liter- zum 3-Liter-Haus steigert den Solaranteil um den Faktor 1,65 von 29,9% auf 49,3%.
- Die Optimierung des Solar(speicher)systems erhöht den Solaranteil um den Faktor 1,47 von 29,9% auf 43,8%.
- Beide Verbesserungen punkto Effizienz und Solarsystem zusammen lassen den Solaranteil um den Faktor 2,03 von 29,9% auf 60,5% steigen.

Die Solaranteile bei den verschiedenen Gebäudetypen und Referenzvarianten sind in der folgenden Abbildung und Tabelle wiedergegeben.

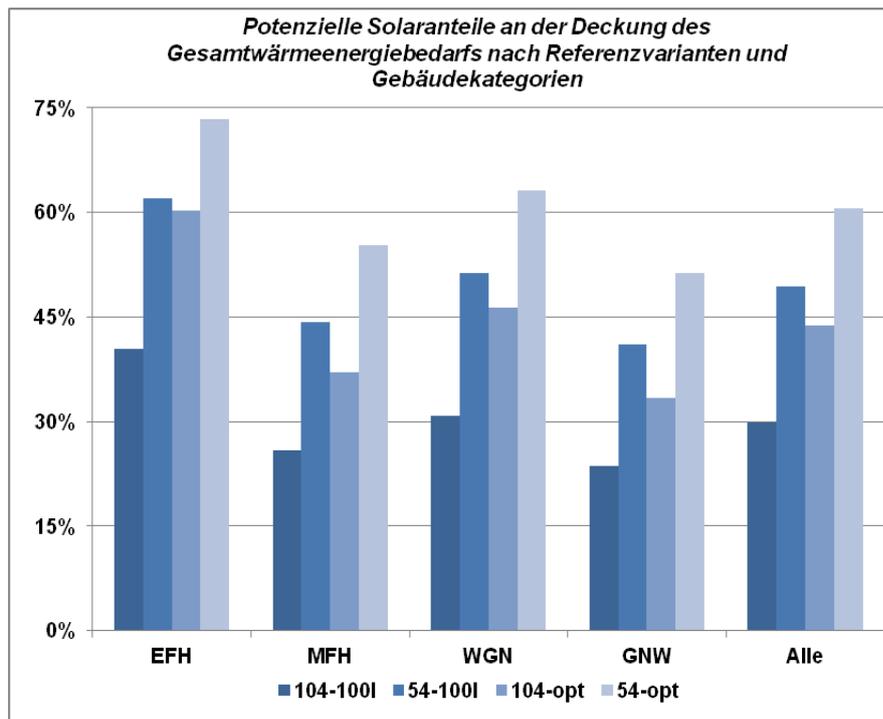


Abbildung 15: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

Die potenziellen Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Gebäudetypen zeigen, dass die Einfamilienhäuser zusammen mit Abstand die höchsten Solaranteile von 40% bis 73% erreichen. Die Mehrfamilienhäuser erzielen insgesamt Solaranteile von 26% bis 55%.

Tabelle 9: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudetypen in % für den untersuchten Wohngebäudepark				
Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	40,4%	62,0%	60,2%	73,3%
Mehrfamilienhäuser	25,9%	44,2%	37,1%	55,2%
Wohngebäude mit Nebennutzung	30,8%	51,2%	46,4%	63,2%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	23,6%	41,1%	33,4%	51,4%
Gesamtwohngebäudepark	29,9%	49,3%	43,8%	60,5%

## 3.2 Solare Deckungsgrade bei Einzelobjekten

Die Einzelobjekte werden in sechs Kategorien nach solaren Deckungsgraden eingeteilt. Damit kann nach relevanten Kategorien erfasst werden, wie viele Gebäude welche solare Deckungsgrade bei der individuellen, objektbezogenen Wärmeversorgung erreichen und wie sich die Verteilung nach Referenzvarianten entwickelt.

Tabelle 10: Kategorien der solaren Deckungsgrade		
Kategorien der solaren Deckungsgrade	Umschreibung	Solare Deckungsgrade in % des Gesamtwärmebedarfs (Raumwärme + Brauchwasser)
SolKat_100+	Solare Vollversorgung	100% resp. über 100%
SolKat_70-99	Hohes Potenzial	70 bis 99%
SolKat_50-69	Grosses Potenzial	50 bis 69%
SolKat_30-49	Mittleres Potenzial	30 bis 49%
SolKat_10-29	Kleines Potenzial	10 bis 29%
SolKat_0-9	Kein/sehr kleines Potenzial	0 bis 9%

Aus der Perspektive der Kategorien nach solaren Deckungsgraden lässt sich der wachsende Anteil an Gebäuden mit höherem Solaranteil dank verbesserter Energieeffizienz und optimiertem Speicher darstellen. Dies zeigt sich insbesondere beim Potenzial zur solaren Vollversorgung, aber auch bei solaren Deckungsgraden von 50%+.

Im **Gesamtwohngebäudepark** steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat\_100+) von unter 2% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 15% resp. 20% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf über 45% bei der Referenzvariante 54-opt.

