



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 15. Juli 2010

Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark

Regionalstudie Wohngebäudepark des Kantons
Freiburg und Reevaluation des Potenzials in der
Stadt Zürich

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

NET Nowak Energie & Technologie AG
Waldweg 8
CH-1717 St. Ursen
www.netenergy.ch

Autoren:

Marcel Gutschner, NET Nowak Energie & Technologie AG, marcel.gutschner@netenergy.ch
Stephan Gnos, NET Nowak Energie & Technologie AG, stephan.gnos@netenergy.ch
Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG, 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

Abstract	4
Zusammenfassung	5
0 Einleitung und Aufbau	8
1 Methodik und Definitionen	10
1.1 Statistische Grundlagen	10
1.2 Grundsätzliche solar-energetische Eignung	10
1.3 Indikatoren zum solarthermischen Potenzial	15
2 Solarthermische Flächenpotenziale	22
2.1 Dachflächenpotenziale	22
2.2 Kollektorflächenpotenziale	26
3 Energetische Potenziale	32
3.1 Solaranteile im Wohngebäudepark	32
3.2 Solaranteile bei Einzelobjekten	34
4 Vergleiche und Schlussfolgerungen	37
4.1 Verfügbare Flächen und Flächenindizes	37
4.2 Energiepotenziale und Solaranteile	39
4.3 Typische Werte für Durchschnittsobjekte	40
4.4 Verteilung der Objekte nach Solaranteilen	41
Glossar	43
Referenzen	44
Anhänge	45

Abstract

Die Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark zeigt, dass im Kanton Freiburg der solarthermische Anteil zur Deckung des Wärmebedarfs im gesamten Wohngebäudepark zwischen 34 und 67% erreichen kann. In der Stadt Zürich kann der solare Deckungsgrad für den gesamten Wohngebäudepark 19 bis 43% ausmachen.

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 höheren solaren Deckungsgrade im Kanton Freiburg gegenüber der Stadt Zürich ergeben sich primär dadurch, dass im Freiburger Wohngebäudepark bezogen auf die vorhandene Energiebezugsfläche mehr solarthermisch geeignete Dachfläche zur Verfügung steht.

Bei hoher Energieeffizienz (3-Liter-Haus) und konventioneller Speichertechnologie kann in beiden Regionen ein Grossteil der Gebäude einen solaren Deckungsgrad von 30% und mehr erzielen: in Freiburg trifft dies auf 83% und in der Stadt Zürich auf 66% der Gebäude zu.

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

Zusammenfassung

Aufgabenstellung und Ziele

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie hat die NET Nowak Energie & Technologie AG das Potenzial für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark abgeschätzt.

Die Studie verfolgt verschiedene Ziele. Primär soll sie breit abgestützte und differenzierte Grundlagen zum solarthermischen Potenzial im Wohngebäudepark und die darüber hinausgehende Betrachtung der erneuerbar energetischen Potenziale bieten.

Ausgehend vom heutigen Gebäudepark mit der bestehenden Dachlandschaft soll das solarthermische Potenzial ebenfalls die möglichen Entwicklungen entlang zweier relevanter Pfade mit berücksichtigen. Ein erster Entwicklungspfad stellt die zunehmende Energieeffizienz bei Gebäuden mit einem entsprechend sinkenden Wärmeenergiebedarf dar. Der zweite Entwicklungspfad greift mögliche technologische Fortschritte bei den Systemeigenschaften, insbesondere bei der Speicherleistung, auf. Beide Entwicklungspfade erlauben es grundsätzlich, die Solaranteile bei der Wärmeversorgung im Wohngebäudepark zu erhöhen.

Im Weiteren bezweckt die Studie, das solarthermische Potenzial mittels einiger weniger „einfacher“ Indikatoren bestimmen zu können. Auf der Grundlage plausibilisierter Vereinfachungen von prinzipiell komplexen solarthermischen Systemvorgängen nimmt hierbei der solarthermische Potenzialindex als Verhältniszahl zwischen gewichteter Kollektorflächen und Energiebezugsfläche eine zentrale Rolle ein. Der darauf basierende Ansatz ermöglicht eine effiziente Ermittlung solarthermischer Potenziale im Wohngebäudepark.

Letztlich sind mit der regionalen Betrachtung der Potenziale (Kanton Freiburg sowie Stadt Zürich) gezielt ein eher ländlicher und ein städtischer Wohngebäudepark ausgewählt worden, die einen Vergleich einerseits zwischen zwei unterschiedlichen Siedlungsräumen und andererseits - in Anlehnung an die Photovoltaik-Studien aus dem Jahre 1998 – zwischen den beiden solar-energetischen Potenzialen ermöglichen.

Hauptergebnisse

Die Hauptergebnisse beruhen auf einer Analyse von 1'210 Wohngebäuden (1'000 Gebäude aus der Regionalstudie des Kantons Freiburg und 210 re-evaluierte Gebäude aus der Stadt Zürich) und der Bewertung ihrer solarthermischen Potenziale anhand von vier standardisierten Referenzvarianten (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Referenzvarianten nach Wärmebedarf und Speichergrosse		
Referenzvariante	Wärmeenergiebedarf pro m ² Energiebezugsfläche	Speicher pro m ² Kollektorfläche
104-100I	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
54-100I	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

Bei den Dachflächen-Potenzialindizes (Verhältniszahl zwischen geeigneter Dachfläche und Gebäudegrundfläche) können zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark gesamthaft gesehen nur geringe Unterschiede festgestellt werden. Pro 100 m² Wohngebäudegrundfläche finden sich im Kanton Freiburg 32,1 m² und in der Stadt Zürich 31,6 m² solarthermisch nutzbare Dachfläche.

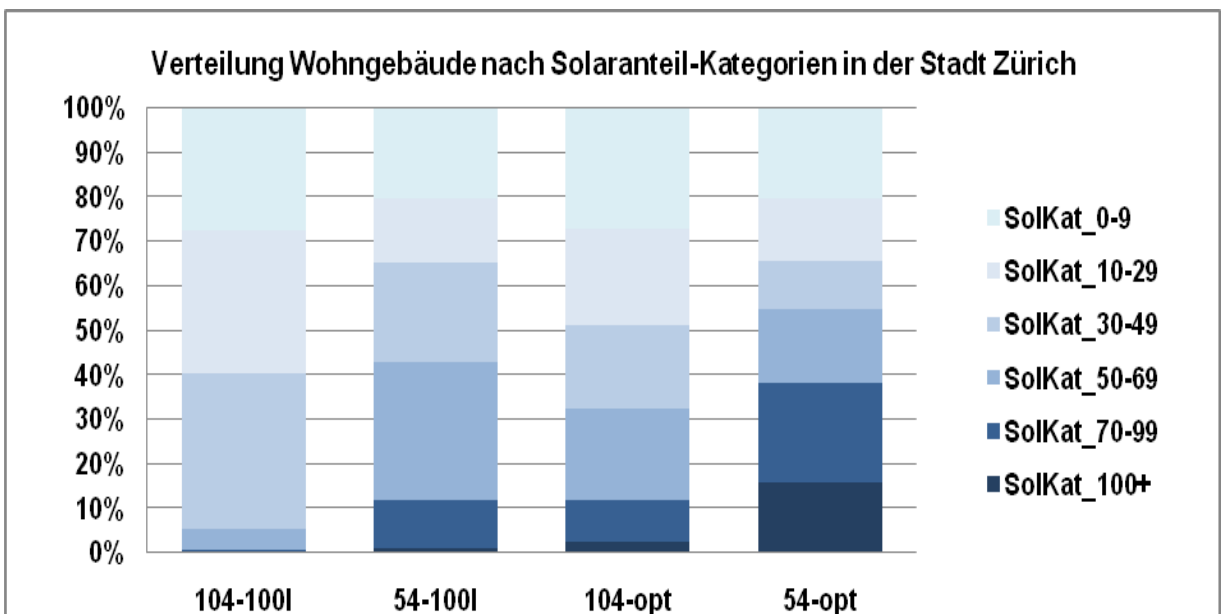
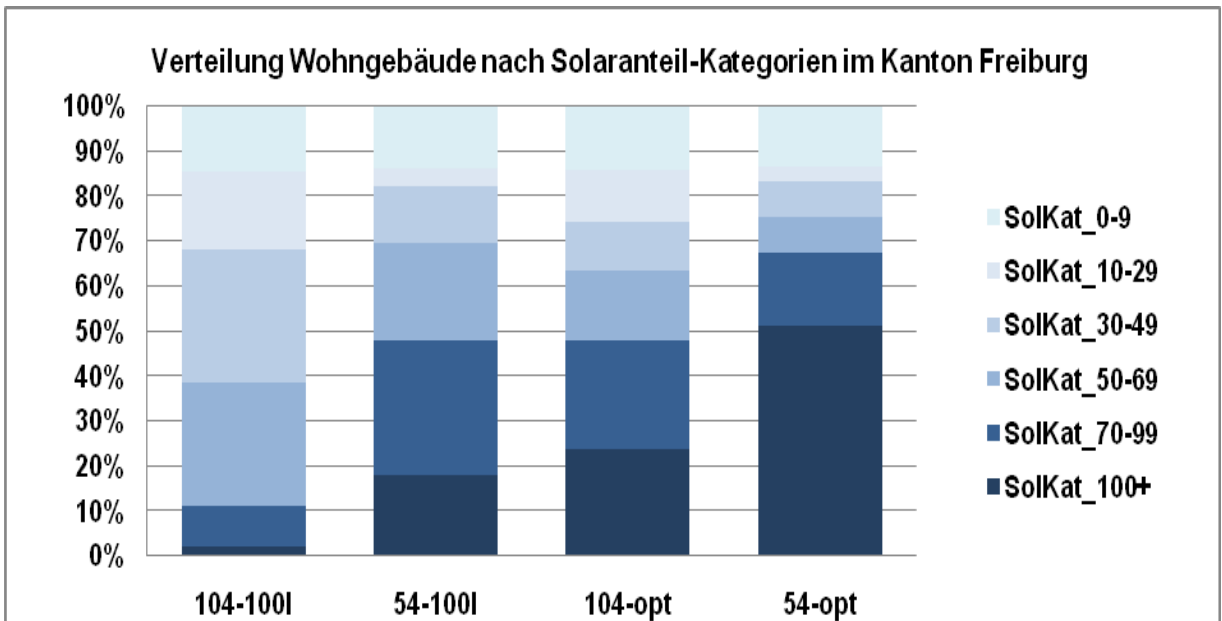
Hingegen ergibt sich für den Wohngebäudepark des Kantons Freiburg einen deutlich höheren solarthermischen Potenzialindex: 11,7%, d.h. pro 100 m² Energiebezugsfläche können 11,7 m² gewichtete Kollektorfläche identifiziert werden. In der Stadt Zürich beträgt der solarthermische Potenzialindex 4,8% und ist somit um einen Faktor 2,4 tiefer.

Die Hauptgründe für den höheren solarthermischen Potenzialindex im Kanton Freiburg liegen bei der geringeren Energiebezugsfläche „unterm Dach“ (v.a. weniger Stockwerke) und einem höheren Anteil geneigter, insbesondere südlich ausgerichteter Dächer, was bei der Bewertung der Dachflächen zu mehr gewichteten Kollektorflächen führt.

Das solarthermische Potenzial im Kanton Freiburg fällt entsprechend grundsätzlich höher aus als in der Stadt Zürich, wobei in beiden Siedlungsräumen die möglichen solaren Deckungsgrade beachtlich sind. Die Solaranteile an der Deckung des Wärmebedarfs im Wohngebäudepark belaufen sich im Kanton Freiburg je nach Referenzvariante auf 34 bis 67% resp. 19 bis 43% in der Stadt Zürich.

Tabelle 2: Solaranteile an der Deckung des Wärmebedarfs nach verschiedenen Szenarien (Referenzvarianten) für den Gesamtwohnungspark im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich				
Solaranteile	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Kanton Freiburg	34%	55%	50%	67%
Stadt Zürich	19%	34%	26%	43%

Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt erzielen potenziell rund 48% der Freiburger und 12% der Stadtzürcher Gebäude solare Deckungsgrade von 70% und mehr. Bei der progressivsten Referenzvariante 54-opt weisen 51% der Freiburger und 16% der Stadtzürcher Gebäude das Potenzial für eine solare Vollversorgung (SolKat_100+) auf.



Abbildungen 1 + 2: Verteilung der Wohngebäude nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich

Generell erreicht eine bedeutende Anzahl Objekte grössere und mittlere Solaranteile von 30% und mehr (SolKat_30-49 und höher). Bei der Referenzvariante 54-100I mit höherer Energieeffizienz bei konventionellem Speicher erzielen 83% der Freiburger und 66% der Stadtzürcher Gebäude Solaranteile von 30% und mehr.

0 Einleitung und Aufbau

Im Rahmen der nachhaltigen Ausgestaltung des Energieversorgungssystems vermitteln Potenzialanalysen wichtige strategische Grundlagen. Die vorliegende Studie bietet erstmals eine detaillierte, breit abgestützte und langfristig ausgerichtete Analyse des solarthermischen Potenzials im schweizerischen Wohngebäudepark.

Heutiger Wohngebäudepark als Ausgangspunkt

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

Referenzvarianten zur Abbildung der Entwicklungspfade „Gebäudeenergieeffizienz“ und „progressive Solarsysteme“

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 m² Energiebezugsfläche entspricht. Der zusätzliche Energiebedarf für Brauchwasser wird auf 24 kWh pro m² Energiebezugsfläche festgelegt, womit der Gesamtwärmeenergiebedarf 104 kWh pro m² Energiebezugsfläche beträgt.

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.

Die weiteren Referenzvarianten greifen zwei Entwicklungspfade auf. Die erhöhte Energieeffizienz wird über das „3-Liter-Haus“ abgebildet. Verbesserte solarthermische Systeme werden primär mit einem „optimalen Speicher“ (anstelle eines heute weit verbreitet im Verhältnis 100l pro m² Kollektorfläche dimensionierten Speichers) gerechnet. Der optimale Speicher steht z.B. für einen hochisolierten, verlustarmen (Saison)Speicher der Zukunft.

Entwicklung einer Methodik zur effizienten Potenzialabschätzung mittels treffender Indikatoren

Die Referenzvarianten sollen die vielfältigen Konfigurationen von Gebäuden und solarthermischen Systemen bewusst auf ein paar wenige Situationen herunterbrechen, um damit die Potenzialanalyse mit einfachen, aber zutreffenden Indikatoren effizienter und aussagekräftiger zu machen. Die Entwicklung dieser Methodik ist denn auch ein wichtiger Bestandteil dieser Studie. Damit soll auch inskünftig das solarthermische Potenzial mittels weniger Kennwerte effektiv und akkurat abgeschätzt werden können.

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

Regionalstudie Wohngebäudepark des Kantons Freiburg und Reevaluation des Potenzials in der Stadt Zürich

Die Methodik wird erstmals im Rahmen einer Regionalstudie an 1000 Objekten im Wohngebäudepark des Kantons Freiburg angewendet. Solarmorphologisch erfasst werden hierbei die geeigneten Dachflächen, die in gewichtete Kollektorflächen umgerechnet werden. In Bezug zur Energiebezugsfläche können solarthermische Potenzialindizes bestimmt werden, welche die Gebäude in Potenzialklassen einteilen. Über die Referenzvarianten können schliesslich die Solaranteile und Solardeckungsgrade ermittelt werden.

Die Methodik wird zudem bei einer Stichprobe von Wohngebäuden der Stadt Zürich benutzt. Dies ermöglicht einerseits einen Vergleich der Resultate des eher ländlichen Wohngebäudeparks des Kantons Freiburg mit dem städtischen Wohngebäudeparks Zürichs. Andererseits erlaubt dies auch ergänzende Ergebnisse zur Studie aus dem Jahr 2007 betreffend solarthermisches Potenzial der Stadt Zürich, die auf der Basis herkömmlicher Gebäudeenergieeffizienz und Solarsysteme durchgeführt worden ist.

Aufbau des Studienberichts

Entsprechend den Aufgabestellungen ist der Studienbericht aufgebaut. 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 zwischen den Wohngebäudeparks des Kantons Freiburg und der Stadt Zürich verglichen und allgemeine 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 Analyse der solarthermischen Eignung der Gebäudefläche mittels Interpretation von Orthophotos
- Abschätzung der solarthermischen Erträge

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Analyse der Gebäude auf statistischer und solar-morphologischer 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.).

Die zugrundeliegende Methodik ist im Bereich der Solarenergie regional und international mehrfach validiert worden (Nowak / Gutschner, 1996 – 2010). 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 Gebäudedatenbanken des Kantons Freiburg und der Stadt Zürich.

1.1 Statistische Grundlagen

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

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.

a) 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 einge-

strahlten Energie, können aber teilweise tages- und jahreszeitlich günstige Erträge ermöglichen.

Die höchste Summe eingestrahler Solarenergie übers Jahr auf der best orientierten Fläche (rund 1200 kWh/m².a) wird gleich 100% gesetzt. Die Einstrahlung anderer Flächen kann in Relation zu dieser best ausgerichteten Fläche gestellt werden (s. Abb. 3).

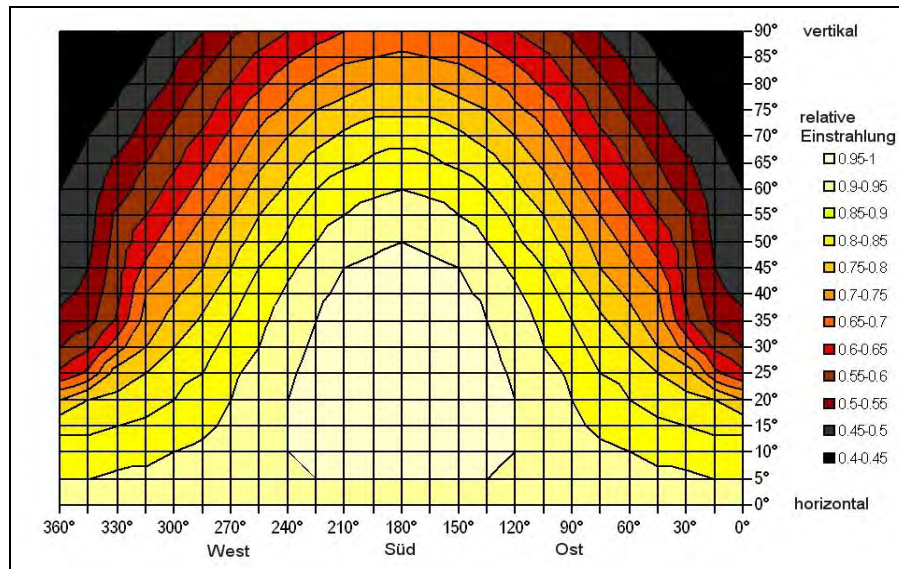


Abbildung 3: Die relative Solareinstrahlung – berechnet auf der Basis der eingestrahler Sonnenenergie in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m².a) gemäss Meteonorm. Die maximale Jahreseinstrahlungssumme gilt als Referenz (100% oder 1.00). Quelle: NET Nowak Energie & Technologie, St. Ursen; Rohdaten: Meteonorm, für Zürich

b) 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.

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°).



Abbildung 4: Südorientierte Kollektoren auf dem Flachdach mehrerer Wohngebäude in der Stadt Freiburg (Bildmitte). Quelle: Orthophoto 2008-2009, © Staat Freiburg

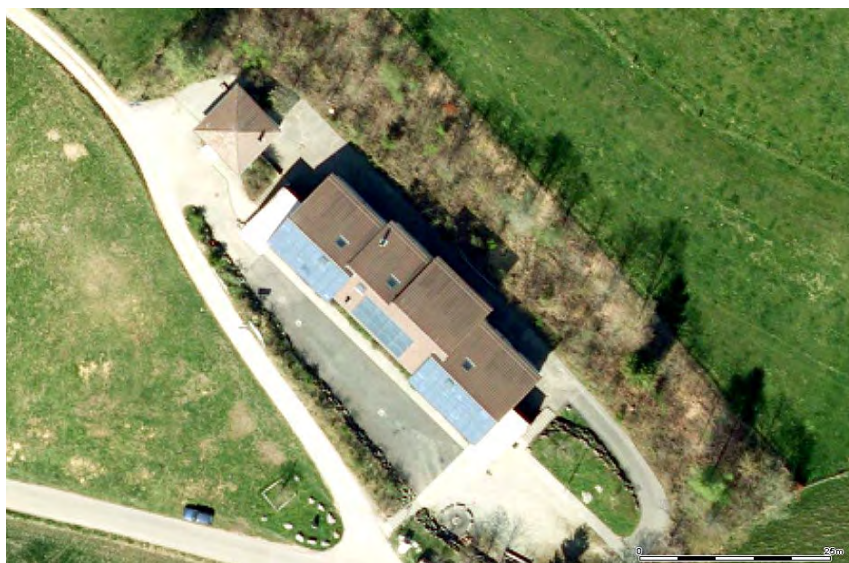


Abbildung 5: Schrägdächer geben in der Regel die Ausrichtung der Kollektoren vor. In der Abbildung sind sowohl Photovoltaikmodule wie auch solarthermische Kollektoren im Schrägdach integriert. Quelle: Geoportal Köniz

c) 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 (s. Abbildung 6).