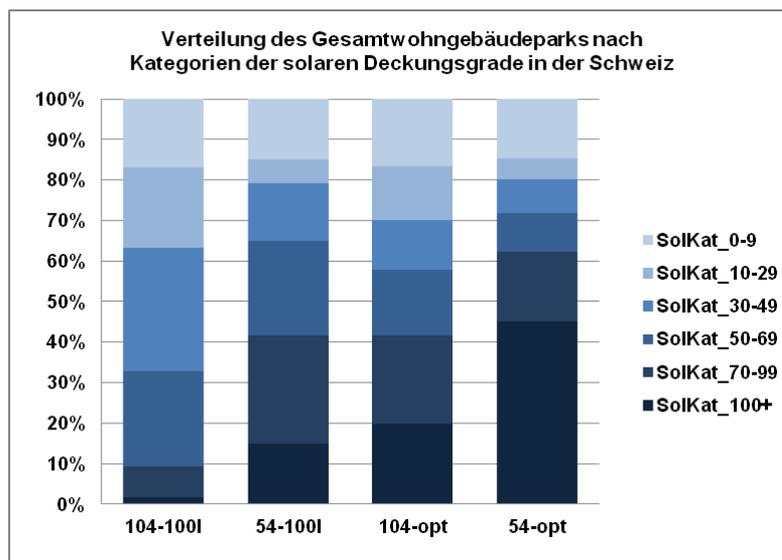


Abbildung 16: Verteilung des Gesamtwohngebäudeparks nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat\_50-69, SolKat\_70-99 und SolKat\_100+) steigen von rund 33% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 65% resp. 58% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 72% bei der Variante 54-opt.

Annähernd jedes sechste Gebäude hat kein oder nur ein sehr kleines Solarpotenzial.

Tabelle 11: Verteilung in % des Gesamtwohngebäudeparks (1'210 untersuchte Objekte) nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	1,6%	15,0%	19,9%	45,1%
SolKat_70-99	7,8%	26,7%	21,7%	17,2%
SolKat_50-69	23,5%	23,4%	16,3%	9,5%
SolKat_30-49	30,4%	14,2%	12,1%	8,3%
SolKat_10-29	19,8%	5,9%	13,3%	5,1%
SolKat_0-9	16,9%	14,9%	16,6%	14,8%
Alle Kategorien	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Die für die Schweiz extrapolierte Anzahl Wohngebäude nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und Referenzvarianten ist in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 12: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Wohngebäude nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	27'656	251'428	333'751	750'553
SolKat_70-99	129'916	442'615	360'292	276'034
SolKat_50-69	390'446	376'838	262'601	150'815
SolKat_30-49	493'305	222'585	193'631	128'975
SolKat_10-29	309'193	87'583	205'539	75'736
SolKat_0-9	272'500	241'967	267'202	240'903
Alle Wohngebäude	1'623'016	1'623'016	1'623'016	1'623'016

Bei den **Einfamilienhäusern** steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat\_100+) von unter 3% (25'091 Objekte) bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 20% (187'442 Objekte) resp. 27% (247'955 Objekte) bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf über 56% (526'905 Objekte) bei der Referenzvariante 54-opt.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat\_50-69, SolKat\_70-99 und SolKat\_100+) steigen von rund 42% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 74% resp. 68% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 78% bei der Variante 54-opt. Auf die Anzahl Einzelobjekte umgerechnet bedeutet dies, dass bei der Referenzvariante 104-100I 395'548 Einfamilienhäuser ein Potenzial für

einen solaren Deckungsgrad von mindestens 50% aufweisen. Bei den Referenzvarianten 54-100I resp. 104-opt beläuft sich diese Anzahl Einfamilienhäuser auf 690'733 resp. 637'599. Diese Anzahl steigt bei der Variante 54-opt auf 730'582.

Je nach Referenzvariante haben 15,3 bis 16,1% der Einfamilienhäuser kein oder nur ein sehr kleines Solarpotenzial.

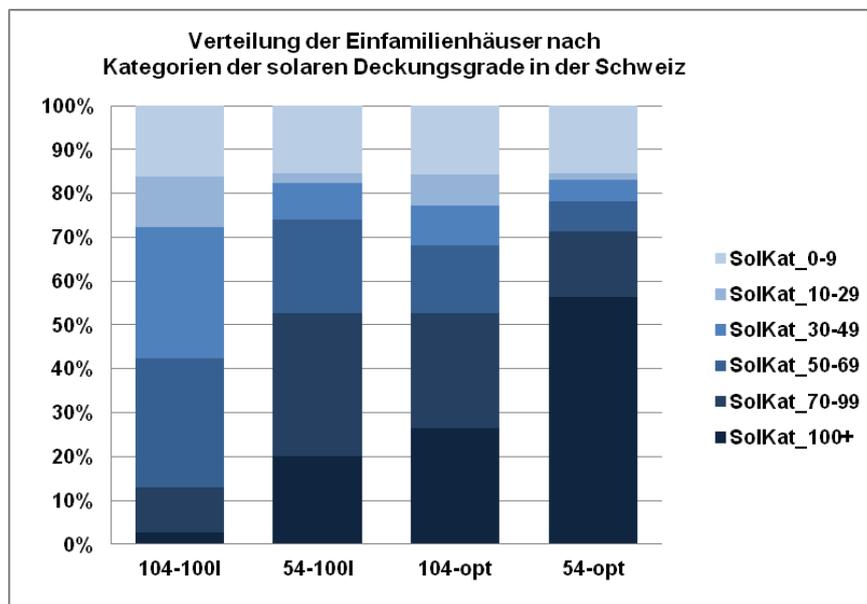


Abbildung 17: Verteilung der Einfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten im untersuchten Gebäudepark

Tabelle 13: Verteilung in % der Einfamilienhäuser (633 untersuchte Objekte) nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2,7%	20,1%	26,5%	56,4%
SolKat_70-99	10,3%	32,5%	26,1%	15,0%
SolKat_50-69	29,4%	21,3%	15,6%	6,8%
SolKat_30-49	30,0%	8,5%	9,0%	4,9%
SolKat_10-29	11,5%	2,2%	7,0%	1,6%
SolKat_0-9	16,1%	15,3%	15,8%	15,3%
Alle Kategorien	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Die für die Schweiz extrapolierte Anzahl Einfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und Referenzvarianten ist in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 14: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Einfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	25'091	187'442	247'955	526'905
SolKat_70-99	95'935	304'040	243'527	140'213
SolKat_50-69	274'522	199'250	146'116	63'465
SolKat_30-49	280'426	79'700	84'128	45'754
SolKat_10-29	107'742	20'663	64'941	14'759
SolKat_0-9	150'544	143'165	147'593	143'164
Alle Einfamilienhäuser	934'260	934'260	934'260	934'260

Bei den **Mehrfamilienhäusern** steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat\_100+) von unter 1% (2'566 Objekte) bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 9% (37'200 Objekte) resp. 11% (46'179 Objekte) bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf über 30% (125'711 Objekte) bei der Referenzvariante 54-opt.

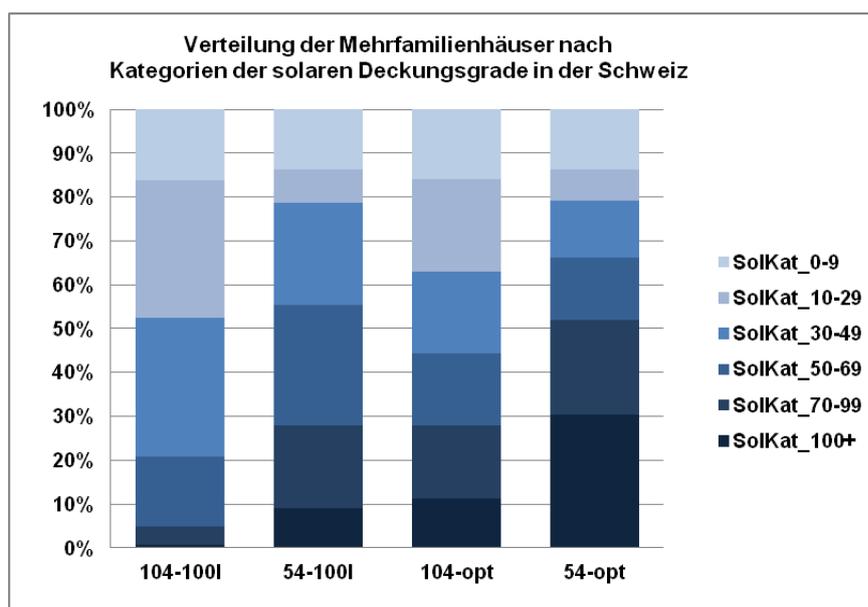


Abbildung 18: Verteilung des Mehrfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten im untersuchten Gebäudepark

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat\_50-69, SolKat\_70-99 und SolKat\_100+) steigen von rund 21% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 55% resp. 45% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 66% bei der Variante 54-opt. Auf die Anzahl Einzelobjekte umgerechnet bedeutet dies, dass bei der Referenzvariante 104-100I 85'945 Mehrfamilienhäuser ein Potenzial für einen solaren Deckungsgrad von mindestens 50% aufweisen. Bei den Referenzvarianten 54-100I resp. 104-opt beläuft sich diese Anzahl Mehrfamilienhäuser auf 228'331 resp. 183'435. Diese Anzahl steigt bei der Variante 54-opt auf 273'228.

Je nach Referenzvariante haben 13,7 bis 16,1% der Mehrfamilienhäuser kein oder nur ein sehr kleines Solarpotenzial.

Tabelle 15: Verteilung in % der Mehrfamilienhäuser (322 untersuchte Objekte) nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0,6%	9,0%	11,2%	30,4%
SolKat_70-99	4,3%	18,9%	16,8%	21,4%
SolKat_50-69	15,8%	27,3%	16,5%	14,3%
SolKat_30-49	31,7%	23,3%	18,6%	13,0%
SolKat_10-29	31,4%	7,8%	21,1%	7,1%
SolKat_0-9	16,1%	13,7%	15,8%	13,7%
Alle Kategorien	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Die für die Schweiz extrapolierte Anzahl Mehrfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und Referenzvarianten ist in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 16: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Mehrfamilienhäuser nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2'566	37'200	46'179	125'711
SolKat_70-99	17'959	78'248	69'269	88'511
SolKat_50-69	65'421	112'883	67'986	59'007
SolKat_30-49	130'842	96'207	76'966	53'876
SolKat_10-29	129'559	32'070	87'228	29'503
SolKat_0-9	66'702	56'441	65'421	56'441
Alle Mehrfamilienhäuser	413'049	413'049	413'049	413'049

Bei den **Wohngebäuden mit Nebennutzung** steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat\_100+) von 0 bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 12% (23'409 Objekte) resp. 18% (35'113 Objekte) bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 40% (77'674 Objekte) bei der Referenzvariante 54-opt.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat\_50-69, SolKat\_70-99 und SolKat\_100+) steigen von rund 29% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 61% resp. 55% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 68% bei der Variante 54-opt. Auf die Anzahl Einzelobjekte umgerechnet bedeutet dies, dass bei der Referenzvariante 104-100I 56'394 Wohngebäude mit Nebennutzung ein Potenzial für einen solaren Deckungsgrad von mindestens 50% aufweisen. Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt sind dies 67'986 resp. 69'269 Objekte und bei der Variante 54-opt sind dies 77'674 Objekte.

renzvarianten 54-100I resp. 104-opt beläuft sich diese Anzahl Wohngebäude mit Nebennutzung auf 119'172 resp. 107'467. Diese Anzahl steigt bei der Variante 54-opt auf 131'940.