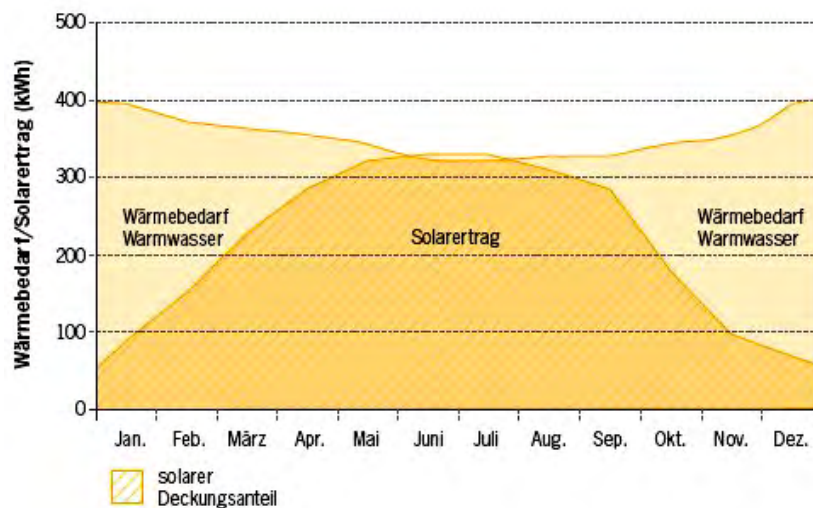


Abbildung 6 : Auslegung für optimale Nutzung der solar erzeugten Energie. Quelle: Landesgewerbeamt Baden Württemberg

Die Energieertragssituation für eine konventionelle Anlage (8-Liter-Haus plus Warmwasserbedarf von 24 kWh pro m² Energiebezugsfläche) wird in den zwei folgenden Abbildungen veranschaulicht. Die sog. Muscheldiagramme stellen die solaren Erträge (Brennstoffeinsparungen) in relativen und absoluten Werten dar. Die Abbildung 8 zeigt die relativen solaren Erträge von nicht optimal ausgerichteten Flächen im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten Fläche. Die Abbildung 9 führt die absoluten Werte, d.h. die nutzbare solarthermische Energie in kWh pro m² Kollektorfläche dar.

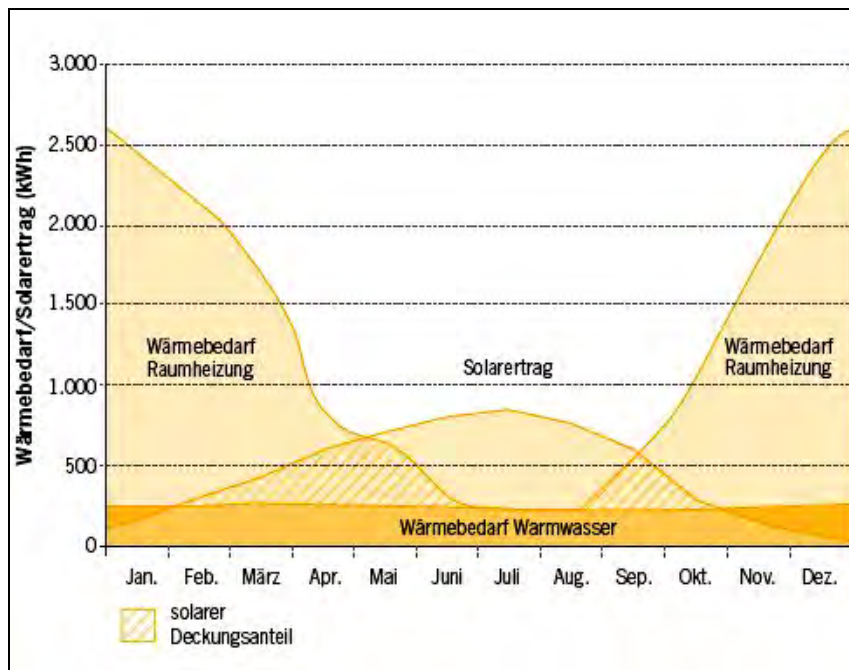


Abbildung 7: Solare Warmwassererzeugung mit Heizunterstützung und Überschüssen im Sommer.

Quelle: Landesgewerbeamt Baden Württemberg

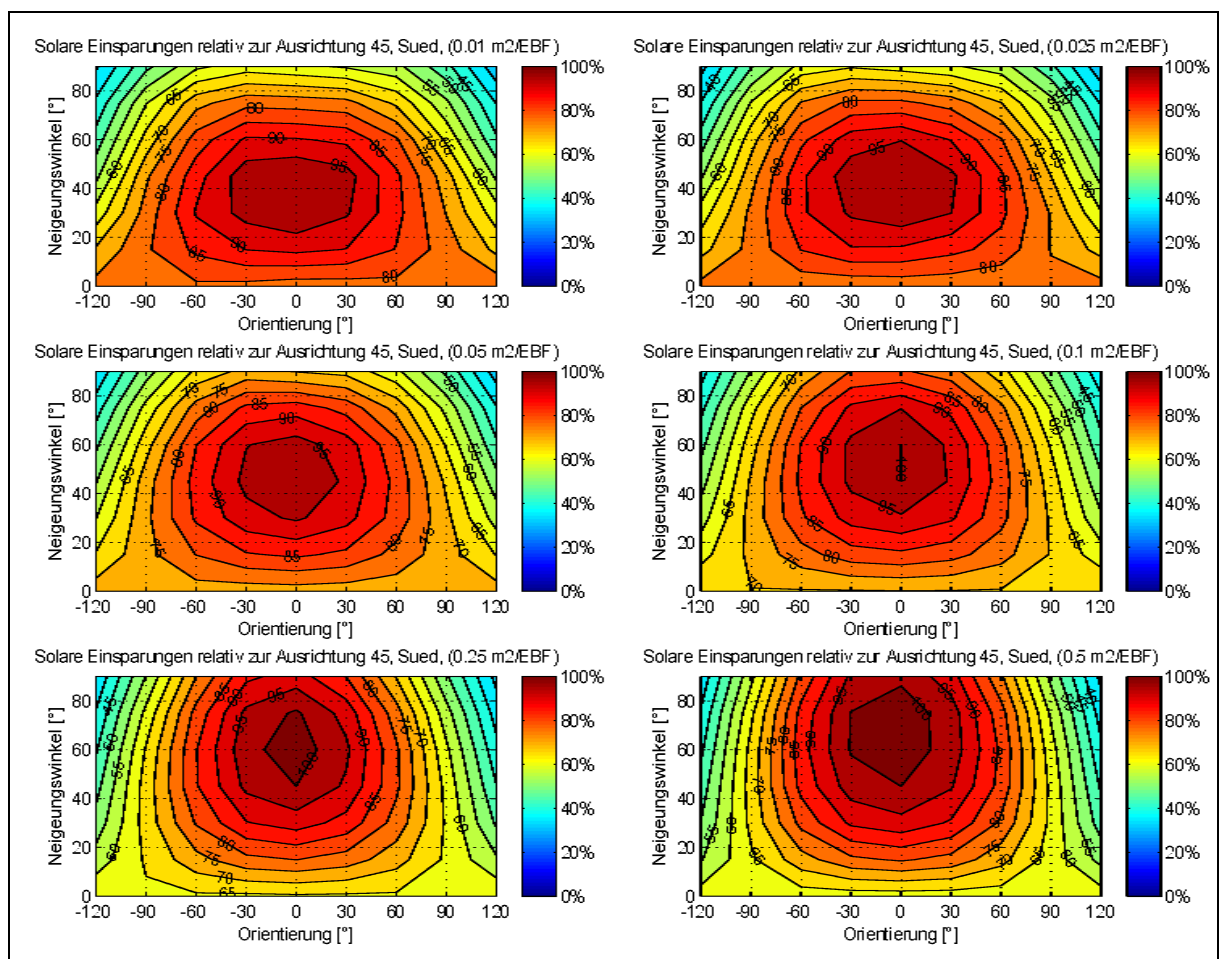


Abbildung 8: Relative Solareträge resp. Brennstoffeinsparungen für ein Referenzsystem mit einem jährlichen Verbrauch von $80 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ Heizlast und $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ Warmwasserverbrauch sowie einer Speichergroße von $100 \text{ l/m}^2_{\text{Kollektor}}$ für sechs verschiedene Kollektorfeldgrößen ($0,01$ bis $0,5 \text{ m}^2_{\text{Kol}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$). Quelle: SPF (2009)

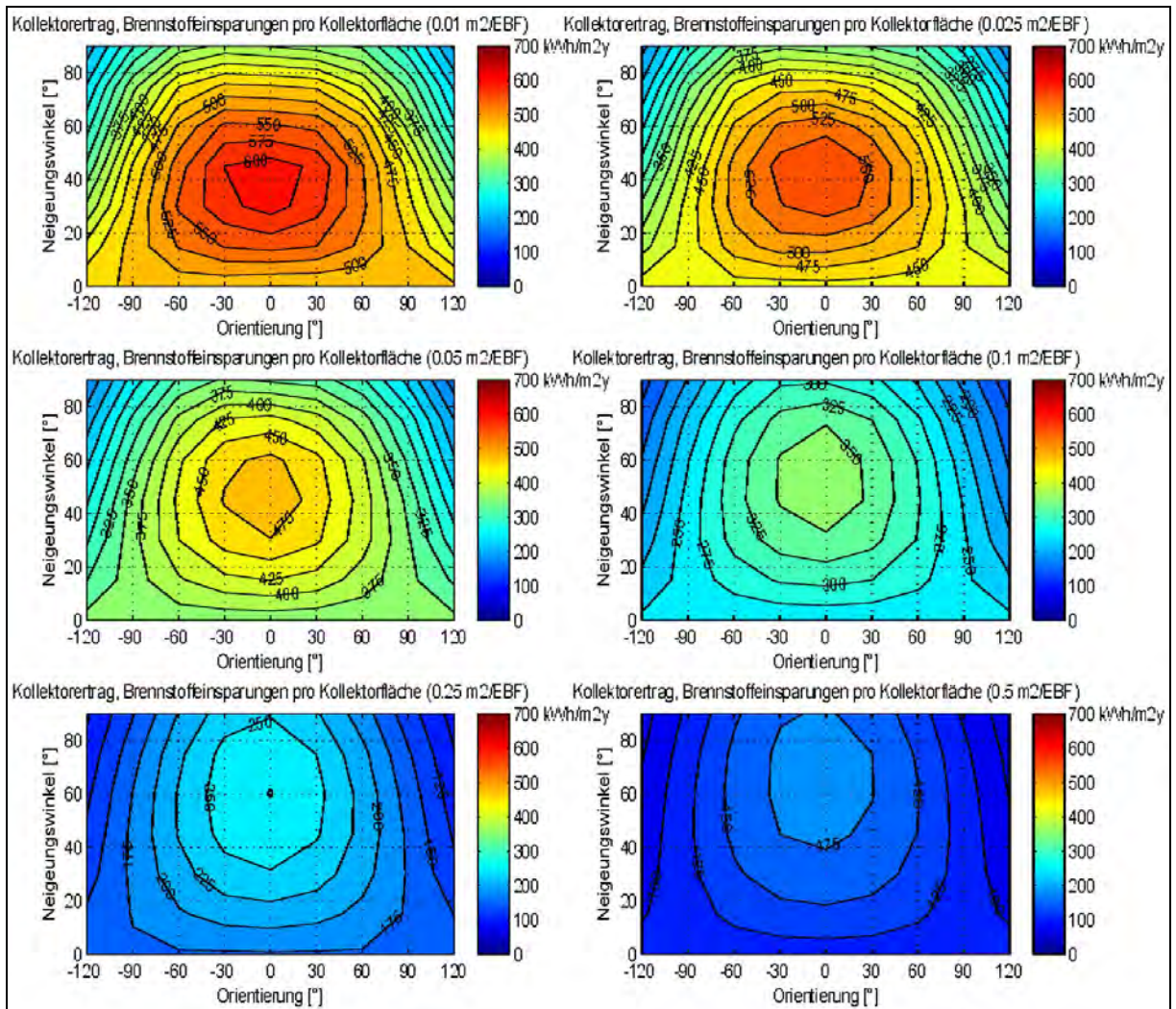


Abbildung 9: Absolute Solarerträge resp. Brennstoffeinsparungen für ein Referenzsystem mit einem jährlichen Verbrauch von $80 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ Heizlast und $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ Warmwasserverbrauch sowie einer Speichergrosse von $100 \text{ l/m}^2_{\text{Kollektor}}$ für sechs verschiedene Kollektorfeldgrössen ($0,01$ bis $0,5 \text{ m}^2_{\text{Kof}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$). 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).

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.

Ein wichtiger Bestandteil dieser Studie ist es, diese komplexe Vielfalt auf einige wichtige Indikatoren runterzubrechen. Die Simulationsstudie zur Potenzialabschätzung für den Einsatz von Solarthermie in der Schweiz (BFE/SPF 2009) stellt eine Reihe Grundlagen (wie die Mischdiagramme) zur Verfügung, die in der Folge die Entwicklung griffiger Indikatoren zur Bestimmung des solarthermischen Potenzials ermöglichen.

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. Tabelle unten).

Tabelle 3: 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.

Mittels solarthermischer Potenzialindizes können Potenzialklassen* gebildet werden. Die vorgeschlagenen Klassen dienen dazu, einerseits das Potenzial eines Gebäudes auf allgemeine Weise, d.h. relativ unabhängig von der spezifischen Ertragssituation, zwischen niedrig und sehr hoch einzustufen, andererseits einen Gebäudepark nach seiner Zusammensetzung aus Gebäuden und ihrer Potenzialklassenzugehörigkeit einzuordnen. (*Die Potenzialklassen geben eine Einordnung gemäss technischem Potenzial: eine hohe Potenzialklasse (beginnend mit A) steht für einen hohen solaren Deckungsgrad. Diese Einordnung kann bei heutigem Technologie- und Marktentwicklungsstand wie oben erläutert nicht 1:1 für die Wirtschaftlichkeit übernommen werden. „Niedrigere“ Potenzialklassen sowie optimal orientierte Kollektorflächen können eine höhere Wirtschaftlichkeit ausweisen.)

Die konkreten Energiewerte hängen von der angewendeten Referenzvariante ab. Für den Wärmeenergiebedarf werden die Varianten 54 und 104 kWh pro m² Energiebezugsfläche festgelegt. Auf der Seite der nutzbaren Solarenergie werden zwei Speichersysteme – 100l Speicher pro m² Kollektor sowie optimaler Speicher – angenommen. Dies führt zu insgesamt vier Referenzvarianten. Die folgenden Tabellen fassen Indizes und Erträge für die Varianten 104-100l (heutige konventionelle Systeme) und 54-opt (fortschrittliche, energieeffiziente Systeme) zusammen.

Tabelle 4: Allgemeine solarthermische Potenzialklassen – erreichbare Solaranteile bei der Referenzvariante 104-100l		
Klasse	Solarthermischer Potenzialindex „gewichtete Kollektorfläche (GKF) : Energiebezugsfläche (EBF)“	Beschreibung erreichbarer Solaranteile bei der Referenzvariante 104-100l Die grundsätzlich installierbare Kollektorfläche erlaubt einen...
A	> 0,16	... solaren Deckungsgrad von rund der Hälfte und mehr am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
B	> 0,08 bis 0,16	... solaren Deckungsgrad von rund einem Drittel am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
C	> 0,04 bis 0,08	... solaren Deckungsgrad von rund einem Viertel am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
D	> 0,02 bis 0,04	... solaren Deckungsgrad von rund einem Achtel am Gesamtwärmebedarf (i.d.R. hauptsächlich Brauchwasser und kleinerer Beitrag Raumwärme).
E	< 0,02	... nur geringen solaren Deckungsgrad von unter einem Zehntel (in der Analyse nicht weiter betrachtet).

Tabelle 5: Allgemeine solarthermische Potenzialklassen – erreichbare Solaranteile bei der Referenzvariante 54-opt		
Klasse	Solarthermischer Potenzialindex „gewichtete Kollektorfläche (GKF) : Energiebezugsfläche (EBF)“	Beschreibung erreichbarer Solaranteile bei der Referenzvariante 54-opt Die grundsätzlich installierbare Kollektorfläche erlaubt einen...
A	> 0,16	... solaren Deckungsgrad von 100% (und höher) am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
B	> 0,08 bis 0,16	... solaren Deckungsgrad von 75% bis 100% am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
C	> 0,04 bis 0,08	... solaren Deckungsgrad von rund der Hälfte und mehr am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
D	> 0,02 bis 0,04	... solaren Deckungsgrad von rund einem Viertel am Gesamtwärmebedarf (Brauchwasser und Raumwärme).
E	< 0,02	... nur geringen solaren Deckungsgrad von unter einem Zehntel (in der Analyse nicht weiter betrachtet).

Tabelle 6: Allgemeine solarthermische Potenzialklassen und ihre spezifischen Erträge bei Referenzvarianten 104-100I und 54-opt		
Klasse	Solarthermischer Potenzialindex „gewichtete Kollektorfläche (GKF) : Energiebezugsfläche (EBF)“	Spezifische Erträge für Referenzvarianten 104-100I und 54-opt
A	> 0,16	System 104-100I: 250 kWh pro m ² GKF und Jahr System 54-opt: solare Volldeckung bereits erreicht
B	> 0,08 bis 0,16	System 104-100I: 300 kWh pro m ² GKF und Jahr System 54-opt: 440 kWh pro m ² GKF und Jahr
C	> 0,04 bis 0,08	System 104-100I: 400 kWh pro m ² GKF und Jahr System 54-opt: 510 kWh pro m ² GKF und Jahr
D	> 0,02 bis 0,04	System 104-100I: 520 kWh pro m ² GKF und Jahr System 54-opt: 600 kWh pro m ² GKF und Jahr
E	< 0,02	(in der Analyse nicht betrachtet).

Tabelle 7: Referenzvarianten nach Wärmebedarf und Speichergrosse		
Referenzvariante	Wärmeenergiebedarf pro m ² Energiebezugsfläche	Speicher pro m ² Kollektorfläche
104-100I	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
54-100I	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

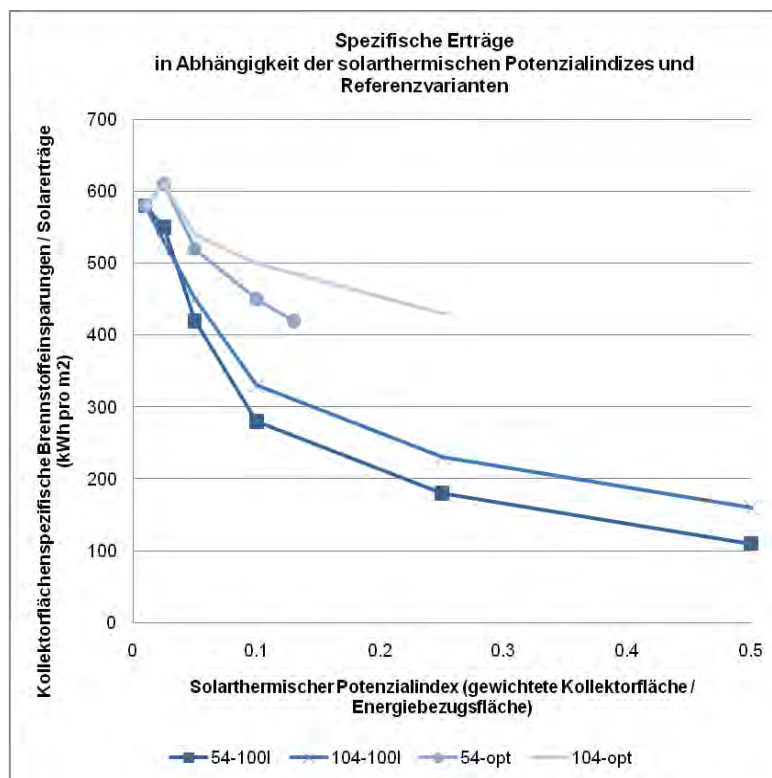


Abbildung 10: Kollektorflächenspezifische nutzbare Solarerträge für verschiedene solarthermische Potenzialindizes und Referenzvarianten

Die kollektorflächenspezifischen Energieerträge fallen insbesondere bei Anlagen für eine Wärmeenergieversorgung mit einem „konventionellen Speicher“ (Referenzvarianten 54-100l und 104-100l) 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 hochzuhalten, da die sommerlichen Ertragsüberschüsse hinsichtlich der Energiebedarfsdeckung für die sonnenärmere Jahreszeit gespeichert werden können (s. Abbildung 10).

Mit einem solarthermischen Potenzialindex von 0,13 erzielt ein Gebäude mit einem Gesamtwärmeenergiebedarf von 54 kWh pro m² Energiebezugsfläche und einem optimalen Speicher bereits einen 100%-igen Solardeckungsgrad, während ein Gebäude mit einem Gesamtwärmeenergiebedarf von 104 kWh pro m² Energiebezugsfläche und einem auf 100l pro m² Kollektorflächen beschränkten Speicher mit einem solarthermischen Potenzialindex von 0,5 erst einen 80%-igen Solardeckungsgrad erreicht.

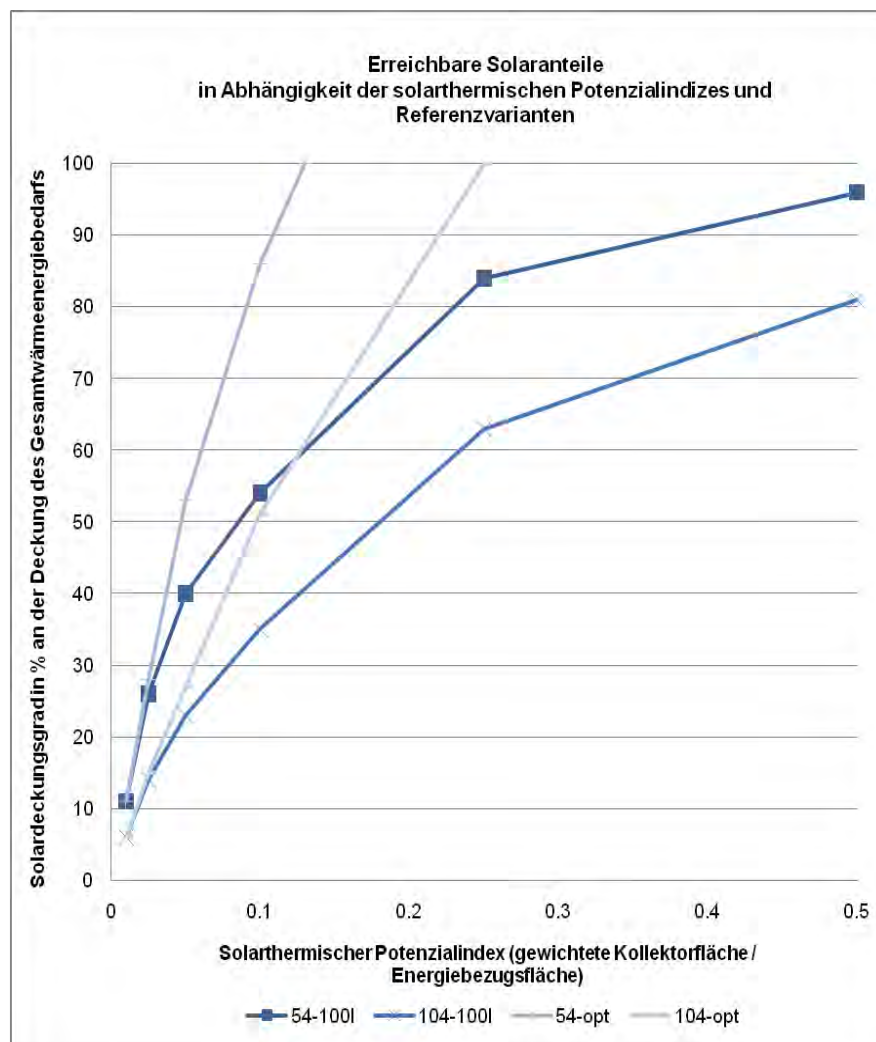


Abbildung 11: Erreichbare Solaranteile für verschiedene solarthermische Potenzialindizes und Referenzvariante

Die Abbildungen 12 bis 16 illustrieren Wohngebäude mit unterschiedlichen Potenzialklassen und realisierter Solaranlagen.



Abbildung 12: Nachbargebäude mit unterschiedlichem solarthermischem Potenzialindex. Das Gebäude der Potenzialklasse A nutzt effektiv die solarthermische Energie. Photo: NET Nowak Energie & Technologie AG



Abbildung 13: Einfamilienhaus in hoher Potenzialklasse und mit solarer Warmwassernutzung. Photo: NET Nowak Energie & Technologie AG



Abbildung 14: Mehrfamilienhaus in hoher Potenzialklasse und mit grosser Solaranlage.

Photo: NET Nowak Energie & Technologie AG



Abbildungen 15 + 16: Städtische Dachlandschaft mit Objekten mittlerer bis höherer Potenzialklasse und Solaranlagen. Photos: NET Nowak Energie & Technologie AG

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 wegen geringerer 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

Der untersuchte Gebäudepark im Kanton Freiburg besteht aus 1'000 Wohnobjekten. Dieser Wohngebäudepark umfasst 373'941 m² Energiebezugsfläche (EBF) auf 199'045 m² Gebäudegrundfläche (GGF). Dies ergibt eine Verhältniszahl EBF / GGF von annähernd 1,9. Ein statistisches Durchschnittsobjekt weist 374 m² Energiebezugsfläche und 199 m² Gebäudegrundfläche auf. Die Medianwerte betragen 189 m² Energiebezugsfläche und 141 m² Gebäudegrundfläche. Die durchschnittliche Geschoszahl beträgt etwas über 2,5.

Die wichtigsten Gründe, die das Potenzial auf den untersuchten Gebäuden im Kanton Freiburg einschränken, sind in der Reihenfolge ihrer Relevanz:

- Ausrichtung der Dachflächen (62%)
- Aufbauten und Dachgestaltung (34%)
- Verschattung durch Bäume (3%)
- Verschattung durch Nachbargebäude (1%)

Die gesamte Potenzialfläche für den untersuchten Freiburger Wohngebäudepark beläuft sich auf 63'844 m². Bezogen auf die Grundfläche der 1000 Gebäude (199'045 m²) ergibt dies einen Flächenpotenzialindex von 32,1%, d.h. auf 100 m² Gebäudegrundfläche können 32,1 m² Potenzialfläche identifiziert werden.

Der untersuchte Gebäudepark in der Stadt Zürich besteht aus 210 Wohnobjekten. Dieser Wohngebäudepark umfasst 133'875 m² Energiebezugsfläche (EBF) auf 36'003 m² Gebäudegrundfläche (GGF). Dies ergibt eine Verhältniszahl EBF / GGF von etwas über 3,7. Ein statistisches Durchschnittsobjekt weist 638 m² Energiebezugsfläche und 171 m² Gebäudegrundfläche auf. Die Medianwerte betragen 534 m² Energiebezugsfläche und 164 m² Gebäudegrundfläche. Die durchschnittliche Geschoszahl beträgt etwas über 4,1.

Die wichtigsten Gründe, die das Potenzial auf den untersuchten Gebäuden in der Stadt Zürich einschränken, sind nach ihrer Relevanz:

- Ausrichtung der Dachflächen (54%)
- Aufbauten und Dachgestaltung (39%)
- Verschattung durch Bäume (6%)
- Verschattung durch Nachbargebäude (1%)

Im Stadtzürcher Wohngebäudepark kommen die 210 Objekte auf ein Flächenpotenzial von 11'361 m² und eine Gebäudegrundfläche von 36'003 m². Der Flächenpotenzialindex beträgt 31,6%, d.h. auf 100 m² Gebäudegrundfläche können 31,6 m² Potenzialfläche identifiziert werden.

Die Dachflächen-Potenzialindizes für den Gesamtwohngebäudepark unterscheiden sich also zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark nur sehr gering. Unterschiede ergeben sich hingegen zwischen verschiedenen Gebäudetypen untereinander und zwischen den Regionen (s. Tabelle unten).

Allgemein ist anzumerken, dass eine optimierte Architektur und Siedlungsplanung dazu beitragen können, inskünftig die Reduktionsfaktoren zu verringern und die Potenzialindizes zu steigern.

Tabelle 8: Flächenpotenzialindizes nach Gebäudetypen im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich		
Wohngebäudekategorien	Kanton Freiburg	Stadt Zürich
Einfamilienhäuser	29,9%	24,8%
Mehrfamilienhäuser	30,6%	35,7%
Wohngebäude mit Nebennutzung	36,3%	32,3%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	33,3%	19,7%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>32,1%</i>	<i>31,6%</i>

Tabelle 9: Flächenpotenzialangaben für den untersuchten Wohngebäudepark im Kanton Freiburg				
Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Energiebezugsfläche in m ²	Gebäudegrundfläche in m ²	Gesamtpotenzialfläche in m ²
Einfamilienhäuser	585	93'833	75953	22'727
Mehrfamilienhäuser	223	98'215	47452	14'507
Wohngebäude mit Nebennutzung	137	109'535	47616	17'266
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	55	72'358	28024	9'345
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1000</i>	<i>373'941</i>	<i>199045</i>	<i>63'844</i>

Tabelle 10: Flächenpotenzialangaben in m² für den untersuchten Wohngebäudepark im Kanton Freiburg nach Ausrichtung der Dachflächen

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
Einfamilienhäuser	585	2'160	8'684	6'528	5'356	22'727
Mehrfamilienhäuser	223	4'748	3'681	2'994	3'083	14'507
Wohngebäude mit Nebennutzung	137	2'850	5'622	5'911	2'883	17'266
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	55	4'205	1'399	1'882	1'859	9'345
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1000</i>	<i>13'962</i>	<i>19'387</i>	<i>17'315</i>	<i>13'181</i>	<i>63'844</i>

Tabelle 11: Flächenpotenzialangaben für den untersuchten Wohngebäudepark in der Stadt Zürich

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Energiebezugsfläche in m ²	Gebäudegrundfläche in m ²	Gesamtpotenzialfläche in m ²
Einfamilienhäuser	48	7'913	3761	932
Mehrfamilienhäuser	99	68'382	17989	6'426
Wohngebäude mit Nebennutzung	47	39'752	9476	3'059
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	16	17'828	4777	943
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>210</i>	<i>133'875</i>	<i>36003</i>	<i>11'361</i>

Tabelle 12: Flächenpotenzialangaben in m² für den untersuchten Wohngebäudepark in der Stadt Zürich nach Ausrichtung der Dachflächen

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
Einfamilienhäuser	48	79	212	369	272	932
Mehrfamilienhäuser	99	3'155	935	1'516	821	6'426
Wohngebäude mit Nebennutzung	47	1'874	438	488	259	3'059
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	16	409	183	289	62	943
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>210</i>	<i>5'517</i>	<i>1'769</i>	<i>2'662</i>	<i>1'413</i>	<i>11'361</i>

Die geeigneten Dachflächen befinden sich im Freiburger Wohngebäudepark zu 35% auf Einfamilienhäusern, zu 23% auf Mehrfamilienhäusern und zu 27% auf Wohngebäuden mit Nebennutzung. In der Stadt Zürich verteilt sich das Dachflächenpotenzial zu 8% auf Einfamilienhäuser, zu 57% auf Mehrfamilienhäuser und zu 27% auf Wohngebäude mit Nebennutzung. Der Kanton Freiburg zeichnet sich demnach durch einen relativ hohen Anteil an Einfamilienhäusern aus, während die Stadt Zürich einen sehr hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern aufweist.



Abbildung 17: Verteilung des Dachflächenpotenzials nach Wohngebäudekategorien im Kanton Freiburg (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)



Abbildung 18: Verteilung des Dachflächenpotenzials nach Wohngebäudekategorien in der Stadt Zürich (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

Die Potenzialflächen im Freiburger Wohngebäudepark befinden sich zu 22% auf horizontalen Flächen (zumeist Flachdächer) und zu 30% 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 21% auf Dächern mit westlicher oder östlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 60 und 90°). In der Stadt Zürich machen horizontale Flächen mit 49% beinahe die Hälfte des Dachflächenpotenzials aus. Die weiteren Potenzialflächen verteilen sich zu 16% auf Süddächer, zu 23% auf Dächer mit Ausrichtung SW/SO und zu 12% mit Ausrichtung W/O.



Abbildung 19: Verteilung der Potenzialflächen nach Dachausrichtung im Wohngebäudepark des Kantons Freiburg

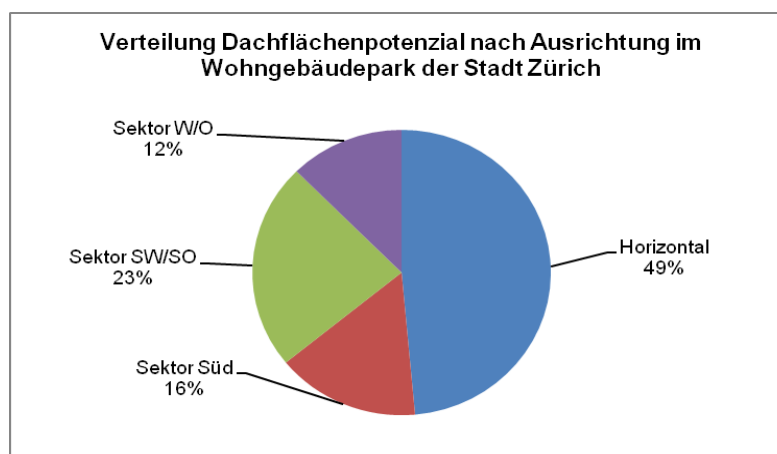


Abbildung 20: Verteilung der Potenzialflächen nach Dachausrichtung im Wohngebäudepark der Stadt Zürich

2.2 Kollektorflächenpotenziale

Über die Gewichtung der geeigneten Dachflächen lassen sich die Kollektorflächen ableiten (s. Kapitel 1.3).

Aus dem Dachflächenpotenzial von 63'844 m² im Freiburger Wohngebäudepark lässt sich ein Potenzial gewichteter Kollektorflächen von 43'682 m² berechnen. Bezogen auf die Energiebezugsfläche der 1000 Gebäude von 373'941 m² ergibt dies einen solarthermischen Potenzialindex von 11,7%, d.h. pro 100 m² Energiebezugsfläche können 11,7 m² gewichtete Kollektorfläche identifiziert werden.

Ausgehend von einem Dachflächenpotenzial von 11'361 m² kommen die 210 Objekte des Stadtzürcher Wohngebäudeparks auf ein Potenzial gewichteter Kollektorflächen von 6'490 m². Mit einer Energiebezugsfläche von 133'875 m² bedeutet dies einen solarthermischen Potenzialindex von 4,8%, d.h. pro 100 m² Energiebezugsfläche können 4,8 m² gewichtete Kollektorfläche ausgemacht werden.

Die solarthermischen Potenzialindizes unterscheiden sich also zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark um einen Faktor von über 2,4.

Die deutlich höheren solarthermischen Potenzialindizes für den Kanton Freiburg gelten für alle Gebäudetypen. So belaufen sich die Indizes bei den Einfamilienhäusern im Kanton Freiburg auf 17,4% und in der Stadt Zürich auf 7,8%, bei den Mehrfamilienhäusern betragen die Indizes 9,4% resp. 5,3% (s. Tabelle unten).

Tabelle 13: Solarthermische Potenzialindizes nach Gebäudetypen im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich		
Wohngebäudekategorien	Kanton Freiburg	Stadt Zürich
Einfamilienhäuser	17,4%	7,8%
Mehrfamilienhäuser	9,4%	5,3%
Wohngebäude mit Nebennutzung	11,8%	4,2%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	7,2%	3,1%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>11,7%</i>	<i>4,8%</i>

Während bei den Flächenpotenzialindizes zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark gesamthaft gesehen nur geringe Unterschiede feststellbar sind, zeichnet sich der Freiburger Wohngebäudepark durch einen deutlich höheren solarthermischen Potenzialindex aus. Die Hauptgründe für den höheren solarthermischen Potenzialindex liegen vor allem bei der geringeren Energiebezugsfläche „unterm Dach“ (d.h. mehr Dachfläche pro Energiebezugsfläche) und einem höheren Anteil geneigter, insbesondere südlich ausgerichteter Dächer, was bei der Gewichtung der Dachflächen zu mehr Kollektorflächen führt.

Der höhere solarthermische Potenzialindex für Freiburg widerspiegelt sich auch bei der Verteilung der Objekte auf Potenzialklassen. Im Freiburger Wohngebäudepark gehören rund 40% der Objekte der höchsten Klasse A und 26% der Objekte der Klasse B an. Diese Anteile betragen im Stadtzürcher Wohngebäudepark 6 resp. 31%.



Abbildung 21: Der Stadtzürcher Wohngebäudepark erzielt praktisch gleich hohe Flächenpotenzialindizes, weist aber aufgrund der grösseren Energiebezugsfläche deutlich tiefere solarthermische Potenzialindizes auf. Photo: Luftbild Stadtplan Zürich

Tabelle 14: Gewichtete Kollektorflächen in m² für den untersuchten Wohngebäudepark im Kanton Freiburg nach Ausrichtung der Dachflächen

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
Einfamilienhäuser	585	982	7'540	4'712	3'047	16'281
Mehrfamilienhäuser	223	2'158	3'251	2'102	1'707	9'218
Wohngebäude mit Nebennutzung	137	1'295	5'461	4'481	1'705	12'942
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	55	1'911	1'070	1'259	1'001	5'241
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>1000</i>	<i>6'346</i>	<i>17'322</i>	<i>12'554</i>	<i>7'460</i>	<i>43'682</i>

Tabelle 15: Gewichtete Kollektorflächen in m² für den untersuchten Wohngebäudepark in der Stadt Zürich nach Ausrichtung der Dachflächen

Wohngebäudekategorien	Anzahl Objekte	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
Einfamilienhäuser	48	36	173	260	150	619
Mehrfamilienhäuser	99	1'434	737	1'004	456	3'631
Wohngebäude mit Nebennutzung	47	852	372	316	141	1'681
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	16	186	143	199	31	558
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>210</i>	<i>2'508</i>	<i>1'425</i>	<i>1'779</i>	<i>778</i>	<i>6'490</i>

Tabelle 16: Klassen der solarthermischen Potenziale für den Gesamtwohngebäudepark im Kanton Freiburg

Klasse	Solarthermischer Potenzialindex „gewichtete Kollektorfläche (GKF) : Energiebezugsfläche (EBF)“	Anzahl Objekte	Anteil
A	> 0,16	398	39,8%
B	> 0,08 bis 0,16	260	26,0%
C	> 0,04 bis 0,08	124	12,4%
D	> 0,02 bis 0,04	71	7,1%
E	< 0,02	147	14,7%

Tabelle 17: Klassen der solarthermischen Potenziale für den Gesamtwohngebäudepark in der Stadt Zürich

Klasse	Solarthermischer Potenzialindex „gewichtete Kollektorfläche (GKF) : Energiebezugsfläche (EBF)“	Anzahl Objekte	Anteil
A	> 0,16	13	6,2%
B	> 0,08 bis 0,16	65	31,0%
C	> 0,04 bis 0,08	44	21,0%
D	> 0,02 bis 0,04	26	12,4%
E	< 0,02	62	29,5%

Die grösseren Anteile bei der höchsten Potenzialklasse zeigen sich in allen Gebäudekategorien. So erreichen 47% der Freiburger Einfamilienhäuser die Klasse A, während es bei den Stadtzürcher Einfamilienhäusern lediglich 19% sind. Bei den Mehrfamilienhäusern betragen diese Anteile 29% in Freiburg und 2% in Zürich. Die Stadtzürcher Ein- und Mehrfamilienhäuser erreichen aber hohe Anteile in der zweithöchsten Potenzialklasse B von 44% bei Ein- und 34% bei Mehrfamilienhäusern. Vom Freiburger Wohngebäudepark sind 15% der Objekte in der niedrigsten Potenzialklasse (kein oder nur ein vernachlässigbares Potenzial), beim Stadtzürcher Wohngebäudepark ist dieser Anteil doppelt so gross.

Tabelle 18: Klassen der solarthermischen Potenziale für verschiedene Wohngebäudekategorien im Kanton Freiburg									
Klasse	Index (GKF : EBF)	Einfamilienhäuser (EFH)		Mehrfamilien- häuser (MFH)		Wohngebäude mit Nebennutzung (WGN)		Gebäude mit Nebennutzung Wohnen (GNW)	
		Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil
A	> 0,16	274	46,8%	64	28,7%	53	38,7%	7	12,7%
B	> 0,08 bis 0,16	140	23,9%	61	27,4%	44	32,1%	15	27,3%
C	> 0,04 bis 0,08	58	9,9%	43	19,3%	12	5,4%	11	20,0%
D	> 0,02 bis 0,04	23	3,9%	24	10,8%	12	5,4%	12	21,8%
E	< 0,02	90	15,4%	31	13,9%	16	7,2%	10	18,2%
	<i>alle</i>	585		223		137		55	

Tabelle 19: Klassen der solarthermischen Potenziale für verschiedene Wohngebäudekategorien in der Stadt Zürich									
Klasse	Solarthermischer Potenzial-Index (GKF : EBF)	Einfamilienhäuser (EFH)		Mehrfamilienhäu- ser (MFH)		Wohngebäude mit Nebennutzung (WGN)		Gebäude mit Nebennutzung Wohnen (GNW)	
		Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil	Anzahl Objekte	Anteil
A	> 0,16	9	18,8%	2	2,0%	2	4,3%	0	0,0%
B	> 0,08 bis 0,16	21	43,8%	34	34,3%	7	14,9%	3	18,8%
C	> 0,04 bis 0,08	5	10,4%	23	23,2%	11	23,4%	5	31,3%
D	> 0,02 bis 0,04	1	2,1%	15	15,2%	8	17,0%	2	12,5%
E	< 0,02	12	25,0%	25	25,3%	19	40,4%	6	37,5%
	<i>alle</i>	48		99		47		16	

Die gewichteten Kollektorflächen befinden sich im Freiburger Wohngebäudepark zu 37% auf Einfamilienhäusern, zu 21% auf Mehrfamilienhäusern und zu 30% auf Wohngebäuden mit Nebennutzung. In der Stadt Zürich verteilt sich das Kollektorflächenpotenzial zu 9% auf Einfamilienhäuser, zu 56% auf Mehrfamilienhäuser und zu 26% auf Wohngebäude mit Nebennutzung.

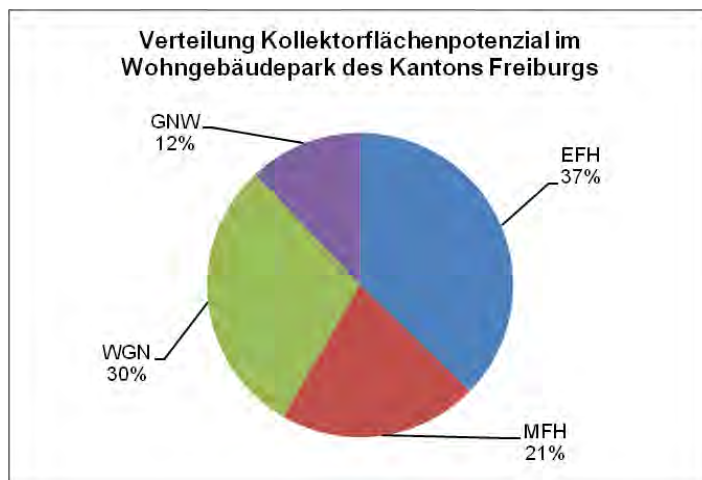


Abbildung 22: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Wohngebäudekategorien im Kanton Freiburg (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

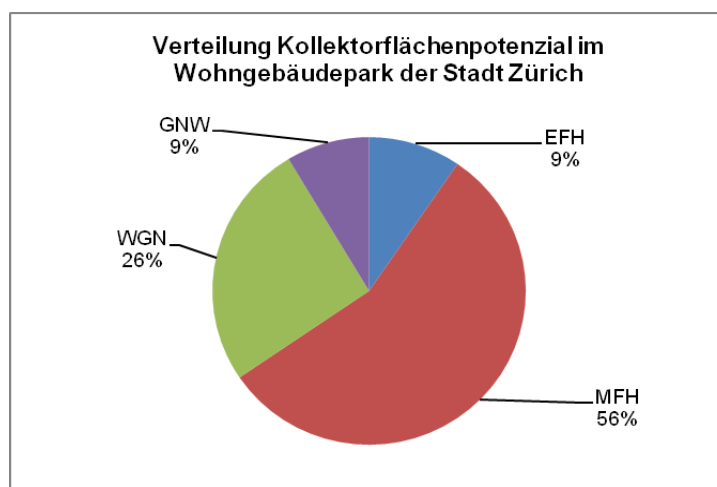


Abbildung 23: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Wohngebäudekategorien in der Stadt Zürich (EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus, WGN = Wohngebäude mit Nebennutzung, GNW = Gebäude mit Nebennutzung Wohnen)

Die gewichteten Kollektorflächen im Freiburger Wohngebäudepark befinden sich zu 14% auf horizontalen Flächen (meist Flachdächer) und zu 0% 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 17% auf Dächern mit westlicher oder östlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 60 und 90°). In der Stadt Zürich machen horizontale Flächen mit 39% beinahe zwei Fünftel des Kollektorflächenpotenzials aus. Die weiteren Potenzialflächen verteilen sich zu 22% auf Süddächer, zu 27% auf Dächer mit Ausrichtung SW/SO und zu 12% mit Ausrichtung W/O.