Je nach Referenzvariante haben 13,0 bis 19,0% der Wohngebäude mit Nebennutzung kein oder nur ein sehr kleines Solarpotenzial.

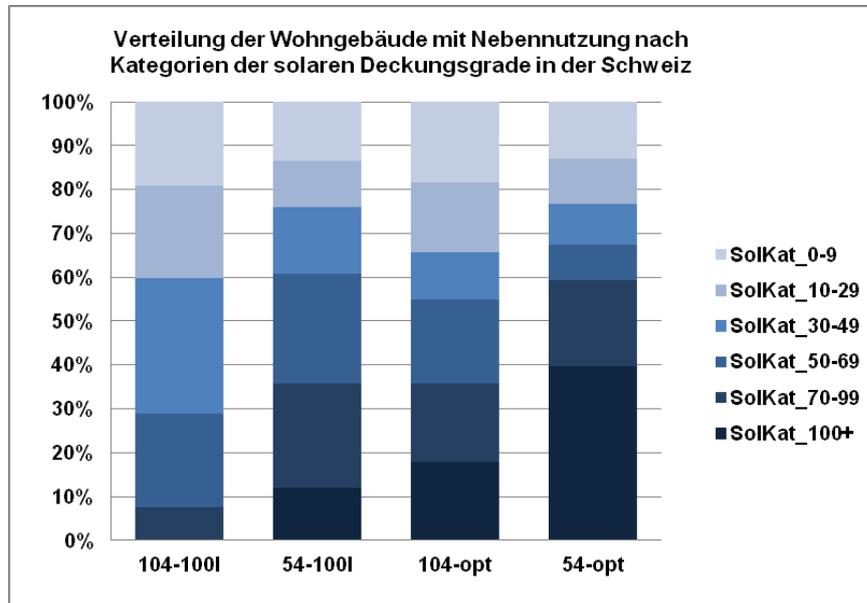


Abbildung 19: Verteilung der Wohngebäude mit Nebennutzung nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten im untersuchten Gebäudepark

Tabelle 17: Verteilung in % der Wohngebäude mit Nebennutzung (184 untersuchte Objekte) nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0,0%	12,0%	17,9%	39,7%
SolKat_70-99	7,6%	23,9%	17,9%	19,6%
SolKat_50-69	21,2%	25,0%	19,0%	8,2%
SolKat_30-49	31,0%	15,2%	10,9%	9,2%
SolKat_10-29	21,2%	10,3%	15,8%	10,3%
SolKat_0-9	19,0%	13,6%	18,5%	13,0%
Alle Kategorien	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Die für die Schweiz extrapolierte Anzahl Wohngebäude mit Nebennutzung nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und Referenzvarianten ist in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

**Tabelle 18: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Wohngebäude mit Nebennutzung nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz**

Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	23'409	35'113	77'674
SolKat_70-99	14'896	46'817	35'113	38'305
SolKat_50-69	41'497	48'946	37'241	15'960
SolKat_30-49	60'650	29'793	21'281	18'089
SolKat_10-29	41'497	20'217	30'857	20'217
SolKat_0-9	37'242	26'600	36'177	25'537
Alle Wohngebäude mit Nebennutzung	195'782	195'782	195'782	195'782

Bei den **Gebäuden mit Nebennutzung Wohnen** steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat\_100+) von 0 bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 4% (3'377 Objekte) resp. 6% (4'503 Objekte) bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 25% (20'263 Objekte) bei der Referenzvariante 54-opt.

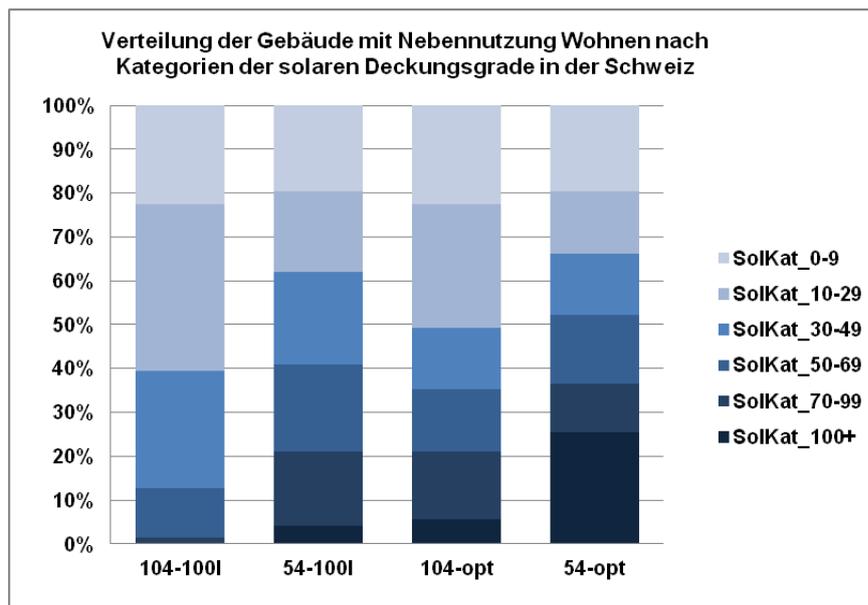


Abbildung 20: Verteilung der Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten im untersuchten Gebäudepark

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat\_50-69, SolKat\_70-99 und SolKat\_100+) steigen von rund 13% bei der Referenzvariante 104-100I auf rund 41% resp. 35% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf rund 52% bei der Variante 54-opt. Auf die Anzahl Einzelobjekte umgerechnet bedeutet dies, dass bei der Referenzvariante 104-100I 10'131 Gebäude mit Nebennutzung Wohnen ein Potenzial für einen solaren Deckungsgrad von mindestens 50% aufweisen. Bei den Referenzvarianten 54-100I resp. 104-opt beläuft sich diese Anzahl Gebäude mit Nebennutzung Wohnen auf 32'645 resp. 28'143. Diese Anzahl steigt bei der Variante 54-opt auf 41'651.

Je nach Referenzvariante haben 19,7 bis 22,5% der Wohngebäude mit Nebennutzung kein oder nur ein sehr kleines Solarpotenzial.

<b>Tabelle 19: Verteilung in % der Gebäude mit Nebennutzung Wohnen (71 untersuchte Objekte) nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz</b>				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
<i>SolKat_100+</i>	0,0%	4,2%	5,6%	25,4%
<i>SolKat_70-99</i>	1,4%	16,9%	15,5%	11,3%
<i>SolKat_50-69</i>	11,3%	19,7%	14,1%	15,5%
<i>SolKat_30-49</i>	26,8%	21,1%	14,1%	14,1%
<i>SolKat_10-29</i>	38,0%	18,3%	28,2%	14,1%
<i>SolKat_0-9</i>	22,5%	19,7%	22,5%	19,7%
<i>Alle Kategorien</i>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Die für die Schweiz extrapolierte Anzahl Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und Referenzvarianten ist in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

<b>Tabelle 20: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten für die Schweiz</b>				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
<i>SolKat_100+</i>	0	3'377	4'503	20'263
<i>SolKat_70-99</i>	1'126	13'508	12'383	9'006
<i>SolKat_50-69</i>	9'006	15'760	11'257	12'383
<i>SolKat_30-49</i>	21'388	16'886	11'257	11'257
<i>SolKat_10-29</i>	30'394	14'634	22'514	11'257
<i>SolKat_0-9</i>	18'011	15'760	18'011	15'759
<i>Alle Gebäude mit Nebennutzung Wohnen</i>	79'925	79'925	79'925	79'925

## 4 Schlussfolgerungen

Die Arbeit zeigt ausgehend vom heute bestehenden Gebäudepark die solarthermischen Potenziale entlang zweier Entwicklungspfade der Effizienzsteigerungen beim Gebäudeenergieverbrauch und leistungsstärkerer Solar(speicher)Systeme.

Der **Dachflächen-Potenzialindex** im untersuchten Wohngebäudepark beläuft sich auf 32%, d.h. auf 100 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche können 32 m<sup>2</sup> solarthermisch nutzbare Dachfläche identifiziert werden. Diese Dachflächen-Potenzialindizes variieren im Durchschnitt nur wenig zwischen den verschiedenen Wohngebäudetypen, so beträgt er etwa für Einfamilienhäuser 30,8% und für Mehrfamilienhäuser 32,0%.

Die wichtigsten (Reduktions-) Faktoren, die das Potenzial auf den untersuchten Wohngebäuden einschränken, sind in der Reihenfolge ihrer Relevanz:

- Ausrichtung der Dachflächen (60%)
- Aufbauten und Dachgestaltung (35%)
- Verschattung durch Bäume (4%)
- Verschattung durch Nachbargebäude (1%)

Über die Umrechnung der geeigneten Dachflächen in „optimal ausgerichtete Kollektorfläche“ lassen sich die gewichteten Kollektorflächen ableiten. Die Verhältniszahl zwischen der gewichteten Kollektorfläche und der Energiebezugsfläche eines Gebäudes ergibt den **solarthermische Potenzialindex**. Der solarthermische Potenzialindex beträgt im Durchschnitt 9,9%, d.h. pro 100 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche im schweizerischen Wohngebäudepark können 9,9 m<sup>2</sup> gewichtete Kollektorfläche ermittelt werden. Der solarthermische Potenzialindex unterscheidet sich massgeblich zwischen den verschiedenen Gebäudetypen, so weisen die Einfamilienhäuser einen Index von 16,6% und die Mehrfamilienhäuser einen Index von 7,7% aus.