Abbildung 24: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Dachausrichtung im Wohngebäudepark des Kantons Freiburg



Abbildung 25: Verteilung der gewichteten Kollektorflächen nach Dachausrichtung im Wohngebäudepark der Stadt Zürich

3 Energetische Potenziale

Das Potenzial der nutzbaren thermischen Solarenergie rechnet sich aus der Summe der Potenziale der untersuchten Einzelobjekte. 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 „100l-Speichern“ schneiden die absoluten und relativen Solarerträge bei den Referenzvarianten mit optimiertem Speicher deutlich besser ab.

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?
- Solaranteile 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 Freiburger Wohngebäudepark erreicht 34% bei der Referenzvariante 104-100l und beinahe doppelt so viel, nämlich 67%, bei der Referenzvariante 54-opt.

In Energiewerten gerechnet zeichnet sich folgendes Bild: Die nutzbare Solarenergie kommt auf 13'122 MWh bei der 104-100l Referenzvariante und steigt auf 19'442 MWh bei der 104-opt Referenzvariante. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 38'890 MWh ergeben sich hier Solaranteile von 34 resp. 50%. Bei der Referenzvariante 54-100l beläuft sich die nutzbare Solarenergie auf 11'076 MWh, bei der Referenzvariante 54-opt ergeben sich 13'464 MWh. Bei einem kalkulierten, vergleichsweise tiefen Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 20'193 MWh erreichen die Solaranteile vergleichsweise hohe 55 resp. 67%.

Tabelle 20: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in % für den Kanton Freiburg

Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	42%	64%	62%	75%
Mehrfamilienhäuser	29%	49%	42%	60%
Wohnggebäude mit Nebennutzung	36%	59%	55%	72%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	26%	45%	37%	57%
<i>Gesamtwohnggebäudepark</i>	34%	55%	50%	67%

Die potenziellen Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Freiburger Wohngebäudepark fallen für die Einfamilienhäuser deutlich und für die Wohngebäude mit Nebennutzung knapp überdurchschnittlich aus. Unterdurchschnittlich sind die Solaranteile bei Mehrfamilienhäusern und Gebäuden mit Nebennutzung Wohnen. So bewegen sich die Solaranteile von Einfamilienhäusern zwischen 42% bei der Referenzvariante 104-100I und 75% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Mehrfamilienhäuser weisen Solaranteile von 29% bei der Referenzvariante 104-100I bis 57% bei der Referenzvariante 54-opt aus.

Die Solaranteile im Stadtzürcher Wohngebäudepark betragen zwischen 19 und 43%. Konkret beziffert sich die nutzbare Solarenergie auf 2'643 MWh bei der 104-100I Referenzvariante und steigt auf 3'679 MWh bei der 104-opt Referenzvariante. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 13'923 MWh ergeben sich hier Solaranteile von 19 resp. 26%. Bei der Referenzvariante 54-100I berechnet sich die nutzbare Solarenergie auf 2'443 MWh, bei der Referenzvariante 54-opt ergeben sich 3'128 MWh. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) von 20'193 MWh belaufen sich die Solaranteile auf 34 resp. 43%.

Der potenzielle Solaranteil an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Stadtzürcher Wohngebäudepark erhöht sich um mehr als das Doppelte von 19% bei der Referenzvariante 104-100I auf 43% bei der Referenzvariante 54-opt.

Die potenziellen Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Stadtzürcher Wohngebäudepark fallen für die Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser überdurchschnittlich aus. So bewegen sich die Solaranteile von Einfamilienhäusern von 24% bei der Referenzvariante 104-100I auf bis zu 52% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Mehrfamilienhäuser weisen Solaranteile von 21% bei der Referenzvariante 104-100I bis 48% bei der Referenzvariante 54-opt aus.

Tabelle 21: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in % für die Stadt Zürich				
Referenzvariante /	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Gebäudekategorien				
Einfamilienhäuser	24%	39%	37%	52%
Mehrfamilienhäuser	21%	37%	29%	48%
Wohngebäude mit Nebennutzung	17%	31%	23%	39%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	13%	24%	18%	30%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	19%	34%	26%	43%

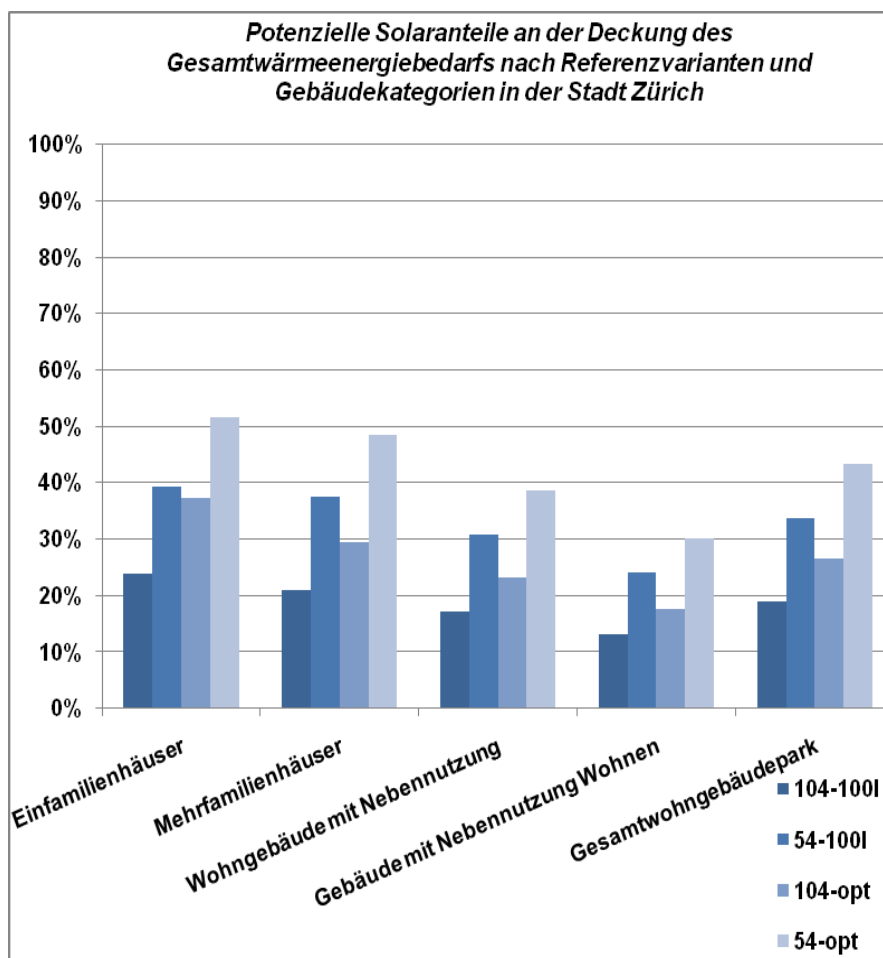


Abbildung 27: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in der Stadt Zürich

3.2 Solaranteile bei Einzelobjekten

Die solaren Deckungsgrade bei Einzelobjekten werden in sechs Solaranteil-Kategorien 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 22: Kategorien der Solaranteil-Kategorien		
Solaranteil-Kategorien	Umschreibung	Solaranteil / Deckungsgrad in % des Gesamtwärmebedarfs (Raumwärme + Brauchwasser)
SolKat_100+	Solare Volldeckung	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 Solaranteil-Kategorien 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 Volldeckung, aber auch bei solaren Deckungsgraden von 50%+.

Im Freiburger Wohngebäudepark steigen die Anteile Objekte mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung (SolKat_100+) von 2% bei der Referenzvariante 104-100I auf 18% resp. 24% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 51% 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 38% bei der Referenzvariante 104-100I auf 70% resp. 63% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 75% bei der Variante 54-opt.

Jedes siebte Gebäude hat kein oder nur ein vernachlässigbares Solarpotenzial.

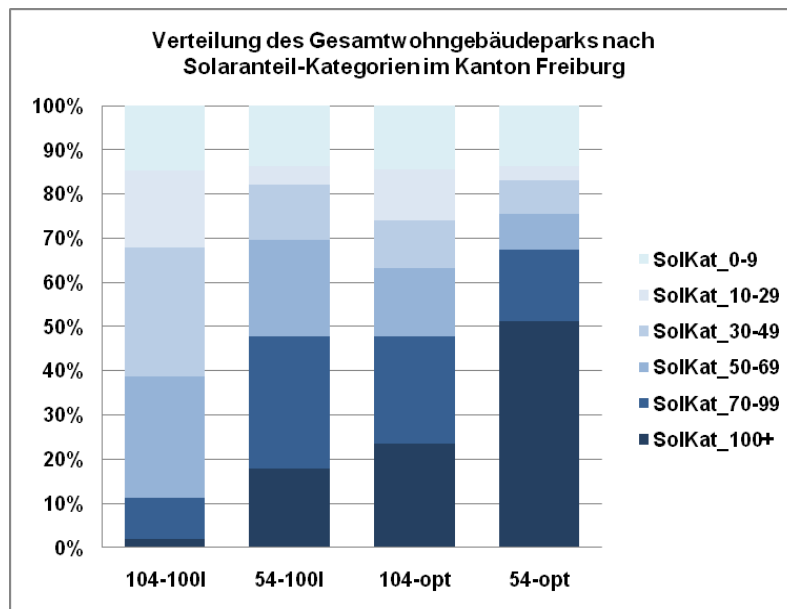


Abbildung 28: Verteilung des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten im Kanton Freiburg.

Tabelle 23: Verteilung in % des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2%	18%	24%	51%
SolKat_70-99	9%	30%	24%	16%
SolKat_50-69	27%	22%	15%	8%
SolKat_30-49	29%	13%	11%	8%
SolKat_10-29	17%	4%	12%	3%
SolKat_0-9	15%	14%	14%	14%

Im Stadtzürcher Gebäudepark bleiben die Anteile Gebäude mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung bei 104-100I, 54-100I resp. 104-opt mit 0%, 1% resp. 2% erst sehr tief und steigen dann bei der Referenzvariante 54-opt auf 16%.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat_50-69, SolKat_70-99 und SolKat_100+) steigen von der Referenzvariante 104-100I von 5% auf 43% resp. 32% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 55% bei der Variante 54-opt.

Je nach Referenzvariante haben 20 bis 28% der Gebäude kein oder nur ein vernachlässigbares Solarpotenzial.

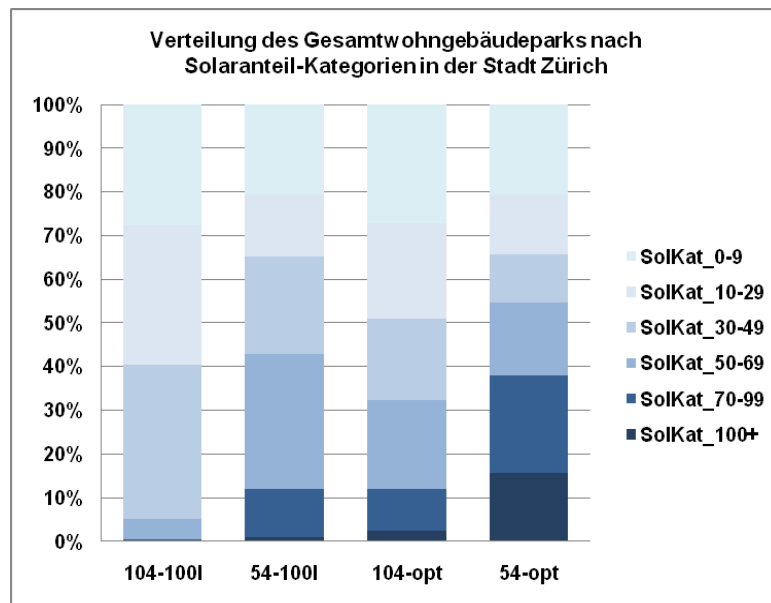


Abbildung 29: Verteilung des Gesamtwohngesamtparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich.

Tabelle 24: Verteilung in % des Gesamtwohngesamtparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	1%	2%	16%
SolKat_70-99	0%	11%	10%	22%
SolKat_50-69	5%	31%	20%	17%
SolKat_30-49	35%	22%	19%	11%
SolKat_10-29	32%	14%	22%	14%
SolKat_0-9	28%	20%	27%	20%

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung betragen für die Einfamilienhäuser 58% im Kanton Freiburg resp. 40% in der Stadt Zürich. Bei den Mehrfamilienhäusern können im Kanton Freiburg 40% und in der Stadt Zürich 9% der Objekte ein Potenzial zur solaren Volldeckung ausweisen (s. Anhang A2 resp. B2).

4 Vergleiche und Schlussfolgerungen

Der neu weiterentwickelte Ansatz erlaubt eine differenzierte und zugleich effiziente Ermittlung des solarthermischen Potenzials im (Wohn)Gebäudepark. Ausgehend vom heute bestehenden Gebäudepark werden die Solarpotenziale entlang zweier Entwicklungspfade bestimmt: i) steigende Energieeffizienz in Gebäuden und ii) leistungsstärkere (Speicher)Systeme bei der Solarthermie.

Der Ansatz ist zum ersten Mal einerseits im grösseren Massstab im Wohngebäudepark des Kantons Freiburg (1000 Objekte) und andererseits im Rahmen einer Reevaluation einer Wohngebäudestichprobe aus der Stadt Zürich (210 Objekte) angewendet worden. Die Studie ermöglicht deshalb einerseits Aussagen zum solarthermischen Potenzial im Allgemeinen und andererseits spezifische Vergleiche zwischen einem eher ländlichen und stark städtischen Wohngebäudepark.

Zusammenfassend werden folgende Aspekte des solarthermischen Potenzials im Wohngebäudepark verglichen:

- Verfügbare Flächen und Flächenindizes
- Energiepotenziale und Solaranteile
- Typische Werte für Durchschnittsobjekte
- Verteilung Gebäudeobjekte nach Solaranteilen

4.1 Verfügbare Flächen und Flächenindizes

Die **Dachflächen-Potenzialindizes** für den Gesamtwohngebäudepark unterscheiden sich zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark nur sehr gering. Das heisst bezogen auf die Gebäudegrundfläche, dass in etwa gleich viel grundsätzlich geeignete Dachfläche vorhanden ist.

Für den Wohngebäudepark des Kantons Freiburg lässt sich ein Dachflächen-Potenzialindex von 32,1% berechnen, d.h. auf 100 m² Gebäudegrundfläche können 32,1 m² Potenzialfläche identifiziert werden.

Im Stadtzürcher Wohngebäudepark beträgt der Dachflächen-Potenzialindex 31,6%, d.h. auf 100 m² Gebäudegrundfläche finden sich 31,6 m² Potenzialfläche.

Unterschiede ergeben sich hingegen zwischen verschiedenen Gebäudetypen untereinander und zwischen den Regionen (s. Tabelle unten).

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 zentralen Indikator, den **solarthermische Potenzialindex**.

**Tabelle 25: Flächenpotenzialindizes nach Gebäudetypen
im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich**

Wohngebäudekategorien	Kanton Freiburg	Stadt Zürich
Einfamilienhäuser	29,9%	24,8%
Mehrfamilienhäuser	30,6%	35,7%
Wohngebäude mit Nebennutzung	36,3%	32,3%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	33,3%	19,7%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>32,1%</i>	<i>31,6%</i>

Während bei den obig erwähnten Dachflächenpotenzialindizes zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark gesamthaft gesehen nur geringe Unterschiede feststellbar sind, zeichnet sich der Freiburger Wohngebäudepark durch einen deutlich höheren solarthermischen Potenzialindex aus. Die Hauptgründe für den höheren solarthermischen Potenzialindex liegen vor allem bei der geringeren Energiebezugsfläche „unterm Dach“ (d.h. mehr Dachfläche pro Energiebezugsfläche) und einem höheren Anteil geneigter, insbesondere südlich ausgerichteter Dächer, was bei der Gewichtung der Dachflächen zu mehr Kollektorflächen führt.

Konkret beläuft sich im Freiburger Wohngebäudepark der solarthermische Potenzialindex auf 11,7%, d.h. pro 100 m² Energiebezugsfläche können 11,7 m² gewichtete Kollektorfläche identifiziert werden.

Beim Stadtzürcher Wohngebäudeparks ergibt sich ein solarthermischer Potenzialindex von 4,8%, d.h. pro 100 m² Energiebezugsfläche können 4,8 m² gewichtete Kollektorfläche ausgemacht werden.

Die solarthermischen Potenzialindizes unterscheiden sich demzufolge zwischen dem Freiburger und Stadtzürcher Wohngebäudepark um einen Faktor von über 2,4.

Die deutlich höheren solarthermischen Potenzialindizes für den Kanton Freiburg gelten für alle Gebäudetypen. So belaufen sich die Indizes bei den Einfamilienhäusern im Kanton Freiburg auf 17,4% und in der Stadt Zürich auf 7,8%, bei den Mehrfamilienhäusern betragen die Indizes 9,4% resp. 5,3% (s. Tabelle unten).

**Tabelle 26: Solarthermische Potenzialindizes nach Gebäudetypen
im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich**

Wohngebäudekategorien	Kanton Freiburg	Stadt Zürich
Einfamilienhäuser	17,4%	7,8%
Mehrfamilienhäuser	9,4%	5,3%
Wohngebäude mit Nebennutzung	11,8%	4,2%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	7,2%	3,1%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>11,7%</i>	<i>4,8%</i>

4.2 Energiepotenziale und Solaranteile

Das Potenzial der nutzbaren thermischen Solarenergie rechnet sich aus der Summe der individuellen Potenziale der Einzelobjekte. In relativen Werten sind die **Solaranteile** bei den „54er“ Referenzvarianten (Wärmeenergiebedarf 30 kWh Raumwärme und 24 kWh Brauchwassererwärmung pro m² Energiebezugsfläche) deutlich höher. Bei den „104er“-Referenzvarianten (Wärmeenergiebedarf 80 kWh Raumwärme und 24 kWh Brauchwassererwärmung pro m² Energiebezugsfläche) fällt wegen des grösseren Wärmeenergieverbrauchs die potenziell nutzbare thermische Solarenergie in absoluten Werten höher aus. Im Vergleich zu den Referenzvarianten mit „100l-Speichern“ schneiden die absoluten und relativen Solarerträge bei den Referenzvarianten mit optimiertem, d.h. leistungsstärkerem Speicher deutlich besser ab.

Dank relativ hohen solarthermischen Potenzialindizes kann der Kanton Freiburg bereits bei herkömmlicher Energietechnik (104-100l), einen solaren Deckungsgrad von 34% erzielen. In der Stadt Zürich beträgt dieser Solaranteil 19%.

Mit höherer Energieeffizienz bei Gebäuden (54-100l) können die Solaranteile um einen Faktor 1,6 resp. 1,8 angehoben werden. Konkret belaufen sich dann die solaren Deckungsgrade für den Kanton Freiburg auf 55% resp. auf 34% für die Stadt Zürich.

Mit optimiertem Speicher (54-opt) kann der solare Deckungsgrad um einen Faktor 1,5 resp. 1,4 erhöht werden, was den Solaranteil im Kanton Freiburg auf 50% und in der Stadt Zürich auf 26% verbessert.

Werden sowohl die Energieeffizienz verbessert als auch der Speicher optimiert, erhöht sich der solare Deckungsgrad insgesamt um einen Faktor 2 resp. 2,3. Für den Wohngebäudepark des Kantons Freiburg resultiert folglich ein Solaranteil von 67% und für den Stadtzürcher Wohngebäudepark ein Solaranteil von 43%.

Tabelle 27: Solaranteile an der Deckung des Wärmebedarfs nach verschiedenen Szenarien für den Gesamtwohnungspark im Kanton Freiburg und in der Stadt Zürich				
Solaranteile	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
Kanton Freiburg	34%	55%	50%	67%
Stadt Zürich	19%	34%	26%	43%

4.3 Typische Werte für Durchschnittsobjekte

Ausgehend aus den Stichprobenobjekten können sowohl für den Kanton Freiburg wie auch für die Stadt Zürich Durchschnittsobjekte gebildet und hinsichtlich ihres solarenergetischen Potenzials berechnet werden.

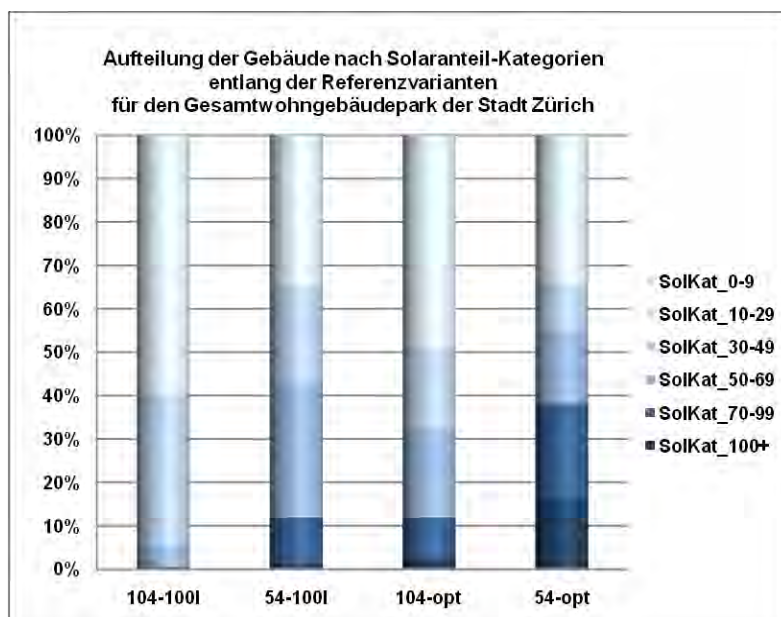
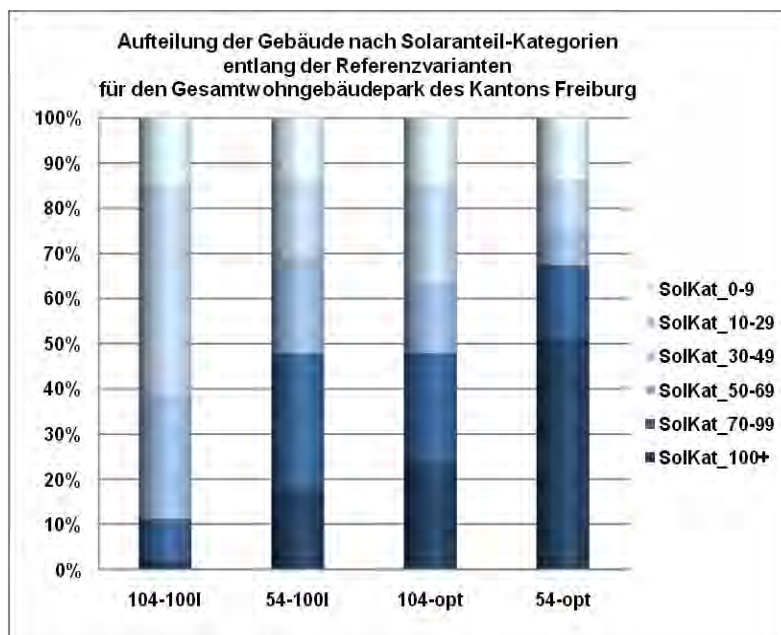
Der günstige solarthermische Potenzialindex führt beim Freiburger Durchschnittsobjekt zu vergleichsweise hohen Solaranteilen, die je nach Referenzvariante von 37 bis 96% ausmachen. Beim Stadtzürcher Durchschnittsobjekt variieren die Solaranteile zwischen 22 und 48%.

Tabelle 28: Werte für Durchschnittsobjekte im Kanton Freiburg und Stadt Zürich		
Merkmale	Kanton Freiburg (Werte gerundet)	Stadt Zürich (Werte gerundet)
Gebäudegrundfläche	199 m ²	171 m ²
Energiebezugsfläche	374 m ²	638 m ²
Geeignete Dachfläche	64 m ²	54 m ²
Gewichtete Kollektorfläche	44 m ²	31 m ²
Dachflächen-Potenzial-Index	32,1%	31,5%
Solarthermischer Potenzial-Index	11,7%	4,8%
<u>Referenzvariante 104-100!:</u>		
Nutzbare solarthermische Energie	14,5 MWh	14,4 MWh
Wärmebedarf	38,9 MWh	66,4 MWh
Solaranteil	37%	22%
<u>Referenzvariante 54-100!:</u>		
Nutzbare solarthermische Energie	12,3 MWh	13,4 MWh
Wärmebedarf	20,2 MWh	34,5 MWh
Solaranteil	61%	39%
<u>Referenzvariante 104-opt:</u>		
Nutzbare solarthermische Energie	23,8 MWh	18,9 MWh
Wärmebedarf	38,9 MWh	66,4 MWh
Solaranteil	61%	28%
<u>Referenzvariante 54-opt:</u>		
Nutzbare solarthermische Energie	19,4 MWh	16,7 MWh
Wärmebedarf	20,2 MWh	34,5 MWh
Solaranteil	96%	48%

4.4 Verteilung der Objekte nach Solaranteilen

Generell kann eine Grosszahl von Objekten grössere und mittlere Solaranteile von 30% und mehr aufweisen. Bei der Referenzvariante 54-100I mit höherer Energieeffizienz bei konventioneller Speicherlösung erreichen 83% der Freiburger und 66% der Stadtzürcher Gebäude Solaranteile von 30% und mehr.

Deutliche Unterschiede ergeben sich bei sehr hohen solaren Deckungsgraden. Hier weist der Kanton Freiburg deutlich grössere Anteile an Gebäuden mit dem Potenzial zur solaren Vollversorgung (SolKat_100+) oder Erreichung hoher solarer Deckungsgrade (von über 70%) auf.



Abbildungen 30 + 31: Die Verteilung der Gebäude nach Solaranteil-Kategorien entlang der Referenzvarianten für den Freiburger resp. Stadtzürcher Wohngebäudepark

Bei der konventionellen Konfiguration 104-100I erreichen 11% der Freiburger Gebäude hohe Solaranteile von 70% und mehr. Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt erzielen bereits rund 48% der Freiburger Gebäude hohe Solaranteile von 70% und mehr. Bei der progressivsten Referenzvariante 54-opt kommen gar 51% der Gebäude auf eine solare Vollversorgung.

Bei der konventionellen Konfiguration 104-100I erreicht nur gerade 1 Objekt unter den 210 Objekten in der Stadt Zürich einen solaren Deckungsgrad von 70% und mehr. Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt kommen rund 12% der Gebäude auf hohe Solaranteile von mindestens 70%. Rund 16% der Gebäude weisen bei der progressivsten Referenzvariante 54-opt das Potenzial zur solaren Vollversorgung aus.

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 durch solarthermisch gedeckt werden kann.
Energiebezugsfläche	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 selbstständiges 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.
Raumwärme oder Heizwärme, solare	Raumwärme oder Heizwärme ist diejenige Solarwärme, welche zur Beheizung der Gebäuderäume verwendet wird.
Solaranteil	s. Deckungsgrad / Deckungsbeitrag solar
Solarthermie	Solarthermie = Solarwärme. Solarthermie ist aktive Nutzung der Sonnenstrahlung zur Wärmegegewinnung.

Referenzen

Energie Schweiz / BFE, Dimensionierung von Sonnenkollektoranlagen, 2006

IEA PVPS, Potential for Building-Integrated Photovoltaics, 2002, Report IEA-PVPS T7-4

Kanton Thurgau, Solaranlagen richtig gut, 2009

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., Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren in der Stadt Zürich, 2007

Solites, saisonalspeicher.de, 2009

Schweizer Heimatschutz, Solaranlagen, Baudenkmäler und Ortsbildschutz, 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, 2009

Anhänge

A Energetische Potenziale im Kanton Freiburg	46
A1 Solaranteile im Wohngebäudepark	46
A2 Solaranteile bei Einzelobjekten	49
A3 Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien	52
B Energetische Potenziale in der Stadt Zürich	62
B1 Solaranteile im Wohngebäudepark	62
B2 Solaranteile bei Einzelobjekten	64
B3 Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien	67

A) Energetische Potenziale im Kanton Freiburg

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

Generell lässt sich feststellen, dass bei den „104er“-Referenzvarianten die potenziell nutzbare thermische Solarenergie in absoluten Werten höher ausfällt. In relativen Werten sind aber die solaren Deckungsgrade bei den „54er“ Referenzvarianten deutlich höher. Im Vergleich zu den Referenzvarianten mit „100l-Speichern“ schneiden die absoluten und relativen Solarerträge bei den Referenzvarianten mit optimiertem Speicher deutlich besser ab.

Unter den 1000 untersuchten Objekten im Wohngebäudepark des Kantons Freiburg beläuft sich der kalkulierte Wärmeenergiebedarf auf insgesamt 38'890 MWh mit Referenzverbrauch 104 kWh / m² EBF resp. 20'193 MWh mit Referenzverbrauch 54 kWh / m² EBF.

Das energetische Potenzial wird unter folgenden Gesichtspunkten dargestellt:

- Solaranteile im Wohngebäudepark: welche Anteile bei der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs kann das solarthermische Potenzial im Gesamtwohnggebäudepark und bei verschiedenen Gebäudekategorien erreichen?
- Solaranteile bei Einzelobjekten: wie viele Gebäude erreichen welche solare Deckungsgrade bei der individuellen, objektbezogenen Wärmeversorgung?
- Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien: welche Energiebeiträge können die Gebäude nach Potenzialkategorien zur Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs leisten?

A1 Solaranteile im Wohngebäudepark

Der potenzielle Solaranteil an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Freiburger Wohngebäudepark erreicht 34% bei der Referenzvariante 104-100l und beinahe doppelt so viel, nämlich 67%, bei der Referenzvariante 54-opt.

In Energiewerten gerechnet zeichnet sich folgendes Bild: Die nutzbare Solarenergie kommt auf 13'122 MWh bei der 104-100l Referenzvariante und steigt auf 19'442 MWh bei der 104-opt Referenzvariante. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 38'890 MWh ergeben sich hier Solaranteile von 34 resp. 50%. Bei der Referenzvariante 54-100l beläuft sich die nutzbare Solarenergie auf 11'076 MWh, bei der Referenzvariante 54-opt ergeben sich 13'464 MWh. Bei einem kalkulierten, vergleichsweise tiefen Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 20'193 MWh erreichen die Solaranteile vergleichsweise hohe 55 resp. 67%.

Die potenziellen Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Freiburger Wohngebäudepark fallen für die Einfamilienhäuser deutlich und für die Wohngebäude mit Nebennutzung knapp überdurchschnittlich aus. Un-

terdurchschnittlich sind die Solaranteile bei Mehrfamilienhäuser und Gebäude mit Nebennutzen Wohnen. So bewegen sich die Solaranteile von Einfamilienhäusern zwischen 42% bei der Referenzvariante 104-100I und 75% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Mehrfamilienhäuser weisen Solaranteile von 29% bei der Referenzvariante 104-100I bis 57% bei der Referenzvariante 54-opt aus.

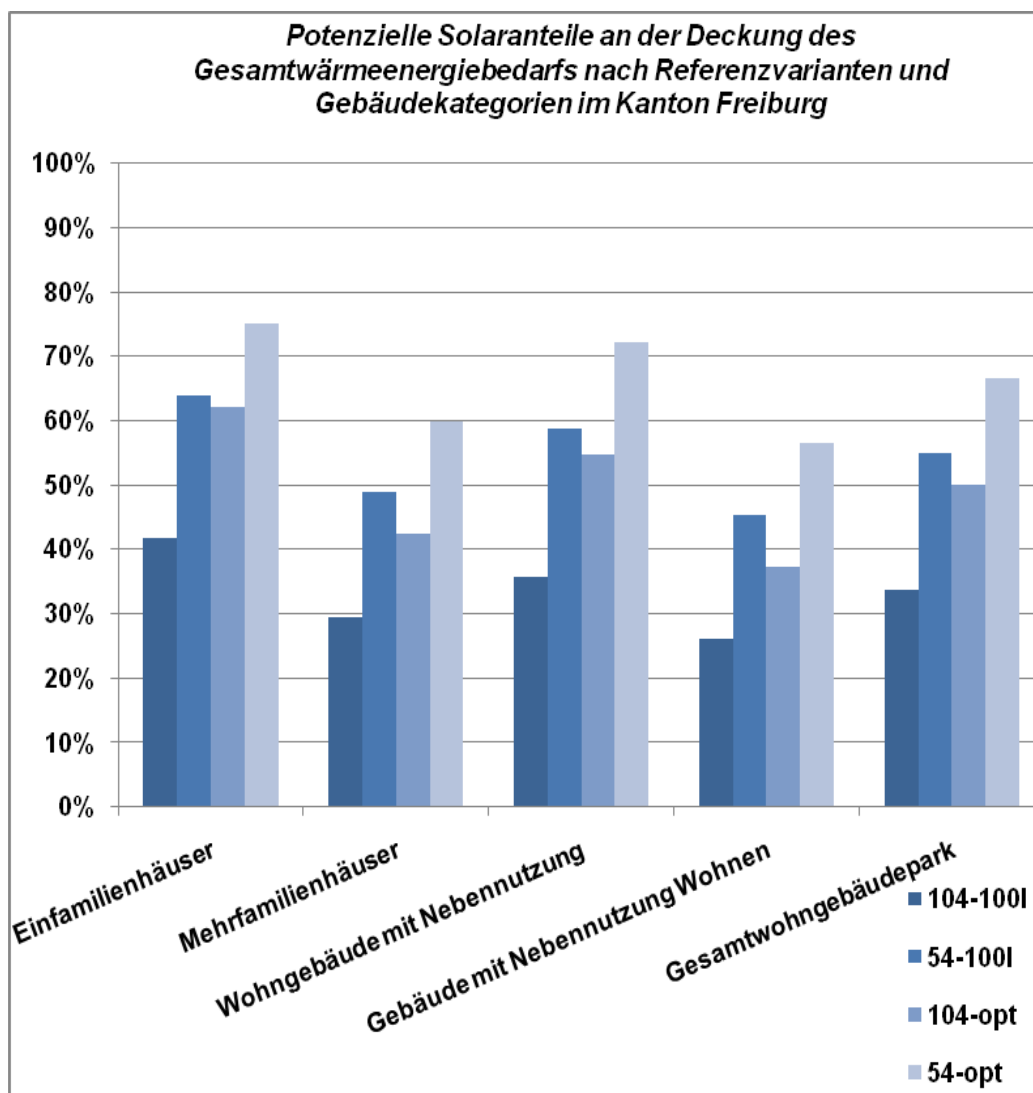


Abbildung A1: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien im Kanton Freiburg

**Tabelle A1: Kalkulierter Wärmeenergiebedarf der 1000 untersuchten Objekte
nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in MWh
für den Kanton Freiburg**

Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100l 104-opt	54-100l 54-opt
Einfamilienhäuser	9'759	5'067
Mehrfamilienhäuser	10'214	5'304
Wohngebäude mit Nebennutzung	11'392	5'915
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	7'525	3'907
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>38'890</i>	<i>20'193</i>

**Tabelle A2: Potenzial nutzbarer thermischer Solarenergie der 1000 untersuchten Objekte
nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in MWh für den Kanton Freiburg**

Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	4'081	3'237	6'063	3'808
Mehrfamilienhäuser	2'999	2'598	4'333	3'178
Wohngebäude mit Nebennutzung	4'074	3'471	6'241	4'265
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	1'969	1'771	2'804	2'212
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>13'122</i>	<i>11'076</i>	<i>19'442</i>	<i>13'464</i>

**Tabelle A3: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und
Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in % für den Kanton Freiburg**

Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	42%	64%	62%	75%
Mehrfamilienhäuser	29%	49%	42%	60%
Wohngebäude mit Nebennutzung	36%	59%	55%	72%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	26%	45%	37%	57%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>34%</i>	<i>55%</i>	<i>50%</i>	<i>67%</i>

A2 Solaranteile bei Einzelobjekten

Die möglichen solaren Deckungsgrade bei Einzelobjekten werden in sechs Solaranteil-Kategorien eingeteilt (s. Tabelle unten). 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.

Einen hohen Solardeckungsgrad (mind. 70%) können in der Referenzvariante 104-100I rund 11% der Objekte erzielen, wobei nur wenige Objekte das Potenzial für eine „solare Volldeckung“ haben. 56% der Objekte weisen ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) bis grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial auf.

Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt erreichen 48% der Objekte einen hohen Solaranteil von mindestens 70%. Ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) bis grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial verzeichnen 35% der Objekte bei der Referenzvariante 54-100I und 26% bei der Referenzvariante 104-opt.

In der Referenzvariante 54-opt weisen zwei Drittel der Objekte das Potenzial für einen hohen Solardeckungsgrad (mind. 70%) aus. Weitere 16% der Objekte kommen auf ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) bis grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Jedes siebte Gebäude hat kein oder nur ein vernachlässigbares Solarpotenzial.

Tabelle A4: Kategorien der Solaranteil-Kategorien		
Solaranteil-Kategorien	Umschreibung	Solaranteil / Deckungsgrad in % des Gesamt-wärmebedarfs (Raumwärme + Brauchwasser)
SolKat_100+	Solare Volldeckung	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 Solaranteil-Kategorien 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 Volldeckung, aber auch bei solaren Deckungsgraden von 50%+.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung (SolKat_100+) steigen von 2% bei der Referenzvariante 104-100I auf 18% resp. 24% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 51% 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 38% bei der Referenzvariante 104-100I auf 70% resp. 63% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 75% bei der Variante 54-opt.

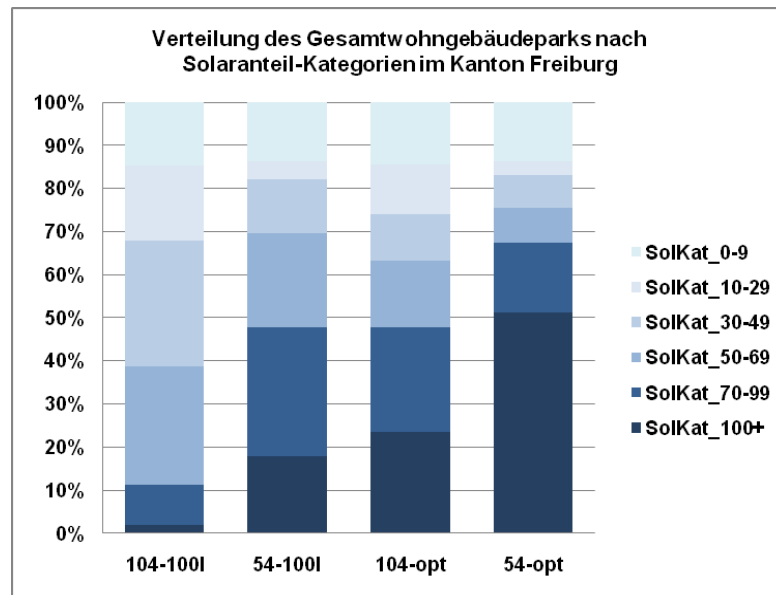


Abbildung A2: Verteilung des Gesamtwohnbäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten im Kanton Freiburg.

Tabelle A5: Verteilung in % des Gesamtwohnbäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2%	18%	24%	51%
SolKat_70-99	9%	30%	24%	16%
SolKat_50-69	27%	22%	15%	8%
SolKat_30-49	29%	13%	11%	8%
SolKat_10-29	17%	4%	12%	3%
SolKat_0-9	15%	14%	14%	14%

Tabelle A6: Anzahl Objekte des Gesamtwohnbäudeparks (1000 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	19	179	236	513
SolKat_70-99	93	300	243	161
SolKat_50-69	274	218	154	80
SolKat_30-49	294	125	108	77
SolKat_10-29	173	41	115	33
SolKat_0-9	147	137	144	136

Bei den Einfamilienhäusern sind die Anteile Gebäude mit höherem Solardeckungsgrad überdurchschnittlich gross. Die Anteile Einfamilienhäuser mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung (SolKat_100+) steigen von 3% bei der Referenzvariante 104-100I auf 21% resp. 28% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 58% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Anteile Einfamilienhäuser mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat_50-69, SolKat_70-99 und SolKat_100+) steigen von 45% bei der Referenzvariante 104-100I auf 74% resp. 69% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 79% bei der Variante 54-opt.

Hingegen sind bei den Mehrfamilienhäusern die Anteile Gebäude mit höherem Solardeckungsgrad unterdurchschnittlich, aber immer noch beachtlich. Bei der Referenzvariante 54-opt betragen die Anteile Gebäude mit solarer Volldeckung 40% und mit mind. 50%-igem so-larem Deckungsgrad rund 69%.

Tabelle A7: Verteilung in % der Einfamilienhäuser (585 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	3%	21%	28%	58%
SolKat_70-99	11%	33%	26%	14%
SolKat_50-69	31%	20%	15%	7%
SolKat_30-49	28%	9%	9%	5%
SolKat_10-29	12%	2%	7%	1%
SolKat_0-9	15%	15%	15%	15%

Tabelle A8: Verteilung in % der Mehrfamilienhäuser (223 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	1%	13%	16%	40%
SolKat_70-99	6%	25%	22%	18%
SolKat_50-69	22%	23%	13%	11%
SolKat_30-49	29%	22%	16%	14%
SolKat_10-29	27%	4%	19%	4%
SolKat_0-9	14%	13%	14%	13%

A3 Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien

Die solarthermische Energieproduktion kann je nach Referenzvariante einen Beitrag zur Wärmeenergieversorgung von 34 bis 67% leisten. Die genauere Herkunft der solarthermischen Energie kann nach Solaranteil-Kategorien unterschieden werden. Dadurch kann aufgezeigt werden, ob die Solarenergie vor allem von Anlagen mit höheren, mittleren oder niedrigeren Solaranteilen beigesteuert wird.

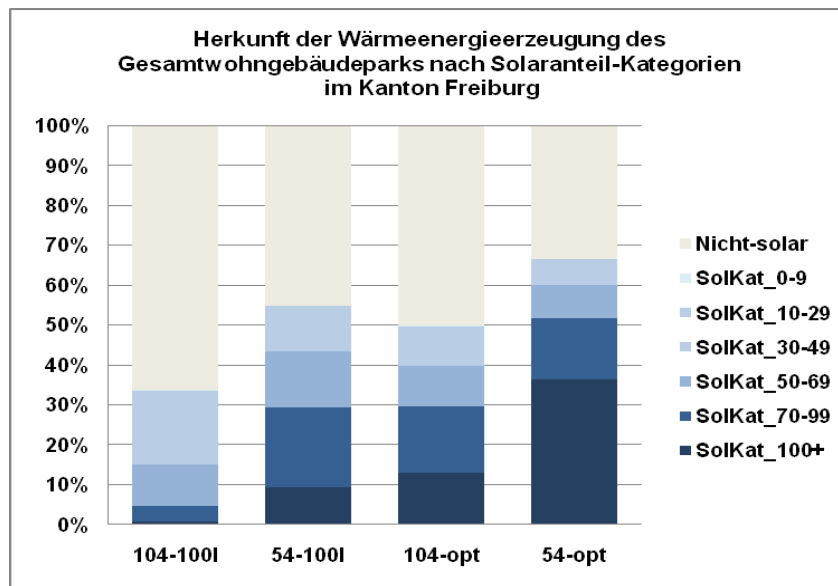


Abbildung A3: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Die Herkunft der Wärmeenergieerzeugung sieht bei den vier Referenzvarianten wie folgt aus:

Bei der Referenzvariante 104-100I beläuft sich der solarthermische Gesamtbeitrag (13'122 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 38'890 MWh) auf rund einen Drittel (s. blau gefärbter Teil der Säule in obiger Abbildung). Davon kommen rund zwei Drittel von den Objekten mit einem mittleren (Solaranteil 30 bis 49%) bis grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial (4'098 MWh resp. 4'655 MWh). Die Objekte mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% können einen solarthermischen Energiebeitrag von 5% leisten, knapp weniger als die Objekte mit kleinem Solardeckungsgrad.