Der höhere solarthermische Potenzialindex der Einfamilienhäuser gegenüber Mehrfamilienhäusern resultiert vor allem aus dem Umstand, dass Einfamilienhäuser deutlich weniger Energiebezugsfläche unter dem Dach aufweisen. Das heisst, dass mit der solarthermischen Nutzung der geeigneten Dachflächen bei Einfamilienhäusern tendenziell eher höhere solare Deckungsgrade erreicht werden können. Zu einem geringeren Teil ist der höhere solarthermische Potenzialindex darauf zurückzuführen, dass die Einfamilienhäuser einen höheren Anteil an optimal ausgerichteten Dachflächen (insbesondere höherer Anteil an südlich ausgerichteten Schrägdachflächen) ausweisen und somit die Anlagen dank etwas grösserer Einstrahlung etwas höhere Erträge erzielen können.

Die **solarthermischen Beiträge zur Wärmeversorgung des Wohngebäudeparks** berechnen sich aus der Summe der individuellen Potenziale der Einzelobjekte. Bei der Ausgangsreferenzvariante 104-100I (Wärmeenergiebedarf 80 kWh Raumwärme und 24 kWh Brauchwassererwärmung pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche) beträgt der Solaranteil 30%, d.h. 30% des Wärmeenergiebedarfs des Wohngebäudeparks könnten solarthermisch gedeckt werden.

Werden progressive, optimierte Solar(speicher)systeme verwendet, so steigt der Solaranteil um den Faktor 1,47 und erreicht 44%. Wird die Energieeffizienz des Wohngebäudeparks vom 8-Liter- zum 3-Liter-Haus gesteigert, so erhöht sich der Solaranteil um den Faktor 1,65 und erzielt 49%. Werden sowohl Solar(speicher)systeme als auch Energieeffizienz verbessert, so erhöht sich der Solaranteil um den Faktor 2,03 auf 61%.

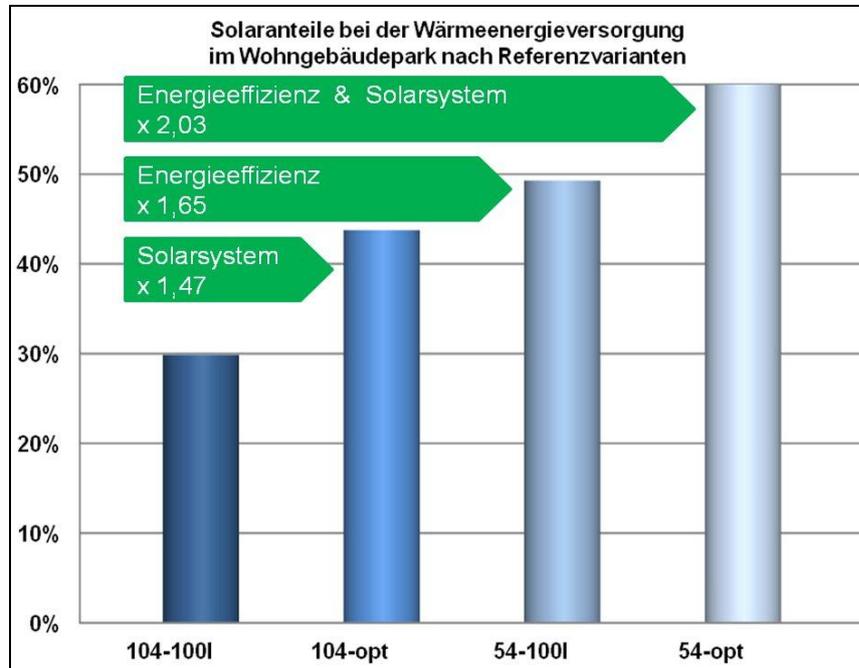


Abbildung 21: Erhöhung der Solaranteile entlang der Entwicklungspfade „höhere Gebäudeenergieeffizienz“ und „progressive Solar(speicher)systeme“

Die Solaranteile belaufen sich bei der Ausgangsreferenzvariante 40% bei Einfamilienhäusern und 26% bei Mehrfamilienhäusern und erreichen unter Berücksichtigung beider möglicher Entwicklungspfade 73% bei Einfamilienhäusern resp. 55% bei Mehrfamilienhäusern (s. folgende Tabelle).

Tabelle 21: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in % für die Schweiz				
Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	40,4%	62,0%	60,2%	73,3%
Mehrfamilienhäuser	25,9%	44,2%	37,1%	55,2%
Wohngebäude mit Nebennutzung	30,8%	51,2%	46,4%	63,2%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	23,6%	41,1%	33,4%	51,4%
Gesamtwohngebäudepark	29,9%	49,3%	43,8%	60,5%

Die **solaren Deckungsgrade bei Einzelobjekten** können in sechs Kategorien eingeteilt werden, die mögliche unterschiedliche solarthermische Anwendungsbereiche (von Vorwärme für Brauchwasser bis solare Vollversorgung) widerspiegeln können.

Bereits bei einer herkömmlichen Konfiguration 104-100l, d.h. 8-Liter-Haus und konventionelles Solar(speicher)system, verfügen mehr als eine halbe Million Wohngebäude (darunter 395'000 Einfamilienhäuser und 85'000 Mehrfamilienhäuser) über ein Potenzial für eine mehrheitlich solar gedeckte Wärmeversorgung. Das heisst, dass beinahe jedes dritte Wohngebäude einen solaren Deckungsgrad von 50% und mehr erzielen kann. Wird entweder die Energieeffizienz des Gebäudes auf den 3-Liter-Haus-Standard gesteigert *oder* ein progressives, optimiertes Solar(speicher)system eingesetzt, so können rund eine Million Wohngebäude einen solaren Deckungsgrad von 50% und mehr erreichen. Darunter sind – stark gerundet – 660'000 Einfamilienhäuser und 210'000 Mehrfamilienhäuser zu zählen.