Bei der Referenzvariante 54-100I umfasst der solarthermische Gesamtbeitrag (11'076 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 20'193 MWh) rund 55%. Davon kommt deutlich über die Hälfte (1'899 + 4'009 MWh) von den Objekten mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70%. Zwei Fünftel stammen von Objekten mit mittlerem (Solaranteil 30 bis 49%) bis grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Bei der Referenzvariante 104-opt kann das Solarpotenzial (19'442 MWh) insgesamt rund die Hälfte zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 38'890 MWh) beitragen. 60% stammt von den Objekten mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% (5'061 + 6'509 MWh). Einen Drittel liefern Objekte mit mittlerem (Solaranteil 30 bis 49%) bis grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Bei der Referenzvariante 54I-opt schliesslich steigt der solarthermische Gesamtbeitrag (13'464 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 20'193 MWh) auf rund zwei Drittel. Die Objekte mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% steuern hier über drei Viertel der Solarenergie bei (7'339 + 3'095 MWh). Einen Fünftel erbringen Objekte mit mittlerem (Solaranteil 30 bis 49%) bis grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Der Vergleich zwischen den vier Referenzvarianten zeigt, dass die Objekte mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% einen Beitrag von 5% (1'797 MWh) bei der Referenzvariante 104-100I, rund 30% (5'908 MWh resp. 11'570 MWh) bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt und knapp die Hälfte (10'434 MWh) bei der Referenzvariante 54-opt zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs leisten können.

Tabelle A9: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 1000 untersuchten Objekte des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	1%	9%	13%	36%
SolKat_70-99	4%	20%	17%	15%
SolKat_50-69	11%	14%	10%	8%
SolKat_30-49	12%	9%	6%	5%
SolKat_10-29	6%	2%	4%	2%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	66%	45%	50%	33%

Tabelle A10: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 1000 untersuchten Objekte des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	275	1'899	5'061	7'339
SolKat_70-99	1'522	4'009	6'509	3'095
SolKat_50-69	4'098	2'853	3'908	1'683
SolKat_30-49	4'655	1'846	2'402	934
SolKat_10-29	2'478	455	1'467	414
SolKat_0-9	94	15	94	0
<i>Gesamtsolar</i>	<i>13'122</i>	<i>11'076</i>	<i>19'442</i>	<i>13'464</i>
Nicht-solar	25'767	9'117	19'448	6'729
<i>Wärmeenergiebedarf</i>	<i>38'890</i>	<i>20'193</i>	<i>38'890</i>	<i>20'193</i>

Einfamilienhäuser im Kanton Freiburg – Tabellen und Grafiken

Tabelle A11: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 585 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	222	991	2'505	2'762
SolKat_70-99	779	1'352	2'095	669
SolKat_50-69	1'636	657	913	244
SolKat_30-49	1'146	210	376	114
SolKat_10-29	292	27	173	19
SolKat_0-9	4	0	2	0
Solarenergie gesamt	4'081	3'237	6'063	3'808
Wärmeenergiebedarf	9'759	5'067	9'759	5'067

Tabelle A12: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 585 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2%	20%	26%	55%
SolKat_70-99	8%	27%	21%	13%
SolKat_50-69	17%	13%	9%	5%
SolKat_30-49	12%	4%	4%	2%
SolKat_10-29	3%	1%	2%	0%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	58%	36%	38%	25%

Tabelle A13: Verteilung der 585 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	17	125	164	338
SolKat_70-99	64	192	153	84
SolKat_50-69	179	119	86	39
SolKat_30-49	166	50	52	29
SolKat_10-29	69	12	42	8
SolKat_0-9	90	87	88	87

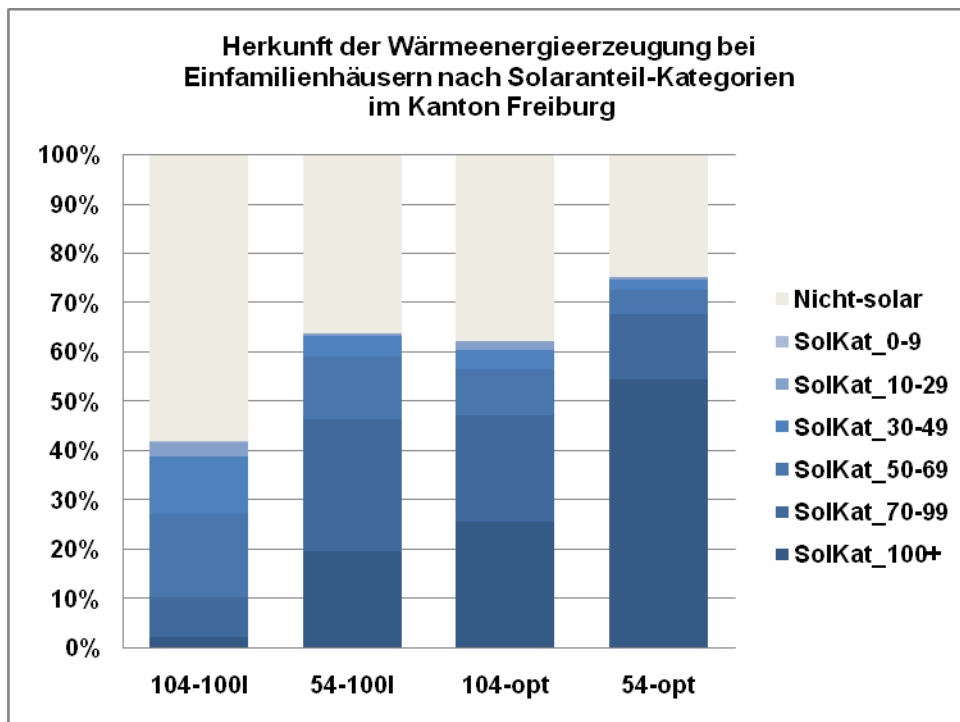


Abbildung A4: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Einfamilienhäusern nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

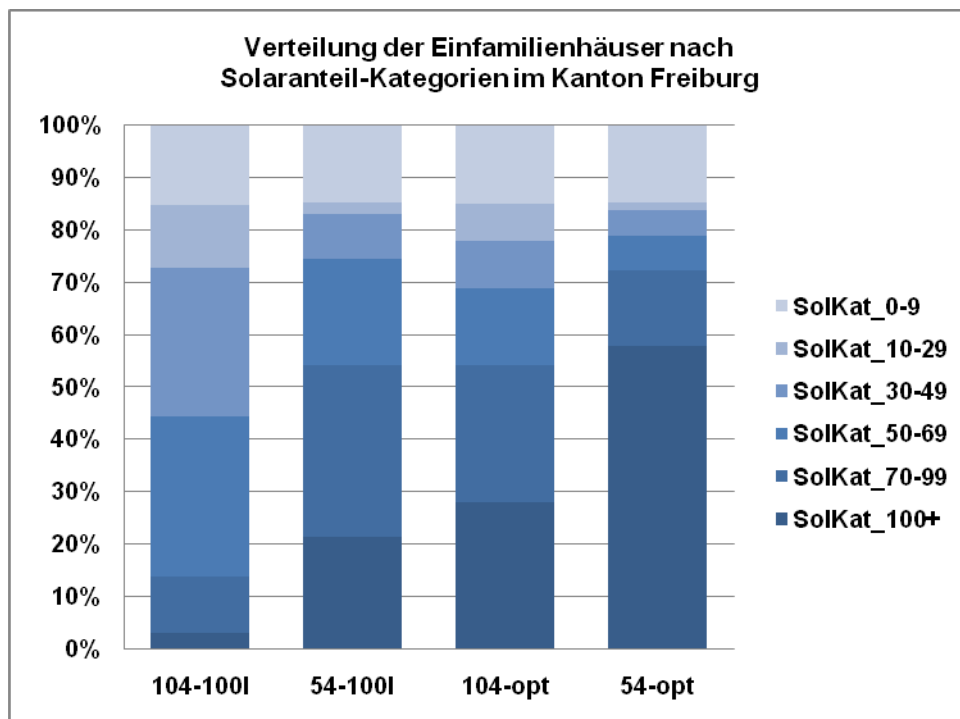


Abbildung A5: Verteilung der Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Mehrfamilienhäuser im Kanton Freiburg – Tabellen und Grafiken

Tabelle A14: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 223 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	52	343	831	1'350
SolKat_70-99	251	758	1'314	859
SolKat_50-69	827	746	819	377
SolKat_30-49	1'038	635	722	474
SolKat_10-29	802	115	616	119
SolKat_0-9	29	0	31	0
Solarenergie gesamt	2'999	2'598	4'333	3'178
Wärmeenergiebedarf	10'214	5'304	10'214	5'304

Tabelle A15: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 223 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	1%	6%	8%	25%
SolKat_70-99	2%	14%	13%	16%
SolKat_50-69	8%	14%	8%	7%
SolKat_30-49	10%	12%	7%	9%
SolKat_10-29	8%	2%	6%	2%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	71%	51%	58%	40%

Tabelle A16: Verteilung der 223 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	2	29	36	89
SolKat_70-99	14	56	49	41
SolKat_50-69	50	51	30	25
SolKat_30-49	65	49	35	31
SolKat_10-29	61	10	42	9
SolKat_0-9	31	28	31	28

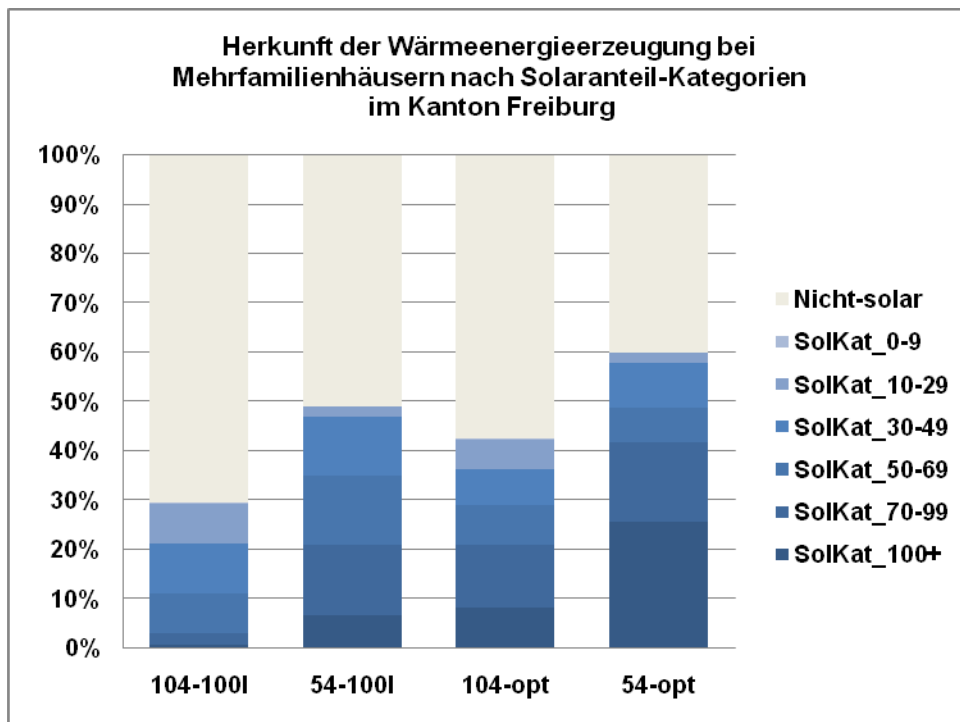


Abbildung A6: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Mehrfamilienhäusern nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

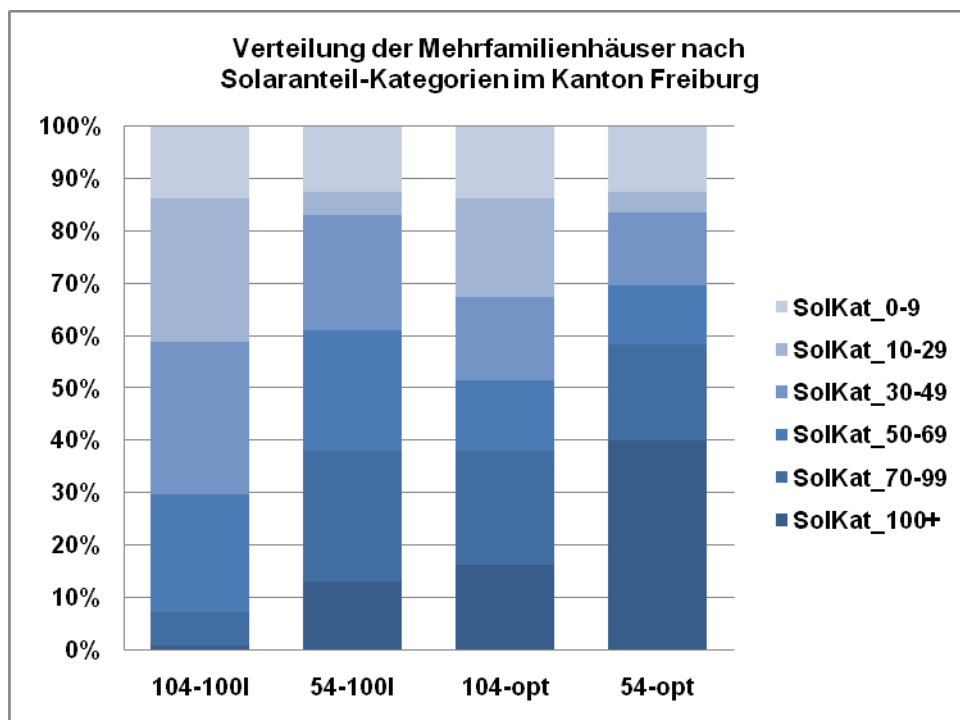


Abbildung A7: Verteilung der Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Wohngebäude mit Nebennutzung im Kanton Freiburg – Tabellen und Grafiken

Tabelle A17: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 137 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	449	1'484	2'454
SolKat_70-99	370	1'429	2'210	1'271
SolKat_50-69	1'489	1'180	1'775	266
SolKat_30-49	1'745	281	469	168
SolKat_10-29	420	118	254	107
SolKat_0-9	49	15	48	0
Solarenergie gesamt	4'074	3'471	6'241	4'265
Wärmeenergiebedarf	11'392	5'915	11'392	5'915

Tabelle A18: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 137 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	8%	13%	41%
SolKat_70-99	3%	24%	19%	21%
SolKat_50-69	13%	20%	16%	4%
SolKat_30-49	15%	5%	4%	3%
SolKat_10-29	4%	2%	2%	2%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	64%	41%	45%	28%

Tabelle A19: Verteilung der 137 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	22	32	69
SolKat_70-99	14	41	31	30
SolKat_50-69	37	37	30	8
SolKat_30-49	48	15	13	9
SolKat_10-29	22	9	16	9
SolKat_0-9	16	13	15	12

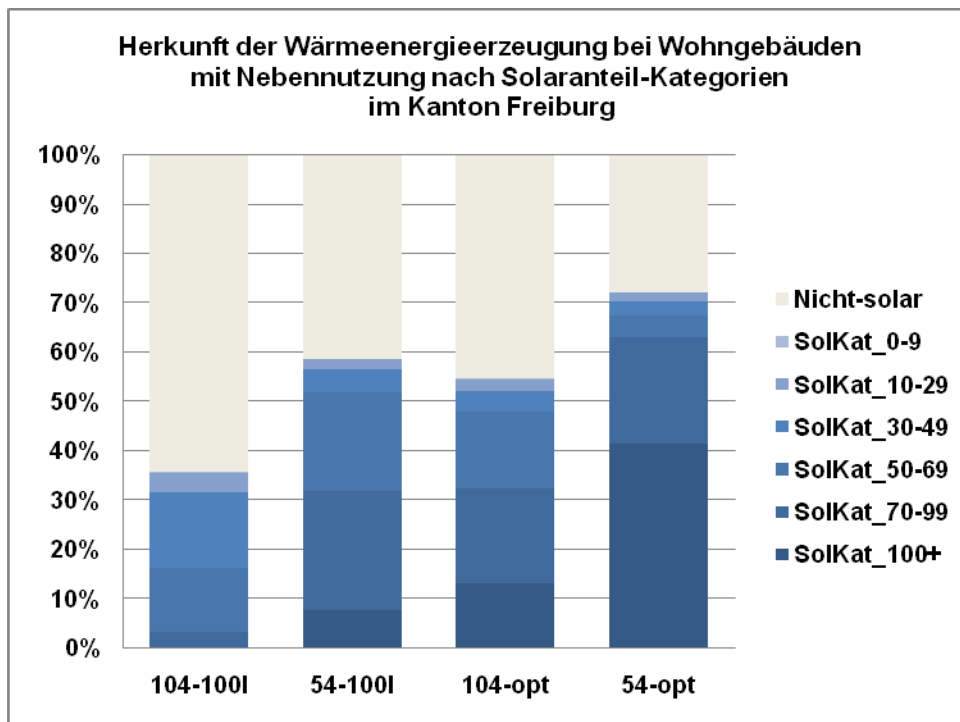


Abbildung A8: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Wohngebäuden mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

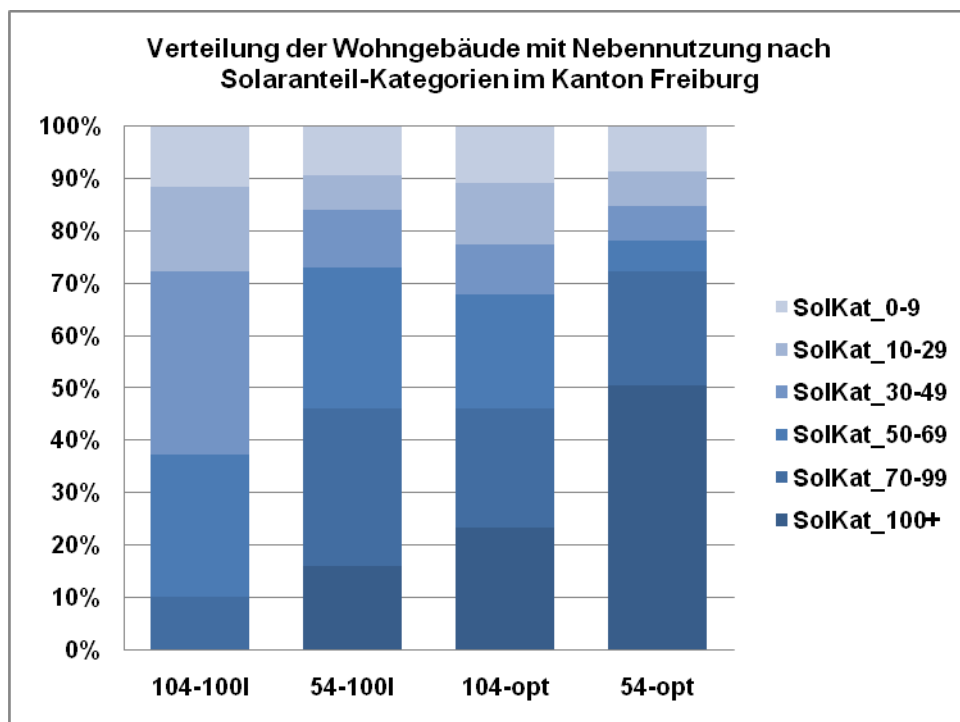


Abbildung A9: Verteilung der Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Gebäude mit Nebennutzung Wohnen im Kanton Freiburg – Tabellen und Grafiken

Tabelle A20: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 55 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	115	241	772
SolKat_70-99	121	470	890	296
SolKat_50-69	147	270	401	796
SolKat_30-49	726	720	835	179
SolKat_10-29	963	196	423	169
SolKat_0-9	12	0	13	0
Solarenergie gesamt	1'969	1'771	2'804	2'212
Wärmeenergiebedarf	7'525	3'907	7'525	3'907

Tabelle A21: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 55 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	3%	3%	20%
SolKat_70-99	2%	12%	12%	8%
SolKat_50-69	2%	7%	5%	20%
SolKat_30-49	10%	18%	11%	5%
SolKat_10-29	13%	5%	6%	4%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	74%	55%	63%	43%

Tabelle A22: Verteilung der 55 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für den Kanton Freiburg

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	3	4	17
SolKat_70-99	1	11	10	6
SolKat_50-69	8	11	8	8
SolKat_30-49	15	11	8	8
SolKat_10-29	21	10	15	7
SolKat_0-9	10	9	10	9

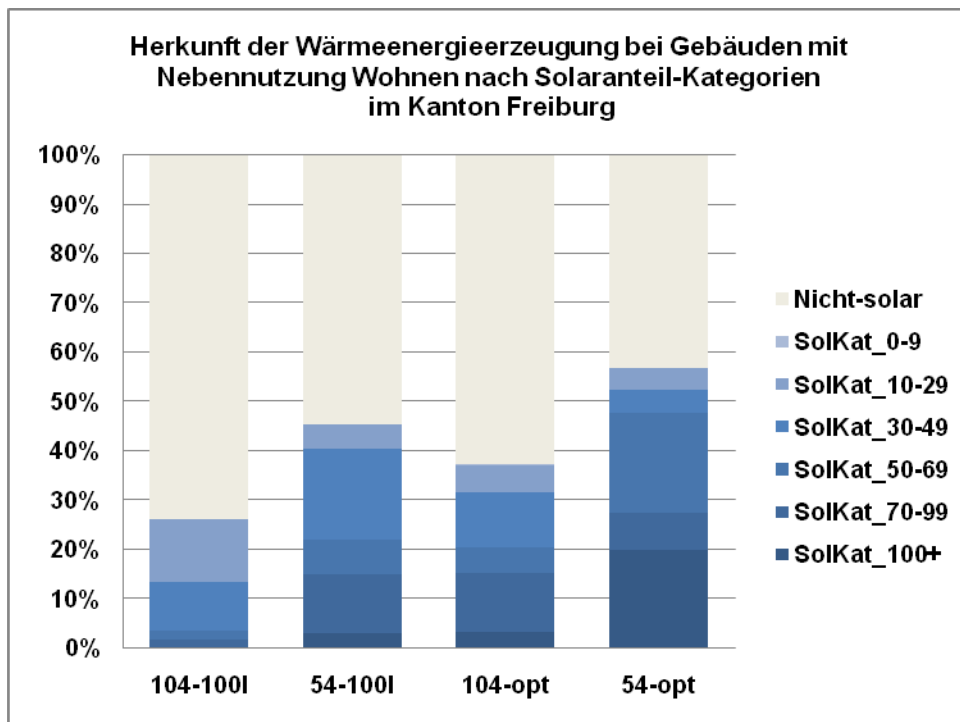


Abbildung 10: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Gebäuden mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

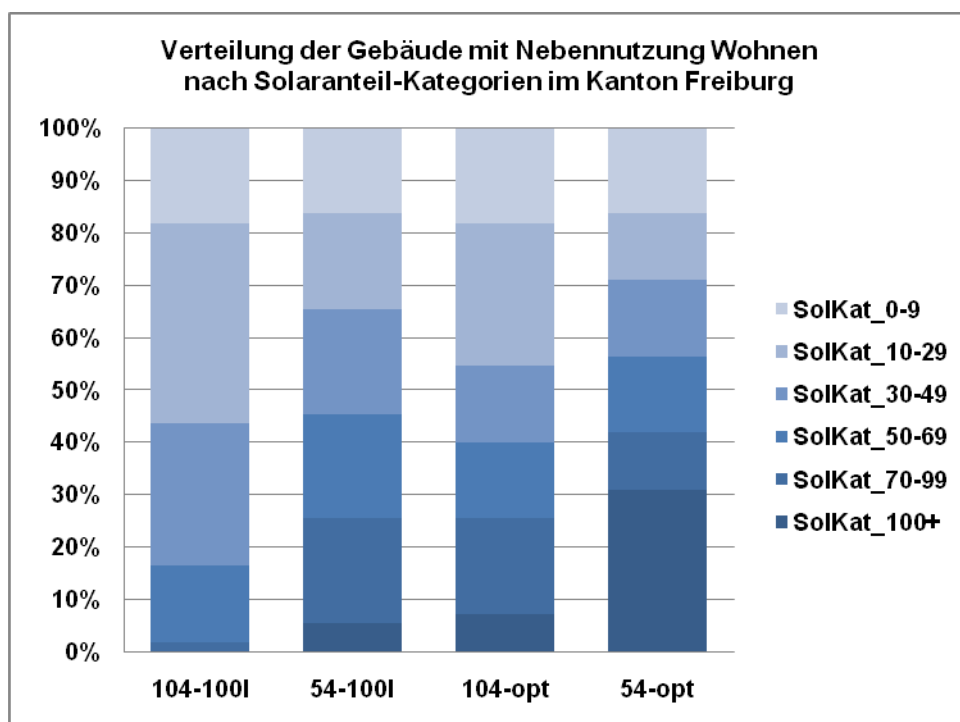


Abbildung A11: Verteilung der Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien im Kanton Freiburg

B) Energetische Potenziale in der Stadt Zürich

Wie im Falle des Kantons Freiburg (Kapitel 3) rechnet sich das Potenzial der nutzbaren thermischen Solarenergie aus der Summe der individuellen Potenziale der untersuchten Einzelobjekte.

Generell lässt sich feststellen, dass bei den „104er“-Referenzvarianten die potenziell nutzbare thermische Solarenergie in absoluten Werten höher ausfällt. In relativen Werten sind aber die Solaranteile bei den „54er“ Referenzvarianten deutlich höher. Im Vergleich zu den Referenzvarianten mit „100l-Speichern“ schneiden die absoluten und relativen Solarerträge bei den Referenzvarianten mit optimiertem Speicher deutlich besser ab.

Unter den 210 untersuchten Objekten im Wohngebäudepark der Stadt Zürich beläuft sich der kalkulierte Wärmeenergiebedarf auf insgesamt 13'923 MWh mit Referenzverbrauch 104 kWh / m² EBF resp. 7'229 MWh mit Referenzverbrauch 54 kWh / m² EBF.

Das energetische Potenzial wird unter folgenden Gesichtspunkten dargestellt:

- Solaranteile im Wohngebäudepark: welche Anteile bei der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs kann das solarthermische Potenzial im Gesamtwohnggebäudepark und bei verschiedenen Gebäudekategorien erreichen?
- Solaranteile bei Einzelobjekten: wie viele Gebäude erreichen welche solare Deckungsgrade bei der individuellen, objektbezogenen Wärmeversorgung?
- Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien: welche Energiebeiträge können die Gebäude nach Potenzialkategorien zur Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs leisten?

B1 Solaranteile im Wohngebäudepark

Die nutzbare Solarenergie beträgt je nach Referenzvariante zwischen 2'443 und 3'679 MWh und Solaranteilen zwischen 19 und 43%. Genauer: die nutzbare Solarenergie beziffert sich auf 2'643 MWh bei der 104-100l Referenzvariante und steigt auf 3'679 MWh bei der 104-opt Referenzvariante. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarf (Raumwärme und Brauchwasser) von 13'923 MWh ergeben sich hier Solaranteile von 19 resp. 26%. Bei der Referenzvariante 54-100l berechnet sich die nutzbare Solarenergie auf 2'443 MWh, bei der Referenzvariante 54-opt ergeben sich 3'128 MWh. Bei einem kalkulierten Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) von 20'193 MWh belaufen sich die Solaranteile auf 34 resp. 43%.

Der potenzielle Solaranteil an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Stadtzürcher Wohngebäudepark erhöht sich um mehr als das Doppelte von 19% bei der Referenzvariante 104-100l auf 43% bei der Referenzvariante 54-opt.

Die potenziellen Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) im Stadtzürcher Wohngebäudepark fallen für die Einfamilienhäuser

und Mehrfamilienhäuser überdurchschnittlich aus. So bewegen sich die Solaranteile von Einfamilienhäusern von 24% bei der Referenzvariante 104-100I auf bis zu 52% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Mehrfamilienhäuser weisen Solaranteile von 21% bei der Referenzvariante 104-100I bis 48% bei der Referenzvariante 54-opt aus.

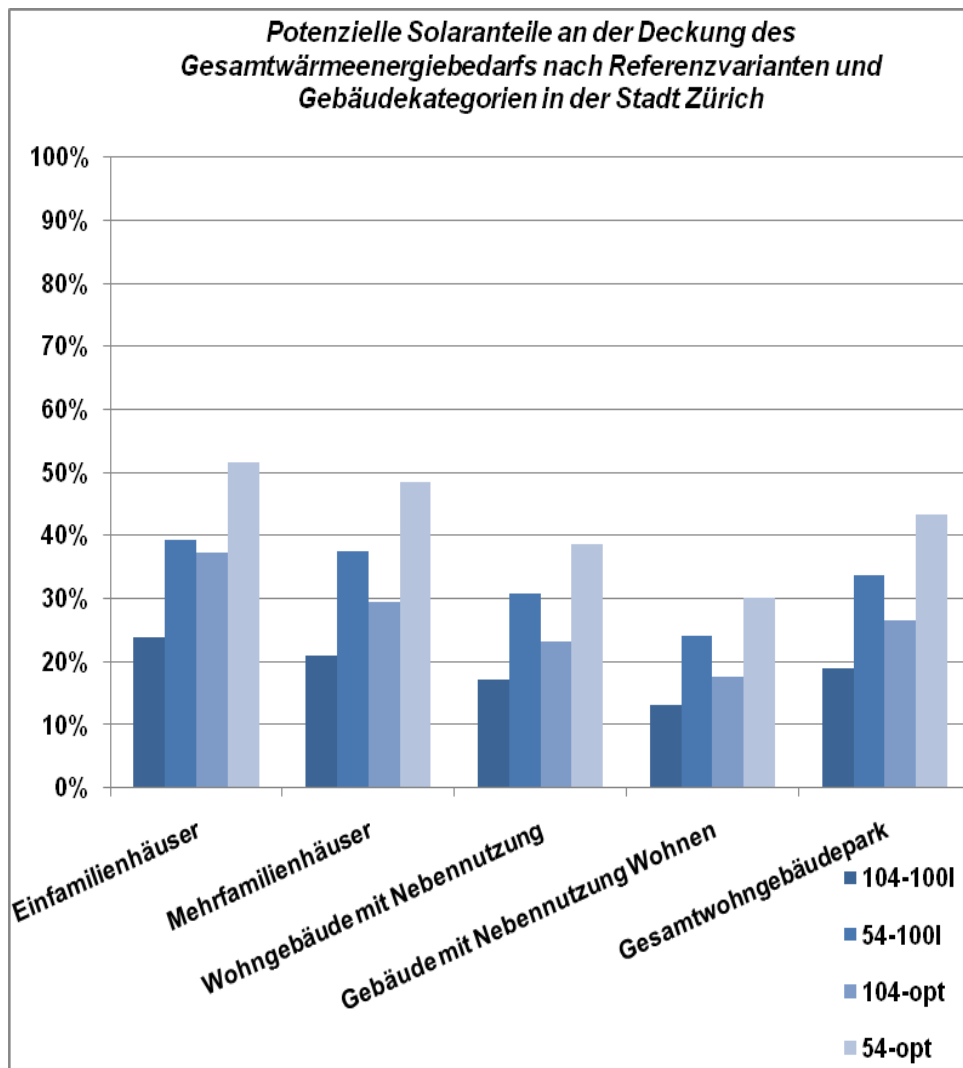


Abbildung B1: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in der Stadt Zürich

Tabelle B1: Kalkulierter Wärmeenergiebedarf der 210 untersuchten Objekte nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in MWh in der Stadt Zürich		
Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100I 104-opt	54-100I 54-opt
Einfamilienhäuser	823	427
Mehrfamilienhäuser	7'112	3'693
Wohngebäude mit Nebennutzung	4'134	2'147
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	1'854	963
Gesamtwohngebäudepark	13'923	7'229

Tabelle B2: Potenzial nutzbarer thermischer Solarenergie der 210 untersuchten Objekte nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in MWh für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	197	168	306	220
Mehrfamilienhäuser	1'494	1'382	2'091	1'790
Wohngebäude mit Nebennutzung	708	661	956	829
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	245	232	325	289
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>2'643</i>	<i>2'443</i>	<i>3'679</i>	<i>3'128</i>

Tabelle B3: Potenzielle Solaranteile an der Deckung des Gesamtwärmeenergiebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) nach Referenzvarianten und Gebäudekategorien in % für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Gebäudekategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
Einfamilienhäuser	24%	39%	37%	52%
Mehrfamilienhäuser	21%	37%	29%	48%
Wohngebäude mit Nebennutzung	17%	31%	23%	39%
Gebäude mit Nebennutzung Wohnen	13%	24%	18%	30%
<i>Gesamtwohngebäudepark</i>	<i>19%</i>	<i>34%</i>	<i>26%</i>	<i>43%</i>

B2 Solaranteile bei Einzelobjekten

Die möglichen solaren Deckungsgrade bei Einzelobjekten werden in sechs Solaranteil-Kategorien eingeteilt (s. Tabelle unten). 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 B4: Kategorien der Solaranteil-Kategorien		
Solaranteil-Kategorien	Umschreibung	Solaranteil / Deckungsgrad in % des Gesamtwärmebedarfs (Raumwärme + Brauchwasser)
SolKat_100+	Solare Volldeckung	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%

Einen hohen Solardeckungsgrad (mind. 70%) kann in der Referenzvariante 104-100I nur gerade ein einziges Objekte erreichen. 35% der Objekte weisen ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) und 5% ein grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial auf.

Bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt erreichen 12% der Objekte einen hohen Solaranteil. Ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) bis grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial verzeichnen 39% der Objekte bei der Referenzvariante 54-100I und 53% bei der Referenzvariante 104-opt.

In der Referenzvariante 54-opt weisen 38% der Objekte das Potenzial für einen hohen Solardeckungsgrad (mind. 70%) aus. Weitere 28% der Objekte kommen auf ein mittleres (Solaranteil 30 bis 49%) bis grosses (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Je nach Referenzvariante haben 20 bis 28% der Gebäude kein oder nur ein vernachlässigbares Solarpotenzial.

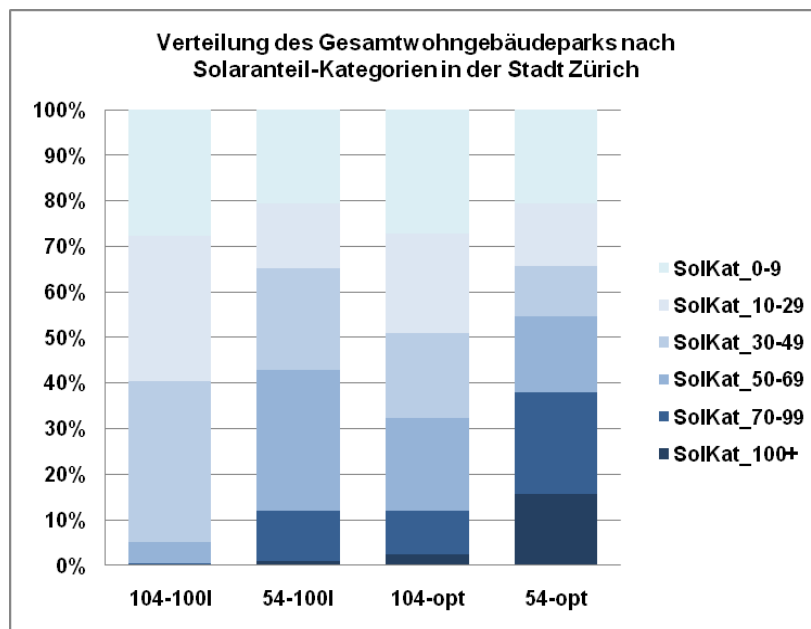


Abbildung B2: Verteilung des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich.

Aus der Perspektive der Solaranteil-Kategorien lässt sich der wachsende Anteil an Gebäude mit höherem Solaranteil dank höherer Energieeffizienz und optimiertem Speicher darstellen. Dies zeigt sich in der Stadt Zürich beim Potenzial zur solaren Volldeckung und insbesondere bei solaren Deckungsgraden von 50%+.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung (SolKat_100+) bleiben bei 104-100I, 54-100I resp. 104-opt mit 0%, 1% resp. 2% erst sehr tief und steigen bei der Referenzvariante 54-opt auf 16%.

Die Anteile Gebäude mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat_50-69, SolKat_70-99 und SolKat_100+) steigen von der Referenzvariante 104-100I von 5% auf 43% resp. 32% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 55% bei der Variante 54-opt.

Tabelle B5: Verteilung in % des Gesamtwohnbäudeparks nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	1%	2%	16%
SolKat_70-99	0%	11%	10%	22%
SolKat_50-69	5%	31%	20%	17%
SolKat_30-49	35%	22%	19%	11%
SolKat_10-29	32%	14%	22%	14%
SolKat_0-9	28%	20%	27%	20%

Tabelle B6: Anzahl Objekte des Gesamtwohnbäudeparks (210 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	2	5	33
SolKat_70-99	1	23	20	47
SolKat_50-69	10	65	43	35
SolKat_30-49	74	47	39	23
SolKat_10-29	67	30	46	29
SolKat_0-9	58	43	57	43

Bei den Einfamilienhäusern sind die Anteile Gebäude mit höherem Solardeckungsgrad überdurchschnittlich gross. Die Anteile Einfamilienhäuser mit dem Potenzial zur solaren Volldeckung (SolKat_100+) steigen von der Referenzvariante 104-100I von 0% auf 4% resp. 8% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 40% bei der Referenzvariante 54-opt. Die Anteile Einfamilienhäuser mit dem Potenzial für solare Deckungsbeiträge von mindestens 50% (SolKat_50-69, SolKat_70-99 und SolKat_100+) steigen von der Referenzvariante 104-100I von 17% auf 66% resp. 60% bei den Varianten 54-100I resp. 104-opt und schliesslich auf 71% bei der Variante 54-opt.

Unter den Mehrfamilienhäusern betragen bei der Referenzvariante 54-opt die Anteile Gebäude mit solarer Volldeckung 9% und mit mind. 50%-igem solarem Deckungsgrad rund 58%.

Tabelle B7: Verteilung in % der Einfamilienhäuser (48 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	4%	8%	40%
SolKat_70-99	2%	29%	25%	23%
SolKat_50-69	15%	33%	27%	8%
SolKat_30-49	50%	8%	10%	4%
SolKat_10-29	8%	4%	4%	4%
SolKat_0-9	25%	21%	25%	21%

Tabelle B8: Verteilung in % der Mehrfamilienhäuser (99 Objekte) nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten für die Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	0%	0%	9%
SolKat_70-99	0%	5%	5%	28%
SolKat_50-69	1%	37%	23%	21%
SolKat_30-49	37%	26%	25%	11%
SolKat_10-29	40%	15%	26%	14%
SolKat_0-9	21%	16%	20%	16%

B3 Energieproduktion nach Solaranteil-Kategorien

Die solarthermische Energieproduktion kann je nach Referenzvariante einen Beitrag zur Wärmeenergieversorgung von 19 bis 43% leisten. Die genauere Herkunft der solarthermischen Energie kann nach Solaranteil-Kategorien unterschieden werden. Dadurch kann aufgezeigt werden, ob die Solarenergie vor allem von Anlagen mit höheren, mittleren oder niedrigeren Solaranteilen beigesteuert wird.

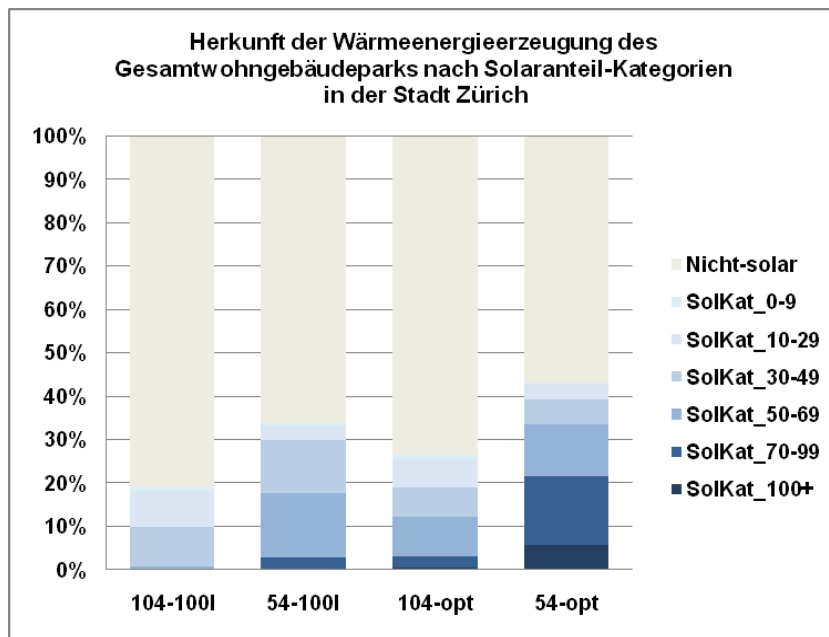


Abbildung B3: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung des Gesamtwohngebäudeparks nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Die Herkunft der Wärmeenergieerzeugung sieht bei den vier Referenzvarianten wie folgt aus:

Bei der Referenzvariante 104-100I beläuft sich der solarthermische Gesamtbeitrag (2'643 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 13'923 MWh) in der Stadt Zürich auf rund 19% (s. blau gefärbten Teil der Säule in obiger Abbildung). Davon kommt rund die Hälfte von den Objekten mit einem mittleren (Solaranteil 30 bis 49%) Potenzial (1'241 MWh). Ähnlich viel (1'173 MWh) liefern Objekte mit einem kleineren Potenzial (Solaranteil 10 bis 29%).

Bei der Referenzvariante 54-100I umfasst der solarthermische Gesamtbeitrag (2'443 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 7'229 MWh) rund 34%. Davon kommen vier Fünftel (897 + 1'056 MWh) von den Objekten mit mittlerem (Solaranteil 30 bis 49%) bis grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Bei der Referenzvariante 104-opt kann das Solarpotenzial (3'679 MWh) insgesamt rund 26% zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 13'923 MWh) beitragen. Ein Drittel (1'270 MWh) stammt von den Objekten grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial. Je ein Viertel steuern Objekte mit kleinerem (Solaranteil 10 bis 29%) und mittlerem (Solaranteil 30 bis 49%) Potenzial bei.

Bei der Referenzvariante 54I-opt schliesslich steigt der solarthermische Gesamtbeitrag (3'128 MWh) zur Wärmeenergieversorgung (Bedarf: 20'193 MWh) auf rund 43%. Die Objekte mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% liefern rund die Hälfte der Solarenergie bei (416 + 1'137 MWh). Über einen Viertel (874 MWh) erbringen Objekte mit grossem (Solaranteil 50 bis 69%) Potenzial.

Im stadtzürcherischen Vergleich durch die vier Referenzvarianten zeigt sich, dass die Objekte mit einem hohen Solardeckungsgrad von mind. 70% einen Beitrag von 0% (8 MWh) bei der Referenzvariante 104-100I, rund 9% resp. 11% (213 MWh resp. 419 MWh) bei den Referenzvarianten 54-100I und 104-opt und annähernd die Hälfte (1'553 MWh) bei der Referenzvariante 54-opt zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs (Raumwärme und Brauchwasser) leisten können.