Hinsichtlich einer solaren Vollversorgung weisen bei einer konventionellen Konfiguration 104-100l weniger als 2% der Wohngebäude (rund 28'000 Objekte, darunter 25'000 Einfamilienhäuser) ein ausreichendes Potenzial aus. Werden sowohl die Energieeffizienz erhöht und ein progressives, optimiertes Solar(speicher)system verwendet, so können 45% aller Wohngebäude (also über 750'000 Wohngebäude) eine solare Vollversorgung erzielen. Hierzu können über 520'000 Einfamilienhäuser und 140'000 Mehrfamilienhäuser gezählt werden. Die folgende Abbildung und Tabelle geben die relativen und absoluten Werte wieder.

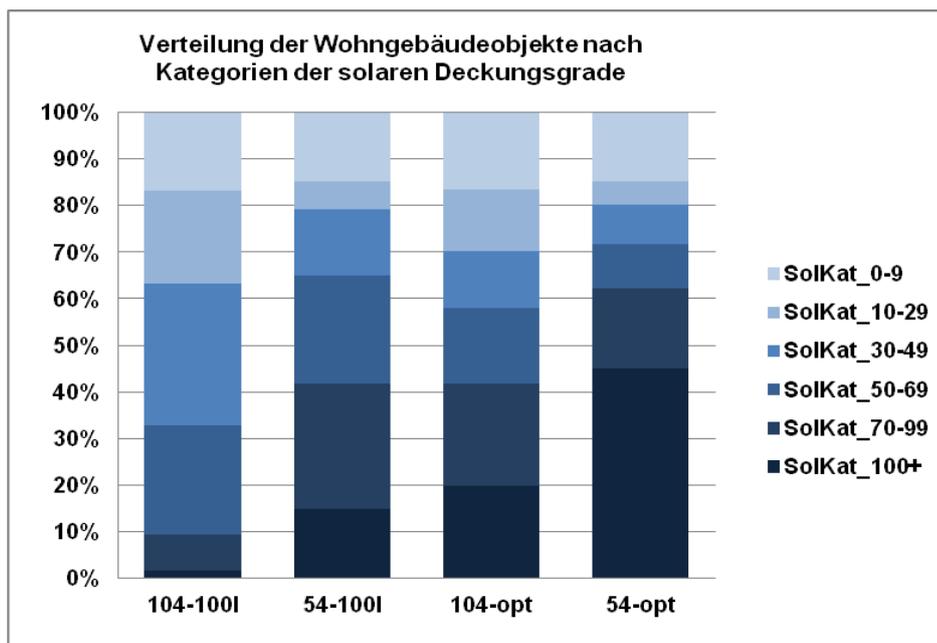


Abbildung 22: Verteilung der Wohngebäudeobjekte nach Kategorien der solaren Deckungsgrade im untersuchten Wohngebäudepark

Tabelle 22: Für die Schweiz extrapolierte Anzahl Wohngebäudeobjekte nach Kategorien der solaren Deckungsgrade und nach Referenzvarianten				
Referenzvariante / Kategorien der solaren Deckungsgrade	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	27'656	251'428	333'751	750'553
SolKat_70-99	129'916	442'615	360'292	276'034
SolKat_50-69	390'446	376'838	262'601	150'815
SolKat_30-49	493'305	222'585	193'631	128'975
SolKat_10-29	309'193	87'583	205'539	75'736
SolKat_0-9	272'500	241'967	267'202	240'903

Die durchgeführte Arbeit zeigt also beachtliche solarthermische Potenziale im Wohngebäudepark. Einerseits kann eine grosse Anzahl Einzelgebäude sehr hohe solare Deckungsgrade erzielen, andererseits ergibt sich somit insgesamt ein wesentlicher solarthermischer Beitrag zur Wärmeversorgung des Gesamtwohngebäudeparks.

## Glossar zum solar-energetischen Potenzial

Dachflächen-Potenzialindex	Der Dachflächen-Potenzialindex widerspiegelt das Verhältnis zwischen der geeigneten Dachfläche und der Gebäudegrundfläche eines Gebäudes.
Deckungsgrad / Deckungsbeitrag solar oder Solaranteil	Der solare Deckungsgrad / Deckungsbeitrag /Solaranteil gibt an, wie viel des Gesamtwärmeenergiebedarfs solarthermisch gedeckt werden kann.
Energiebezugsfläche (EBF)	Beheizte Gebäudefläche
Flächenpotenzial	Das Flächenpotenzial (oder Potenzialfläche) setzt sich aus den Dachflächen zusammen, die aufgrund ihrer guten Ausrichtung und vollständigen / hohen Verschattungsfreiheit für die solarthermische Nutzung geeignet sind.
Gebäude	Zu „Gebäude“ gibt es verschiedene Definitionen: a) Gebäude sind auf Dauer angelegte, mit dem Boden fest verbundene Bauten, die Wohnzwecken oder Zwecken der Arbeit, der Ausbildung, der Kultur oder des Sportes dienen. Jeder Gebäudeteil zählt als selbständiges Gebäude, wenn ein eigener Zugang von aussen und eine Brandmauer zwischen den Gebäudeteilen existiert. (Verordnung über das eidg. Gebäude- und Wohnungsregister); b) Als Gebäude gilt jedes Erzeugnis der Bautätigkeit, das einen gedeckten und benützbaren Raum birgt und für einen dauernden Zweck erstellt ist. (Verordnung zum Gebäudeversicherungsgesetz BS). In dieser Studie werden die Gebäude gemäss Angaben des Kantons Freiburg und der Stadt Zürich übernommen.
Kollektorfläche, gewichtete	Die gewichtete Kollektorfläche ist ein berechneter Wert, der die verfügbare Potenzialfläche in „optimal ausgerichtete Kollektorfläche“ angibt.
Objekt	Objekt wird hier im Sinne von Gebäude verwendet.
Potenzialfläche	s. Flächenpotenzial
Potenzialindex, Dachflächen-	s. Dachflächen-Potenzialindex
Potenzialindex, solarthermischer	Der solarthermische Potenzialindex widerspiegelt das Verhältnis zwischen der gewichteten Kollektorfläche und der Energiebezugsfläche eines Gebäudes.
Solaranteil	s. Deckungsgrad / Deckungsbeitrag solar
Solarthermie	Solarthermie = Solarwärme. Solarthermie ist aktive Nutzung der Sonnenstrahlung zur Wärmeengewinnung.
Speicher, (optimaler)	Mit „optimalem Speicher“ ist ein Speicher gemeint, der niedrige thermische Verluste mit einer realisierbar hohen Speicherkapazität kombiniert. Technologisch gibt es dafür bereits entwickelte Komponenten oder konzeptionelle Ansätze, z.B. hochisolierte Speicher (beispielsweise mit Vakuumisolationmaterialien), Speicher mit phase change materials, thermochemische Speicherkonzepte etc. (und natürlich Kombinationen). Um in der Simulationsstudie des SPF modellhaft solche „optimalen“ Speicher rechnen zu können, wurde das vorhandene physikalische Simulationsmodell des Wasserspeichers mit 20 cm Isolation mit einem Wärmeleitkoeffizienten von 0,004 W/m/K (in Anlehnung an Vakuumisolationspaneele) versehen. Dieser ‚optimale Speicher‘ wurde so gross gewählt, dass eine weitere Vergrösserung keinen zusätzlichen Nutzen brachte. In der Simulation resultiert das in Wasserspeicher-Volumina, die in der Praxis eher nicht realisiert würden. Hier kämen dann Speicherkonzepte mit höheren Speicherdichten zum Einsatz. Die in der Simulation modellhaft mit Wasserspeichern berechneten Erträge der Anlagen mit ‚optimalem Speicher‘ lagen aber selbst bei den grössten eingesetzten Speichervolumina nur wenige Prozente über den Erträgen mit Speichergrössen, welche vereinzelt heute auch in der Ausführung als Wasserspeicher mit konventioneller Isolation eingesetzt werden (ca. $0,5 \text{ m}^3_{\text{Speicher}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$ wie z.B. Einfamilienhaus „Nader“). Für Kryooanwendungen werden vielfach ähnlich gut isolierte Tanks mit Grössen von bis zu mehreren $100 \text{ m}^3$ eingesetzt und sind technisch schon jetzt einsetzbar, werden aber für solarthermische Zwecke vor allem aus Kostengründen nicht verwendet. (Elimar Frank, Mitautor der Studie SPF 2009)

## Referenzen

- BFS, Gebäude- und Wohnungsstatistik 2009 – Strukturdaten zu den Gebäuden und Wohnungen, 2011
- Energie Schweiz / BFE, Dimensionierung von Sonnenkollektoranlagen, 2006
- ESTIF, Potential of Solar Thermal in Europe, 2009
- Etat de Fribourg, Recommandations concernant l'intégration architecturale des installations solaires, 2011
- IEA PVPS, Potential for Building-Integrated Photovoltaics, 2002
- Lutz, H.-P., Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung im Eigenheim, 2003
- Nowak S. / Gutschner M., Abschätzung des PV-Flächenpotential im schweizerischen Gebäudepark, 1996
- Nowak S. / Gutschner M., Das Photovoltaik-Potential im Gebäudepark der Stadt Zürich, 1998
- Nowak S. / Gutschner M., Le Potentiel Photovoltaïque dans le Canton de Fribourg, 1998
- Nowak S. / Gutschner M., Le Potentiel Solaire dans le Canton de Genève, 2004
- Nowak S. / Gutschner M. / Gnos S. / ewz, Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren in der Stadt Zürich, 2007
- Nowak S. / Gutschner M. / Gnos S., / BFE; Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark – Regionalstudie Wohngebäudepark des Kantons Freiburg und Reevaluation des Potenzials in der Stadt Zürich; 2010.
- Nowak S. / Gutschner M. / Gnos S., / Etat de Fribourg, Inventaire des surfaces utilisables sur les bâtiments publics pour des installations solaires thermiques et photovoltaïques, 2011
- Stadt Zürich, Leitfaden Dachlandschaften – Projektierungshilfe für Bauten im Dachbereich, 2009
- Schweizer Heimatschutz, Solaranlagen, Baudenkmäler und Ortsbildschutz, 2009
- Solites, saisonalspeicher.de, 2009
- SPF, Ruesch F., Brunold S., Frank E., Simulationsstudie zur Potenzialabschätzung für den Einsatz von Solarthermie in der Schweiz, 2009
- Swissolar/Bundesamt für Energie, Markterhebungen Sonnenenergie 2010, 2011