Tabelle B9: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 210 untersuchten Objekte des Gesamtwohnbäudeparks nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	0%	1%	6%
SolKat_70-99	0%	3%	2%	16%
SolKat_50-69	1%	15%	9%	12%
SolKat_30-49	9%	12%	7%	6%
SolKat_10-29	8%	3%	7%	3%
SolKat_0-9	1%	0%	1%	0%
Nicht-solar	81%	66%	74%	57%

Tabelle B10: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 210 untersuchten Objekte des Gesamtwohnbäudeparks nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich				
Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100I	54-100I	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	13	75	416
SolKat_70-99	8	200	344	1'137
SolKat_50-69	107	1'056	1'270	874
SolKat_30-49	1'241	897	963	417
SolKat_10-29	1'173	245	906	251
SolKat_0-9	115	32	121	34
<i>Gesamtsolar</i>	<i>2'643</i>	<i>2'443</i>	<i>3'679</i>	<i>3'128</i>
Nicht-solar	11'280	4'787	10'244	4'101
<i>Wärmeenergiebedarf</i>	<i>13'923</i>	<i>7'229</i>	<i>13'923</i>	<i>7'229</i>

Einfamilienhäuser in der Stadt Zürich – Tabellen und Grafiken

Tabelle B11: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 48 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	13	42	123
SolKat_70-99	8	73	127	65
SolKat_50-69	49	61	97	16
SolKat_30-49	119	19	25	13
SolKat_10-29	19	2	13	2
SolKat_0-9	2	0	2	0
Solarenergie gesamt	197	168	306	220
Wärmeenergiebedarf	823	427	823	427

Tabelle B12: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 48 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	3%	5%	29%
SolKat_70-99	1%	17%	15%	15%
SolKat_50-69	6%	14%	12%	4%
SolKat_30-49	14%	4%	3%	3%
SolKat_10-29	2%	0%	2%	0%
SolKat_0-9	0%	0%	0%	0%
Nicht-solar	76%	61%	63%	48%

Tabelle B13: Verteilung der 48 untersuchten Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	2	4	19
SolKat_70-99	1	14	12	11
SolKat_50-69	7	16	13	4
SolKat_30-49	24	4	5	2
SolKat_10-29	4	2	2	2
SolKat_0-9	12	10	12	10

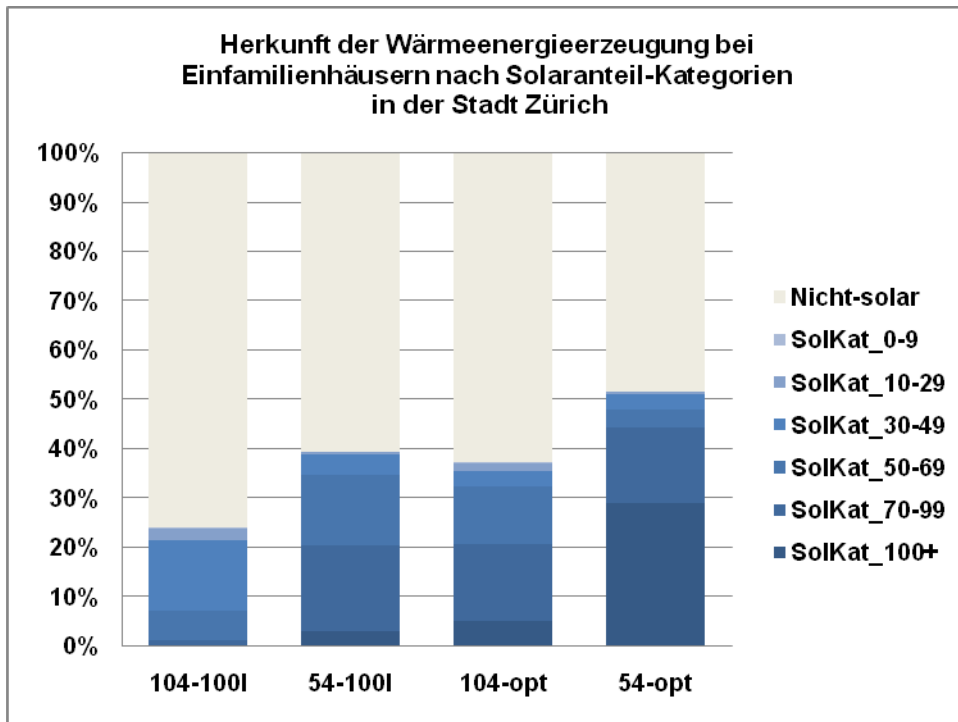


Abbildung B4: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Einfamilienhäusern nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

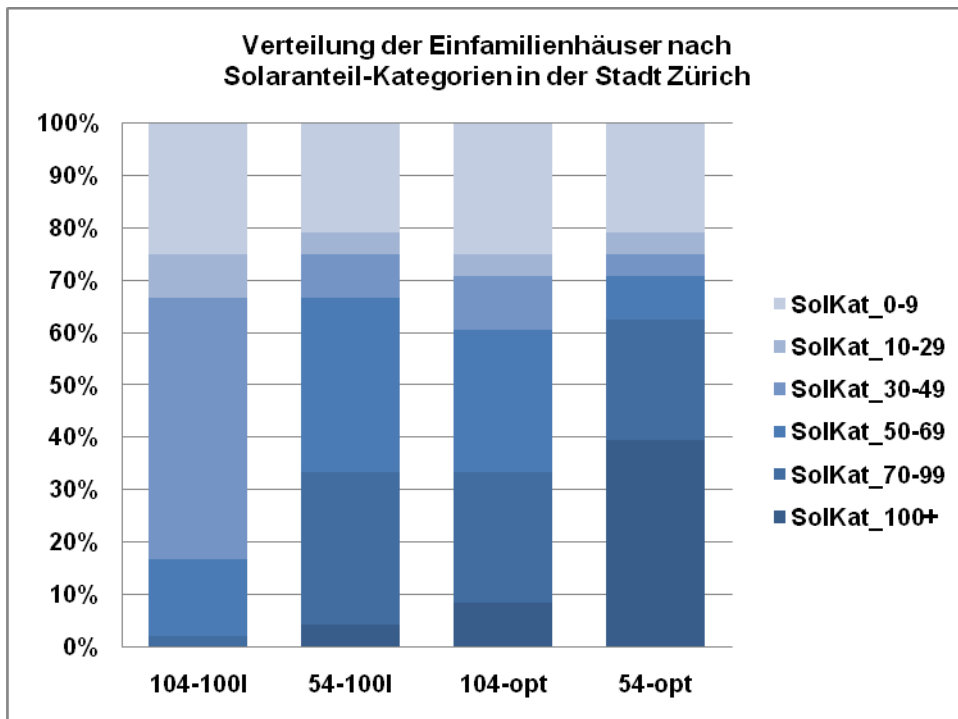


Abbildung B5: Verteilung der Einfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Mehrfamilienhäuser in der Stadt Zürich – Tabellen und Grafiken

Tabelle B14: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 99 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	0	178
SolKat_70-99	0	73	142	793
SolKat_50-69	21	693	827	496
SolKat_30-49	791	498	668	207
SolKat_10-29	639	110	412	106
SolKat_0-9	43	9	43	9
Solarenergie gesamt	1'494	1'382	2'091	1'790
Wärmeenergiebedarf	7'112	3'693	7'112	3'693

Tabelle B15: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 99 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	0%	0%	5%
SolKat_70-99	0%	2%	2%	21%
SolKat_50-69	0%	19%	12%	13%
SolKat_30-49	11%	13%	9%	6%
SolKat_10-29	9%	3%	6%	3%
SolKat_0-9	1%	0%	1%	0%
Nicht-solar	79%	63%	71%	52%

Tabelle 16: Verteilung der 99 untersuchten Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	0	9
SolKat_70-99	0	5	5	28
SolKat_50-69	1	37	23	21
SolKat_30-49	37	26	25	11
SolKat_10-29	40	15	26	14
SolKat_0-9	21	16	20	16

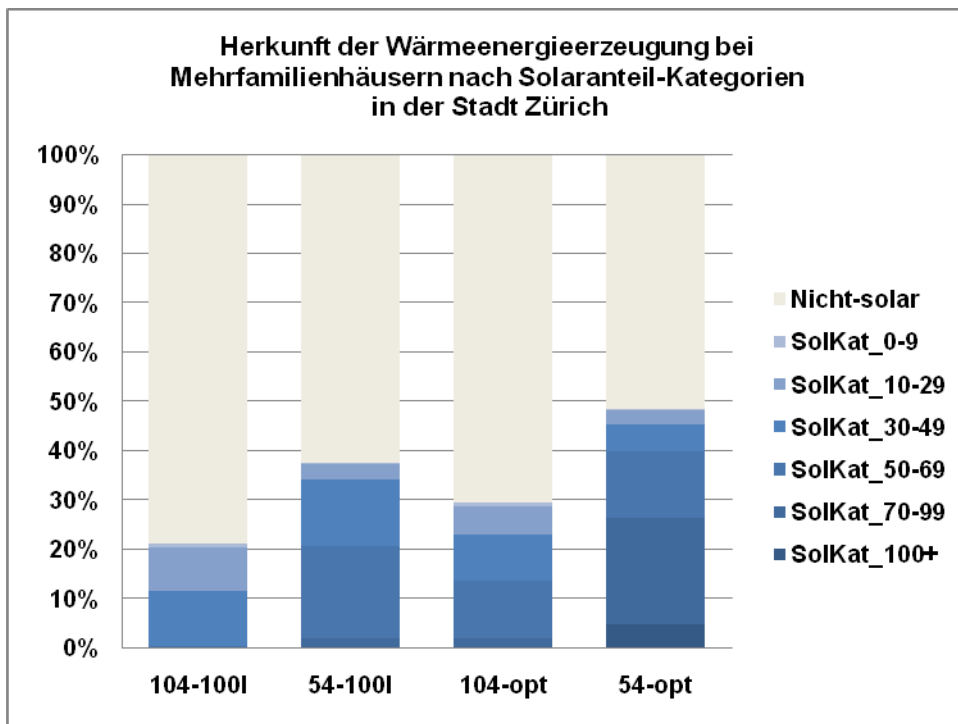


Abbildung B6: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Mehrfamilienhäusern nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

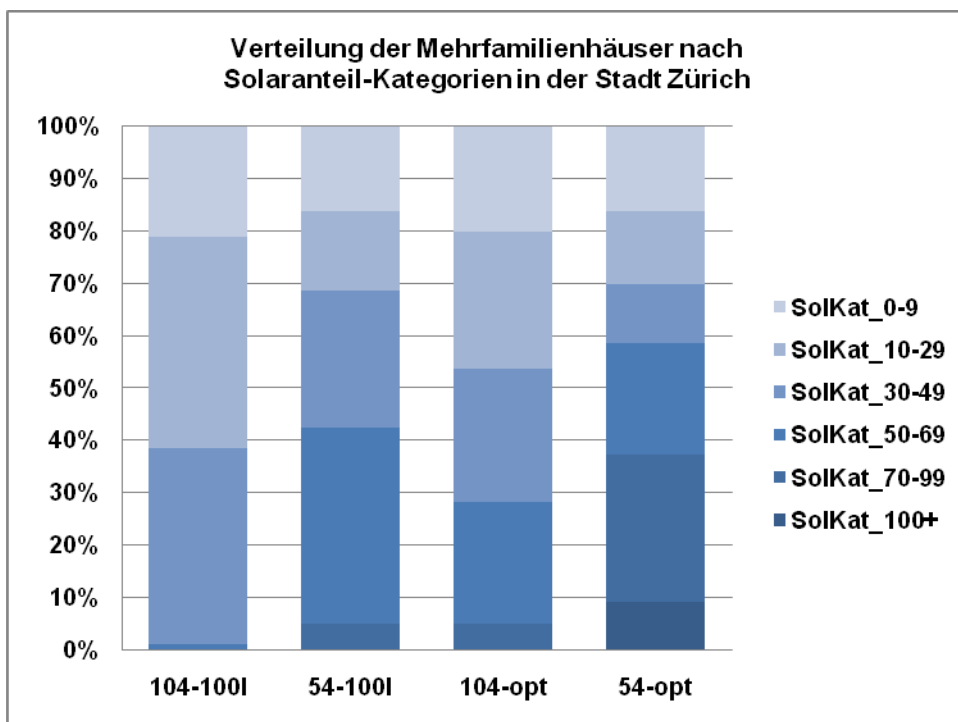


Abbildung B7: Verteilung der Mehrfamilienhäuser nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Wohngebäude mit Nebennutzung in der Stadt Zürich – Tabellen und Grafiken

Tabelle B17: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 47 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	33	89
SolKat_70-99	0	35	38	181
SolKat_50-69	36	210	227	316
SolKat_30-49	207	328	228	148
SolKat_10-29	410	74	371	79
SolKat_0-9	56	15	60	16
Solarenergie gesamt	708	661	956	829
Wärmeenergiebedarf	4'134	2'147	4'134	2'147

Tabelle B18: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 47 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	0%	1%	4%
SolKat_70-99	0%	2%	1%	8%
SolKat_50-69	1%	10%	5%	15%
SolKat_30-49	5%	15%	6%	7%
SolKat_10-29	10%	3%	9%	4%
SolKat_0-9	1%	1%	1%	1%
Nicht-solar	83%	69%	77%	61%

Tabelle B19: Verteilung der 47 untersuchten Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	1	4
SolKat_70-99	0	3	2	6
SolKat_50-69	2	9	5	7
SolKat_30-49	9	13	7	8
SolKat_10-29	17	10	13	10
SolKat_0-9	19	12	19	12

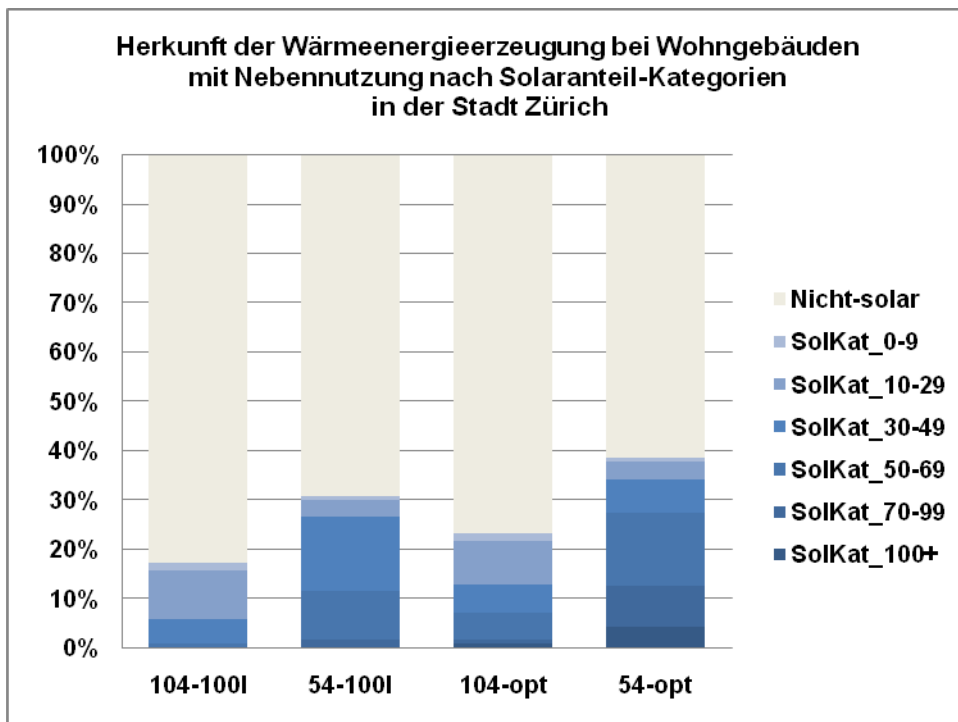


Abbildung B8: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Wohngebäuden mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

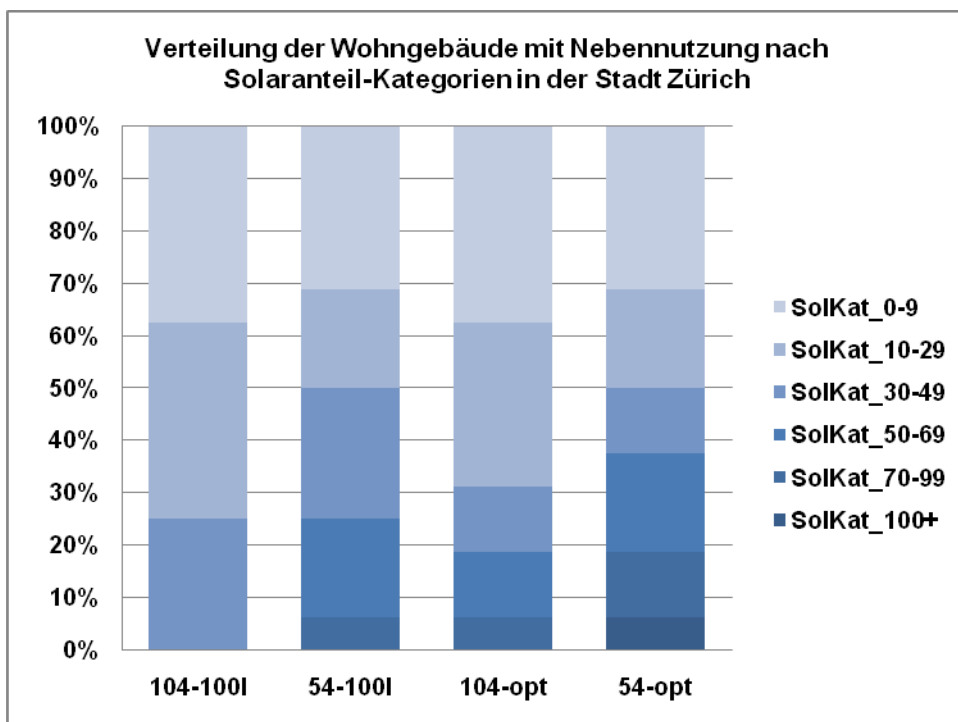


Abbildung B9: Verteilung der Wohngebäude mit Nebennutzung nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Gebäude mit Nebennutzung Wohnen in der Stadt Zürich – Tabellen und Grafiken

Tabelle B20: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in MWh für die 16 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	0	25
SolKat_70-99	0	19	36	97
SolKat_50-69	0	92	120	45
SolKat_30-49	125	53	42	48
SolKat_10-29	105	59	110	64
SolKat_0-9	15	9	16	9
Solarenergie gesamt	245	232	325	289
Wärmeenergiebedarf	1'854	963	1'854	963

Tabelle B21: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung in % für die 16 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0%	0%	0%	3%
SolKat_70-99	0%	2%	2%	10%
SolKat_50-69	0%	10%	6%	5%
SolKat_30-49	7%	5%	2%	5%
SolKat_10-29	6%	6%	6%	7%
SolKat_0-9	1%	1%	1%	1%
Nicht-solar	87%	76%	82%	70%

Tabelle B22: Verteilung der 16 untersuchten Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien und Referenzvarianten in der Stadt Zürich

Referenzvariante / Solaranteil-Kategorien	104-100l	54-100l	104-opt	54-opt
SolKat_100+	0	0	0	1
SolKat_70-99	0	1	1	2
SolKat_50-69	0	3	2	3
SolKat_30-49	4	4	2	2
SolKat_10-29	6	3	5	3
SolKat_0-9	6	5	6	5

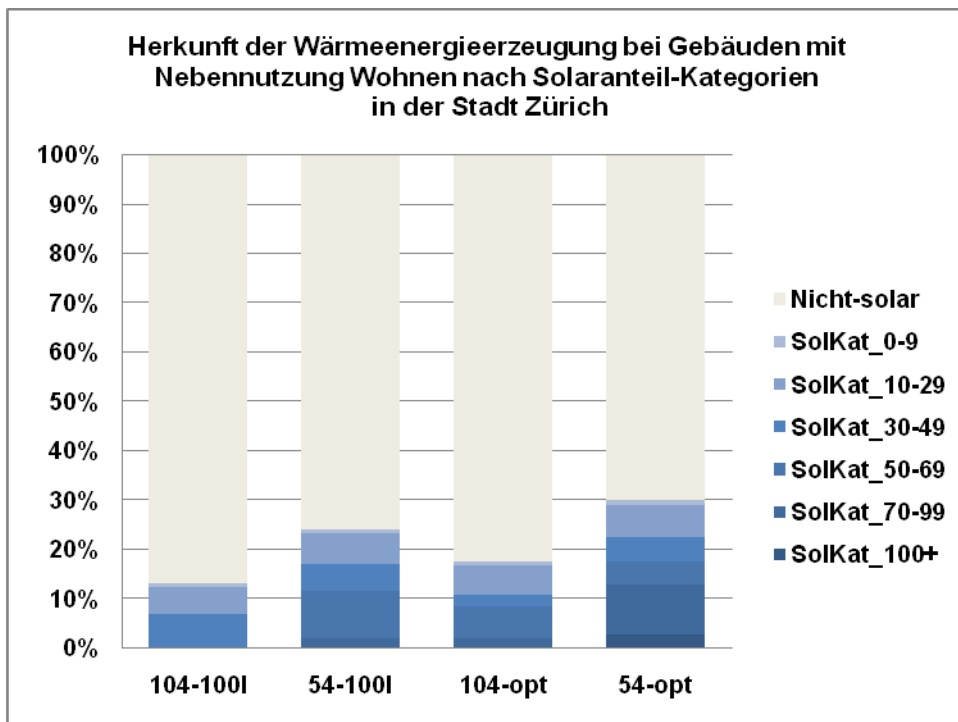


Abbildung B10: Herkunft der Wärmeenergieerzeugung bei Gebäuden mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich

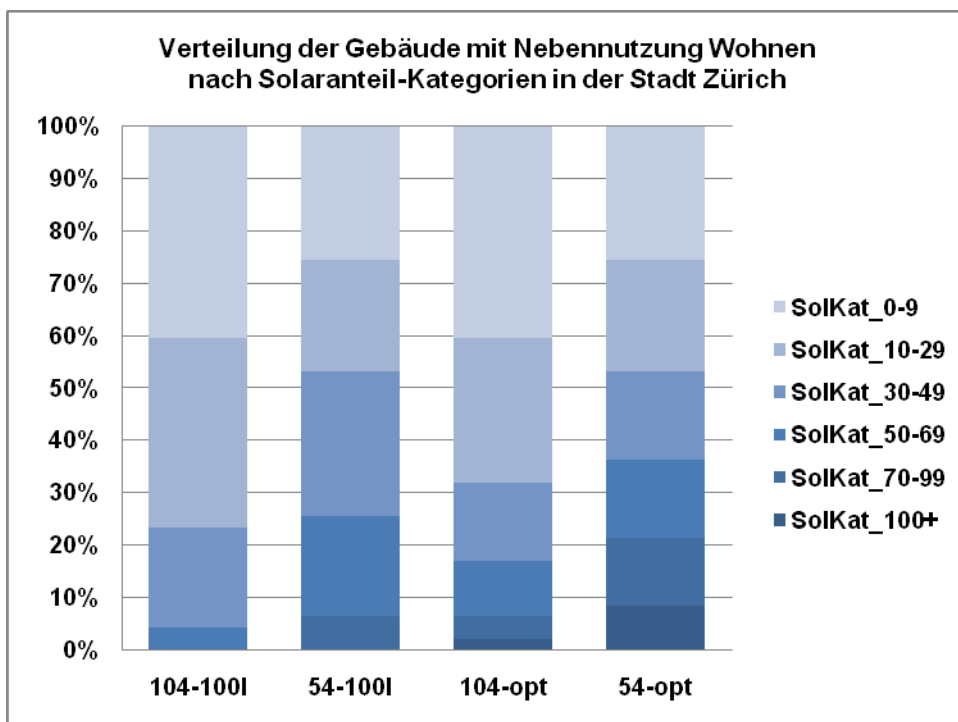


Abbildung B11: Verteilung der Gebäude mit Nebennutzung Wohnen nach Solaranteil-Kategorien in der Stadt Zürich